



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ESTUDIO DEL POTENCIAL MAGNETOTÁCTICO DE LAS
BACTERIAS EN EL RÍO CHIBUNGA”.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANDREA ELIZABETH PARDO TORRES

DIRECTOR: Dr. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS

Riobamba – Ecuador
2019

©2019, Andrea Elizabeth Pardo Torres

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del autor.

Yo, Andrea Elizabeth Pardo Torres, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de noviembre de 2019

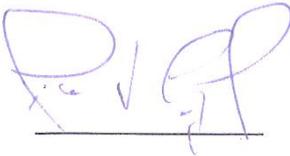


Andrea Elizabeth Pardo Torres

070530561-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo proyecto de investigación **“ESTUDIO DEL POTENCIAL MAGNETOTÁCTICO DE LAS BACTERIAS EN EL RÍO CHIBUNGA”**. de responsabilidad de la señorita ANDREA ELIZABETH PARDO TORRES, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <hr/>	2019-11-27
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés Ph.D DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 <hr/>	2019-11-27
Dr. Robert Alcides Cazar Ramirez MIEMBRO DE TRIBUNAL	 <hr/>	2019-11-27

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado con mucho amor:

A Dios y a San Antonio de Padua, quienes a pesar de las duras batallas que se me han presentado nunca me han dejado caer y cada día me han dado un motivo para creer en mí y jamás renunciar a mis sueños.

A mis padres, Jorge y Blanca, que con su amor, esfuerzo, apoyo y ejemplo me han encaminado para cumplir exitosamente esta meta y me forme como una persona de bien.

A mis tíos, Víctor y Alvarita, a quienes también considero como mis padres y nunca me han faltado con su amor y apoyo incondicional.

A mi Abuelita Rosa, por estar pendiente siempre de mí, brindándome su amor y apoyo incondicional durante todos mis años de vida.

A mis hermanos, Jorge, Carlos y Diego, a quienes amo con todo mi corazón y espero que este trabajo sea un ejemplo de lucha y superación en sus vidas.

A mis primos, Dani, Alexis, Dayana y Anahí, a quienes considero como mis hermanos y siempre han estado junto a mí en las buenas y en las malas desde los inicios de mi carrera.

Andrea

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente, primero a Dios por darme la vida, salud y fuerza para salir adelante y a mi San Antonio de Padua por ayudarme en cada obstáculo que se me ha presentado en mi vida.

A mis padres, por su amor, paciencia, confianza y por la oportunidad que me han dado para cumplir con esta meta profesional, pero sobre todo por los valores que me han inculcado para ser una persona de bien.

A mis tíos, Víctor y Alvarita, por todo el apoyo emocional y moral durante mi vida estudiantil, quienes, con sus palabras de aliento y su amor infinito, me han dado la fortaleza para culminar mi carrera.

A mis hermanos, por su amor a lo largo de mi vida.

A mis primos Dani y Alex, por darme siempre su apoyo constante y cariño desde el primer día que llegué a Riobamba.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas, por abrirme las puertas de la enseñanza y sabiduría y a la vez me han dado la oportunidad de aprender lecciones que me han fortalecido como ser humano y que me servirán como futura profesional.

Al Dr. Fausto Yaulema Garcéz, por haberme tenido paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de mi Trabajo de titulación, Mi agradecimiento también va dirigido al Ing. Jenner Baquero, por dirigirme y explicarme cada duda que se me presentaba para llevar a cabo mi Trabajo de titulación.

Andrea

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2 Marco conceptual.....	7
1.2.1 <i>Bacterias magnetotáticas.....</i>	<i>10</i>
1.2.1.1 <i>Bacterias magnetotáticas y electromagnetismo.....</i>	<i>10</i>
1.2.2 <i>Electromagnetismo.....</i>	<i>11</i>
1.2.3 <i>Campo Magnético.....</i>	<i>11</i>
1.2.3.1 <i>Ley de Maxwell del rotacional del campo eléctrico.....</i>	<i>13</i>
1.2.3.2 <i>Ley de Faraday.....</i>	<i>13</i>
1.2.3.4 <i>Ley de Ampere.....</i>	<i>14</i>
1.2.3.5 <i>Campo magnético producido por una espira circular.....</i>	<i>14</i>
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	16
2.1 Hipótesis y especificación de variables.....	16
2.1.1 <i>Hipótesis general.....</i>	<i>16</i>
2.1.2 <i>Hipótesis específicas.....</i>	<i>16</i>
2.1.3 <i>Identificación de variables.....</i>	<i>16</i>
2.1.3.1 <i>Factores.....</i>	<i>16</i>
2.1.3.2 <i>Variable respuesta.....</i>	<i>16</i>
2.1.4. <i>Operacionalización de variables.....</i>	<i>17</i>
2.1.5 <i>Matriz de consistencia.....</i>	<i>17</i>
2.2 Tipo de Investigación.....	18
2.3 Diseño Experimental.....	18
2.3.1 <i>Población.....</i>	<i>18</i>
2.3.2 <i>Tamaño muestra.....</i>	<i>18</i>
2.3.2.1 <i>Método de muestreo.....</i>	<i>18</i>
2.4 Instrumentos Y Técnicas De Recolección De Datos.....	19
2.5 Análisis Estadístico.....	19

2.6	Lógica De La Investigación	19
	CAPÍTULO III.....	20
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..	20
3.1	Resultados de la experimentación	20
3.2	Discusión.....	25
	CONCLUSIONES.....	27
	RECOMENDACIONES.....	28
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Operacionalización de variables	17
Tabla 2-2: Matriz de consistencia.....	17
Tabla 3-2: Población de experimentos del estudio	18
Tabla 4-3: Factores y variable respuesta	21
Tabla 5-3: Factores intersujetos de la prueba	22
Tabla 6-3: Prueba intersujetos	23
Tabla 7-3: Comparaciones múltiples, pruebas post-hoc.....	23
Tabla 8-3: Comparaciones múltiples factor distancia	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema de la bacteria magnetotáctica	8
Figura 2-1: Bacteria magnetotáctica Aquaspirillum	9
Figura 3-1: Carga negativa y líneas de campo.....	11
Figura. 4-3: Estimativos factores corriente-distancia	25

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Recogida De Sedimento Del Río Chibunga

Anexo B. Determinación De Bacterias Magnetotácticas

Anexo C. Excitación De Bacterias Magnetotácticas

Anexo D. Análisis mecánico de bacterias

Anexo E. Construcción de electroimán

Anexo F. Implementación de transformador para el electroimán

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue evaluar la existencia y potencial de bacterias magnetotácticas en el sedimento del río Chibunga situado en la ciudad de Riobamba a 2754 msnm. Se construyó un electroimán para aplicar a la muestra de 1 Kg de sedimento por dos semanas para separar las bacterias magnetotácticas de las que no lo son. Se aisló la colonia de bacterias para someterla a pruebas de campo magnético variando la corriente eléctrica de las espiras a través de resistencias en el circuito; se manejaron así mismo 3 diferentes distancias del electroimán a la muestra bacteriana, siendo esos dos los factores. El diseño de investigación fue experimental por la aleatoriedad y control, factorial 3 por 2. Los resultados mostraron como se esperaba que, a menor distancia y máxima corriente, el tiempo de respuesta al campo magnético fue menor, en tanto a mayor distancia y menor corriente, el tiempo de respuesta de las bacterias magnetotácticas fue mayor. Se concluye que, aunque existen colonias de bacterias magnetotácticas en el río Chibunga, su potencial ante el campo electromagnético no es el mejor como en casos registrados en otros estudios, recomendándose ampliar la investigación con diversas condiciones de cultivo e incremento bacteriano para mejores resultados.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGÍA>, <BIOMEDICINA> <TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA> <CAMPO MAGNÉTICO> <BACTERIAS MAGNETOTÁCTICAS> <RÍO CHIBUNGA>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>



ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the existence and potential of magneto tactic bacteria in the sediment of the Chibunga River located in the city of Riobamba at 2754 meters above sea level. An electromagnet was constructed to apply to the 1 Kg sample of sediment for two weeks to separate the magneto tactic bacteria from those that are not. It was isolated the colony of bacteria for magnetic field testing by varying the electric current of the turns through resistors in the circuit. Also were handled three different distances from the electromagnet to the bacterial sample, these two being the factors. The research design was experimental for randomness and control, factor 3 by 2. The results showed how it expected that, at a lower distance and maximum current, the response time to the magnetic field was shorter, while at a more excellent range and less current, the response time of the magneto tactic bacteria was longer. It concluded that, although there are colonies of magneto tactic bacteria in the Chibunga River, their potential in the electromagnetic field is not the best as in cases recorded in other studies, it is recommended to expand research with various culture conditions and bacterial growth for better results.

KEYWORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <BIOMEDICINE>, <ELECTROMAGNETIC THEORY>, <MAGNETIC FIELD>, <MAGNETO TACTIC BACTERIA>, <RIVER CHIBUNGA>, <RIOBAMBA (CANTON)>.



INTRODUCCIÓN

El problema que abordó esta investigación se centró en determinar si existe presencia de bacterias magnetotácticas en el sedimento del río Chibunga y, en caso afirmativo, evaluar su potencial en el uso de las colonias para fines industriales, científicos o médicos, una vez que las ventajas de implementar tal tipo de nanotecnología son múltiples en todo sentido, lo cual es tema de interés de la biotecnología.

¿En qué punto se encuentra la investigación en los ámbitos nacional e internacional? En el Ecuador no se han realizado estudios sobre determinación, identificación y aplicación de bacterias magnetotácticas en los ámbitos científico, académico o industrial; en el primer mundo y países del tercer mundo como Colombia se realizan permanentemente estudios en el sentido antes mencionado, los temas de interés van desde la generación de voltajes hasta el uso de las bacterias en nanotecnología o conducción de medicamentos en el cuerpo humano, en el marco teórico se analizarán algunos casos de estudio.

Este trabajo incluye en el capítulo 1 el marco teórico, en el cual se presentan antecedentes de la investigación en diversos países del mundo, a partir de 1975 cuando se identificaron plenamente las bacterias sensibles a los campos magnéticos hasta su aplicación en la generación de electricidad; se teoriza posteriormente el electromagnetismo y finalmente se relacionan las bacterias con la electricidad por ser estas portadoras de carga.

El capítulo 2 presenta la metodología de investigación: hipótesis, variables, factores, tablas de operacionalización que faciliten el entendimiento de la investigación, sus tipos, el diseño experimental, los instrumentos de recogida de datos, las técnicas de procesamiento de la información, la población, tamaño muestral y la lógica de investigación que incluye el proceso técnico del diseño.

En el capítulo 3 se discuten los resultados de la investigación en tablas explicadas; se realiza la prueba de la hipótesis de investigación, se realizan pruebas post-hoc para definir las diferencias en los niveles de los factores usados en la investigación; se discuten metodologías, propósitos, fines de la investigación así como los resultados, con otros trabajos relevantes a fin de conocer si existe validación externa de los paradigmas científicos relacionados con las bacterias magnetotácticas y sus aplicaciones.

Las conclusiones se basan en los objetivos de la investigación, así como en la discusión presentada en el capítulo 3; se incluyen en este apartado las recomendaciones y limitaciones del estudio a fin

de que la comunidad científica pueda implementar nuevas investigaciones basadas en los resultados de esta.

La bibliografía incluye aportes científicos en cuanto a la teoría de las bacterias magnetotácticas, sus características, cultivo, utilización científica e industrial; principios de física general, electricidad, magnetismo, electromagnetismo, ecuaciones de Maxwell, campos magnéticos y eléctricos, construcción del electroimán, etc. Finalmente, en los anexos se adjuntan algunas experiencias gráficas de la experimentación.

Problema

Luego de una investigación bibliográfica en artículos científicos de los últimos 4 años se puede aseverar que el potencial de las bacterias magnetotácticas es prácticamente inexplorado en este medio, en el cual se estudia a las bacterias desde la biología esencialmente pero no desde la ingeniería y sus aplicaciones en los contextos tanto físico, electromagnético, bioingeniería y medicina.

Formulación del problema

¿Cuál es el potencial magnetotáctico de las bacterias en el río Chibunga de Riobamba?

Justificación

En este apartado se presentan los siguientes aspectos: originalidad, importancia, impacto y posibles beneficiarios.

La presente investigación es original, pues revisando los repositorios y sitios virtuales de producción académica local y nacional no se han encontrado otras investigaciones acerca del estudio y valoración de las bacterias magnetotácticas a partir de su extracción en sedimentos de ríos ecuatorianos u otro espacio de agua en costa, sierra u oriente.

Esta investigación es relevante por cuanto coadyuva al cumplimiento de la legislación ecuatoriana en cuanto a la preservación del bien natural contemplados en los diversos reglamentos y leyes ecuatorianas (Guaña R., 2019), (Asamblea Nacional, 2008), una vez que motiva al estudio del potencial de los recursos nacionales a la comunidad científica.

El impacto de esta investigación es que, junto al resto de estudios científicos en la misma temática, aporta a la solución de problemas interdisciplinarios de aplicación en áreas como la biomedicina o nanotecnología, una vez que las bacterias son susceptibles de utilización en cualquiera de los ámbitos antes mencionados.

Los beneficiarios de esta investigación son: la comunidad politécnica pues el repositorio de investigación se enriquece con proyectos innovadores, científicos y multidisciplinarios de integración de saberes, la comunidad científica se beneficia también pues otros estudios en el mismo sentido no se han hecho, el recurso magnetotáctico hidrológico en el Ecuador está intacto y desconocido.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Estudiar el potencial magnetotáctico de las bacterias en el río Chibunga de Riobamba.

Objetivos específicos

- Recoger muestras de sedimento del río Chibunga a fin de encontrar presencia de bacterias magnetotácticas.
- Construir un electroimán para medir la excitabilidad de las bacterias magnetotácticas en los campos magnéticos producidos por aquel.
- Separar las bacterias magnetotácticas del resto de bacterias en el sedimento del río.
- Analizar el potencial de las bacterias magnetotácticas como respuesta a la aplicación del campo magnético.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Es limitada la producción científica en español relacionada con el estudio de las bacterias magnetotácticas, en especial en el periodo 2016-2018; en el 2019 es prácticamente inexistente. Estudios de las bacterias magnetotácticas son desconocidos a nivel del Ecuador, por consiguiente, en el río Chibunga. Luego de una búsqueda bibliográfica en repositorios académicos se han determinado los siguientes artículos interesantes que servirán de base contrastable para el desarrollo del trabajo de integración de saberes:

Uebe, R., & Schüler, D. (2016). Magnetosome biogenesis in magnetotactic bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 14(10), 621. Este estudio académico de gran prestigio es citado 122 veces en otras publicaciones científicas, en esta revisión, los investigadores ubican los mecanismos moleculares de la biogénesis del magnetosoma en el contexto de la compleja biología celular de *Magnetospirillum* y analizan las diversas propiedades de la biogénesis del magnetosoma en otras especies de bacterias magnetotácticas, finalizan con la determinación del valor de las bacterias no magnetotácticas genéticamente "magnetizantes".

Kolinko, S., Richter, M., Glöckner, F., Brachmann, A., & Schüler, D en su artículo Single-cell genomics of uncultivated deep-branching magnetotactic bacteria reveals a conserved set of magnetosome genes, publicado en *Environmental microbiology*, 18(1), 21-37. Que es citado 32 veces en trabajos de prestigio académico, establecen que si bien la biosíntesis de magnetosomas dentro de las proteobacterias magnetotácticas se comprende cada vez mejor, se sabe mucho menos sobre el control genético dentro de los filos de ramificación profunda que tienen una ultraestructura única y biosintetizan hasta varios cientos de magnetosomas de magnetita en forma de bala dispuestos en múltiples haces de cadenas; como se ve, el contexto de este artículo es la microbiología y se centra, en la composición misma de las bacterias magnetotácticas.

Los investigadores Stanton, M., Park, B., Vilela, D., Bente, K., Faivre, D., Sitti, M., & Sánchez, S. en su artículo de 2017 Magnetotactic bacteria powered biohybrids target *E. coli* biofilms. *ACS nano*, citado por la academia 37 veces establecen que las colonias de biopelículas suelen ser resistentes al tratamiento con antibióticos en general y requieren métodos específicos para su eliminación, uno de estos métodos incluye el uso de nanopartículas como portadores para el

suministro de antibióticos, donde circulan aleatoriamente en líquido hasta que entran en contacto con las áreas infectadas, entonces el contexto de este estudio se centra en la biomedicina; continúan los investigadores diciendo que se demuestra que las bacterias magnetotácticas no patógenas *Magnetospirillum gryphiswalense* (MSR-1) se pueden integrar con los microtubos de sílice mesoporosos cargados con medicamentos para construir microswimmers (biohíbridos) capaces de administrar antibióticos para atacar una biopelícula infecciosa. Aplicando la capacidad de guía magnética externa y el poder de natación de las células MSR-1, los biohíbridos se dirigen a las biopelículas maduras de *Escherichia coli* (*E. coli*) y se empujan a la fuerza. La liberación del antibiótico, ciprofloxacina, se desencadena por el microentorno ácido de la biopelícula lo que garantiza un sistema de administración de fármacos eficiente. Los resultados revelan las capacidades de una especie de bacteria no patógena para atacar y dismantelar biopelículas dañinas, lo que indica que los sistemas biohíbridos tienen un gran potencial para aplicaciones de antibiofilm. Como se ve, en otros contextos ya se analiza la aplicación de las bacterias científicamente.

Stanton et al en su artículo de 2017 *Magnetotactic Bacteria Powered Biohybrids Target E. coli Biofilms* describe que han realizado comparaciones entre, en primer lugar, la electricidad generada a partir de magnetosomas purificados, cultivo de MTB (células bacterianas con magnetosomas) y medio de crecimiento líquido estéril (control), en segundo lugar, compararon la electricidad generada por una serie de dilución de magnetosomas purificados, estos investigadores encontraron una diferencia estadísticamente significativa entre el voltaje medido desde los magnetosomas purificados (voltaje más alto), el cultivo de MTB (voltaje más bajo) y el medio de crecimiento líquido (voltaje más bajo). En la serie de dilución, el voltaje medido aumentó a medida que aumentaba la concentración del magnetosoma, pero solo hasta una concentración óptima. En este estudio los académicos asumen que se podía medir un voltaje significativamente mayor que el del control cuando se bombeaban MTB o magnetosomas purificados a través de un solenoide mediante la aplicación de la ley de inducción electromagnética de Faraday.

Este estudio proporciona una prueba de concepto de la inducción electromagnética utilizando magnetosomas o bacterias magnetotácticas en una configuración experimental basada en la ley de Faraday. El concepto de usar estas bacterias o sus nanopartículas magnéticas biomineralizadas como una alternativa biológica en la generación de electricidad de bajo voltaje tiene el potencial de ser explorado y desarrollado aún más.

El interés de estudios internacionales en el caso se enfoca en la aplicación de las bacterias magnetotácticas en el campo de la nanotecnología, la bioingeniería y la biomedicina.

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Bacterias magnetotáticas

No es del interés de la autora enfocar el estudio de las bacterias magnetotáticas en el contexto de la microbiología sino de la teoría electromagnética, una vez que es bajo sus aplicaciones que las bacterias antes expresadas son útiles. Se espera no lesionar demasiado la epistemología de la física incluyendo en el presente apartado algunos conceptos extraídos de la academia como una introducción al marco teórico.

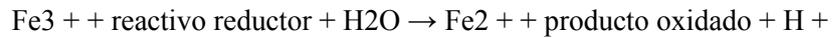
Blakemore en 1975 documentó por primera vez las bacterias magnetotáticas y descubrió que los microorganismos sintetizan cadenas de partículas magnéticas de tamaño nanométrico que funcionan como una aguja de la brújula. Esta "nano-brújula" permite al microbio orientarse pasivamente en el campo geomagnético de la Tierra. Estas nanopartículas magnéticas son sintetizadas por un conjunto específico de proteínas que están contenidas dentro de orgánulos unidos a la membrana llamados magnetosomas (en un centímetro entran 100 millones). Cada bacteria contiene 10-20 magnetosomas, cada uno de los cuales contiene una nanopartícula magnética. Los magnetosomas están alineados en forma de cadena, que imparten un dipolo magnético a la célula bacteriana y permiten que las células "perciban" el campo geomagnético de la Tierra. Además de los magnetosomas y las nanopartículas magnéticas, las bacterias magnetotáticas también tienen un flagelo, que utilizan para la movilidad. (Intracelular s.f.)

La observación fortuita de ciertas bacterias del lodo cuya dirección de natación podría ser manipulada por campos magnéticos, llevó al descubrimiento de ciertas estructuras de pequeñas partículas magnéticas conocidas como Magnetosomas (Uebe R & Schüler D, 2016). Los magnetosomas, que fueron identificadas como partículas unidas a la membrana de una mineral de hierro magnético permiten a las bacterias orientarse y nadar a lo largo de las líneas de un campo magnético, a este comportamiento se lo denomina magnetotaxis.

El hierro es uno de los elementos más abundantes en la Tierra constituyéndose en un nutriente esencial para todos los organismos, este tiene dos estados de valencia: hierro férrico oxidado, Fe (III) o Fe^{3+} , y hierro ferroso reducido, Fe (II) o Fe^{2+} . En ambientes aeróbicos, cuando el oxígeno está presente, el hierro prevalece en el estado férrico:



En ambientes anaeróbicos como los hábitats subterráneos donde el oxígeno está ausente, el hierro prevalece en estado de Fe (II):



Un elemento compuesto actúa como un reactivo reductor y dona un electrón a Fe^{3+} , al hacerlo, el reactivo reductor se oxida y el Fe^{3+} se reduce (es decir, gana un electrón) a Fe^{2+} . En la tierra, los reactivos reductores pueden ser abióticos, como azufre (S^0) o sulfuro de hidrógeno (H_2S), o bióticos, como una proteína o un compuesto orgánico soluble en agua.

El ciclo de hierro de la Tierra es un ciclo biogeoquímico muy complejo que incluye componentes bióticos y abióticos, el hierro es particularmente importante en las bacterias magnetotácticas, no solo porque el hierro funciona como un cofactor de proteínas para numerosas vías metabólicas, sino también porque estos microorganismos incorporan grandes cantidades de hierro en forma de cristales de hierro de tamaño nanométrico dentro de sus células. (Intracellular, 2010).

A diferencia de las nanopartículas de magnetita sintetizadas químicamente, los cristales de magnetita magnetosoma son dominios magnéticos únicos estables y, por lo tanto, son permanentemente magnéticos a temperatura ambiente, son de alta pureza química y muestran un rango de tamaño estrecho y una morfología de cristal constante, estas características físico químicas son importantes en su uso en aplicaciones biotecnológicas así como otras. (Marquez, 2007)

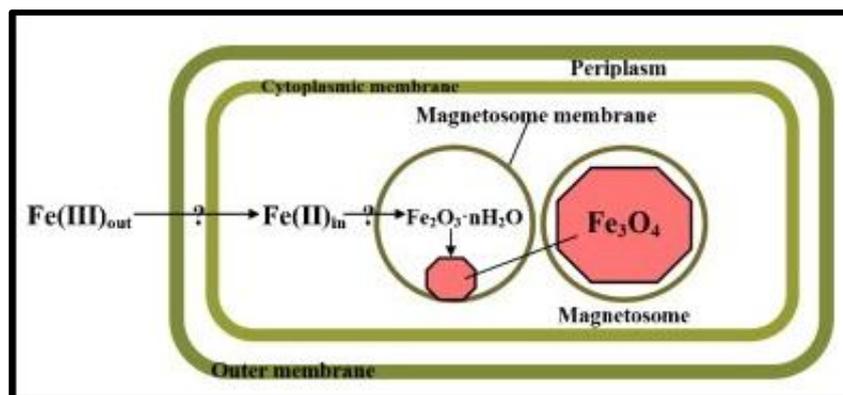


Figura 1-1: Esquema de la bacteria magnetotáctica
Fuente: BIOTECHMIND

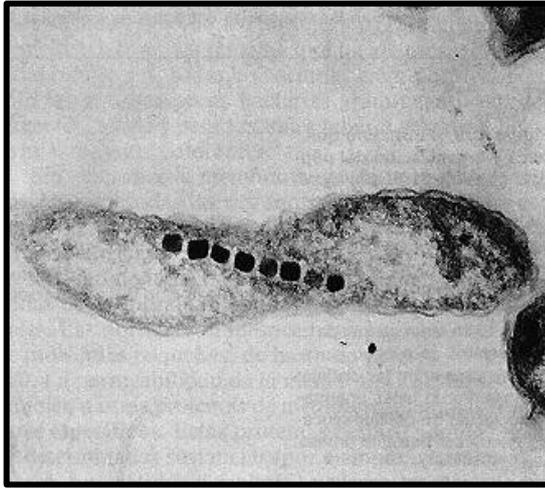


Figura 2-1: Bacteria magnetotáctica *Aquaspirillum magnetotacticum* mostrando una cadena de magnetosomas.
Fuente: Usal

Las bacterias magnetotácticas entonces obtienen su orientación magnética de los magnetosomas que son orgánulos únicos que contienen cristales de hierro magnético de un tamaño nanométrico. Aunque los mencionados orgánulos tienen un potencial evidente para aplicaciones biotecnológicas interesantes, la falta de bacterias magnetotácticas que se pueden tratar genéticamente ha obstaculizado el desarrollo de tales herramientas; sin embargo, en la última década, los estudios genéticos que utilizan dos especies modelo de *Magnetospirillum* han revelado mucho sobre los mecanismos de la biogénesis del magnetosoma. (Intracellular, 2005)

Una nota curiosa es que las partículas de magnetita de grano ultrafino de un meteorito marciano se asemejaba a los cristales magnetosoma de bacterias recientes, este hecho ha sido citado como evidencia de vida extraterrestre antigua; por otra parte, la formación de magnetosoma bacteriano podría servir como un sistema modelo para la biomineralización de minerales magnéticos en otros organismos como cristales similares de material ferromagnético, principalmente magnetita (Single-cell, 1975).

En las últimas décadas, el interés en la tecnología a nanoescala y la biotecnología ha aumentado significativamente debido al desarrollo y establecimiento de nuevos procesos y aplicaciones comerciales, médicas y científicas que utilizan nanomateriales, algunos de los cuales se derivan biológicamente. Un ejemplo de un nanomaterial biológico que se muestra muy prometedor para su uso en una gran cantidad de aplicaciones comerciales y médicas son los magnetosomas de magnetita bacteriana. («Magnetotactic bacteria | Science», 1982)

Las aplicaciones que utilizan las bacterias magnetotácticas productoras de magnetita, magnetosomas de magnetita y / o cristales de magnetita de magnetosoma incluyen y / o implican: biorremediación, separación celular, recuperación o detección de ADN / antígeno, administración

de fármacos, inmovilización de enzimas, hipertermia magnética y mejora de contraste de imágenes de resonancia magnética. («Magnetotactic Bacteria and Magnetosomes | Chemical Reviews», 2018).

1.2.1.1 Bacterias magnetotácticas y electromagnetismo

Las bacterias magnetotácticas como se estableció previamente, biomineralizan los magnetosomas que se definen como nanocristales intracelulares de los minerales magnéticos magnetita (Fe_3O_4) o greigita (Fe_3S_4) envueltos por una membrana de bicapa de fosfolípido. La síntesis de los magnetosomas está controlada por un conjunto específico de genes que codifican proteínas, algunos de los cuales se encuentran exclusivamente en la membrana del magnetosoma en la célula. (Uebe R. & Schüler D, 2016).

Las bacterias magnetotácticas por otro lado tienen la capacidad única de producir partículas magnéticas rodeadas por una biomembrana que forma el orgánulo magnetosoma, por lo tanto estas tienen nuevas propiedades físicas y magnéticas y, en consecuencia, se han utilizado en varias aplicaciones biotecnológicas, sin embargo las propiedades magnéticas de estos microorganismos y sus magnetosomas nunca se han utilizado para la generación de electricidad (Blakemore, 1982).

Los mecanismos de la formación de magnetosomas podría ser relevante para la síntesis de biomateriales avanzados con propiedades diseñadas (Mann,1993) para usos comerciales del magnetosoma bacteriano. Se han sugerido diversas aplicaciones industriales incluyendo la fabricación de cintas magnéticas y tintas de impresión, focalización magnética de los productos farmacéuticos, la separación celular y la aplicación de agentes de contraste en la resonancia magnética.

Es posible aplicar los microorganismos para la generación de inducción electromagnética utilizando magnetosomas o bacterias magnetotácticas en una configuración experimental basada en la ley de Faraday. El concepto de usar estas bacterias o sus nanopartículas magnéticas biomineralizadas como una alternativa biológica en la generación de electricidad de bajo voltaje tiene el potencial de ser explorado y desarrollado aún más. El interés de varios estudios internacionales en este caso se enfoca en la aplicación de las bacterias magnetotácticas en el campo de la nanotecnología, la bioingeniería y la biomedicina. (Alphandéry E., 2016)

1.2.2 Electromagnetismo

La Ley de Maxwell-Gauss determina que la densidad de cargas define un campo eléctrico, conceptualizado como el conjunto infinito de puntos vectoriales con módulo, dirección y sentido

como muestra la ecuación 1. (Sepulveda A, 2005)

$$\text{Ecuación. 1} \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

En donde:

D = Densidad de campo magnético medida en Newtons sobre Coulombs

ρ = Densidad de carga eléctrica medida en Coulombs

Las cargas eléctricas generan campos llamados “fuentes” si son negativas o “sumideros” si son positivas; la figura 3 muestra las líneas de campo generados por una carga negativa (Cordero, P, 2011)

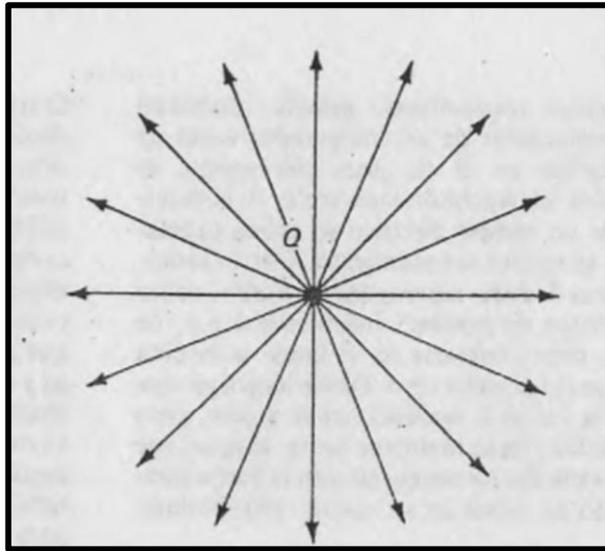


Figura 3-1: Carga negativa y líneas de campo
Fuente: López, 2012

1.2.3 Campo Magnético

La definición física de campo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación. 2} \quad \mathbf{B} = \frac{\mathbf{f}}{q} \quad (\text{Editrice Compositori, 1998})$$

En donde:

B= Campo Magnético

f= Fuerza magnética

q= Carga de prueba

En el estudio presente, las bacterias magnetotácticas son portadoras de carga eléctrica debido a sus características intrínsecas. (Faivre D. & Schüler D., 2008)

La Ley de Biot-Savart define al campo magnético matemáticamente con la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación. 3} \quad dB = \frac{\mu_0 I dl \times r}{r^2} \quad (\text{Hernández \& Solis, 2016})$$

En donde:

dB = Diferencial de campo magnético

μ_0 = Permeabilidad magnética del vacío

dL = Diferencial de longitud del portador de cargas en movimiento

r = Unitario de la distancia entre el portador y el punto de evaluación del campo magnético

r^2 = Distancia del portador de cargas al punto de evaluación del campo magnético.

La ecuación 2 incluye el término “ f ” que define a la fuerza magnética (Martín J., 2015); tomando en cuenta que la fuerza es la cantidad física que cambia el estado mecánico de los cuerpos, dicha fuerza es la que “moverá” a los portadores de carga, es decir las bacterias magnetotácticas. Su ecuación matemática es la siguiente:

$$\text{Ecuación. 4} \quad f = qv \times B \quad (N)$$

En donde

q = Carga eléctrica medida en Coulombs

v = Velocidad que lleva la carga

B = Campo magnético

¿De dónde sacan las cargas la energía para moverse en el campo magnético? En este punto habrá que incluir en la teoría a las fuerzas conservativas (Kemmer, 2014) cuyo modelo equivale a:

$$\text{Ecuación. 5} \quad \nabla \cdot f = -U$$

En donde

U es el potencial (Brachmann A, Schüler D, 2015), la carga al marchar en contra de la fuerza conservativa se “carga” de potencial, al “soltarla”, sin gastar energía se dirigirá en la dirección de

la fuerza descrita en este párrafo.

El potencial define no solo una energía sino el trabajo para mover a las portadoras de cargas (López V., 2012) determinado matemáticamente por el modelo:

$$\text{Ecuación. 6} \quad \int_1^2 \mathbf{f} \cdot d\mathbf{x} = U_2 - U_1 \quad (\text{Allen P., Mosca G., 2003})$$

En donde:

f = Fuerza conservativa

U2-U1 = Variación de la energía potencial (Hewitt P., 2000)

1.2.3.1 Ley de Maxwell del rotacional del campo eléctrico

Si se hace pasar corriente eléctrica por un conjunto de espiras construidas de modo circular, se inducirá un campo eléctrico (debido a las cargas) y uno magnético. (Allen P., Mosca G., 2003)

$$\text{Ecuación. 7} \quad \nabla \times \mathbf{D} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (\text{Sáenz J., 2016})$$

Este principio se aplica en la construcción del electroimán el cual se usa para excitar las bacterias magnetotácticas. (Diaz, 2017).

1.2.3.2 Ley de Faraday

Si se toma la ecuación de rotacional de campo eléctrico y se aplican tanto integrales cuanto el teorema de Stokes (Trejo C., 2015) se obtiene:

$$\text{Ecuación. 8} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\iint \nabla \times \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = - \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = - \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = - \frac{\partial}{\partial t} \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\Phi = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\text{Ecuación. 9} \quad \Phi = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} \quad (\text{Tobaja, L., 2019})$$

En donde:

Φ es la fuerza electromotriz.

La fuerza electromotriz cambia el estado mecánico de las cargas, en el caso de esta investigación de las portadoras que son las bacterias magnetotácticas, ellas han de moverse por efecto del campo magnético en virtud de la ecuación 4 de este mismo apartado, pero la fuerza es inútil si no existe energía (Russell C. Hibbeler, 2004); en el caso de la teoría electromagnética es el vector de Poynting el que provee dicha energía (Martín J. , 2015).

$$\text{Ecuación. 10} \quad \nabla \times \mathbf{P} = -\frac{\partial W}{\partial t}$$

En donde:

P es el vector de Poynting

W la energía del campo electromagnético y se define por:

$$\text{Ecuación. 11} \quad w = \frac{1}{2}(\mathbf{E} \times \mathbf{D} + \mathbf{H} \times \mathbf{D}) \text{ Watts}$$

La ecuación 10 define una especie de flujo energético electromagnético; esta energía se requiere para mover las bacterias magnetotácticas dentro del espacio en donde ellas se desenvuelven luego de ser aisladas.

1.2.3.4 Ley de Ampere

Al construir el electroimán que sirvió de soporte para la generación de campo magnético se tomó en cuenta la ley de ampere descrita a continuación:

$$\text{Ecuación. 12} \quad \iint \nabla \times \mathbf{H} \, dS = \iint \mathbf{J} \cdot dS = I$$

$$\text{Ecuación. 13} \quad \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{r} = I$$

1.2.3.5 Campo magnético producido por una espira circular

El electroimán está conformado por un conjunto de espiras por donde circula corriente y su magnitud corresponde a:

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{r} = I$$

$$2\pi H \oint dr = I$$

$$2\pi Hr = I$$

$$\text{Ecuación. 14 } B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

En donde:

μ_0 = Permeabilidad magnética del aire, en el caso de esta investigación equivale a:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

r es el radio del centro al extremo de la espira; finalmente al lado derecho de la ecuación 14 ha de multiplicarse por el número de espiras.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Hipótesis y especificación de variables

2.1.1 *Hipótesis general*

Ho: No existe potencial magnetotáctico de las bacterias prevalentes en el sedimento del río Chibunga $p \geq 0,05$.

Hi: Existe potencial magnetotáctico de las bacterias prevalentes en el sedimento del río Chibunga $p < 0,05$.

2.1.2 *Hipótesis específicas*

Es posible encontrar bacterias magnetotácticas en el sedimento del río Chibunga, ya que en todos los sedimentos existen materiales magnéticos y hierro.

Existe la posibilidad de separar las bacterias magnetotácticas del sedimento del río Chibunga aplicando campos magnéticos.

2.1.3 *Identificación de variables*

2.1.3.1 *Factores*

- Corriente eléctrica medida en amperios
- Distancia medida en metros

2.1.3.2 *Variable respuesta*

Tiempo de reacción de las bacterias magnetotácticas al estímulo del campo magnético, medido en decisegundos.

2.1.4. Operacionalización de variables

Tabla 1-2: Operacionalización de variables

Variable/Factor	Concepto	Indicador	Instrumento de medición
Corriente	Paso de cargas en un conductor por unidad de tiempo.	$I=dQ/dt$	Amperímetro
Distancia	Módulo del vector posición desde el centro de un sistema de coordenadas.	$ r $	Regla
Variable respuesta Tiempo de respuesta	Tiempo que demoran las bacterias en reaccionar al estímulo del campo magnético.	t	Cronómetro
Variable controlada Campo magnético	Relación entre fuerza magnética y carga de prueba.	$dB = \frac{u_0 I dl \times r}{r^2}$	Gaussímetro

Realizado por: Andrea Pardo, 2019

2.1.5 Matriz de consistencia

Tabla 2-2: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es el potencial magnetotáctico de las bacterias en el río Chibunga de Riobamba?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar el potencial magnetotáctico de las bacterias en el río Chibunga de Riobamba.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Recoger muestras de sedimento del río Chibunga a fin de encontrar presencia de bacterias magnetotácticas.</p> <p>Construir un electroimán para medir la excitabilidad de las bacterias magnetotácticas en los campos magnéticos producidos por aquel.</p> <p>Separar las bacterias magnetotácticas del resto de bacterias en el sedimento del río.</p> <p>Analizar el potencial de las bacterias magnetotácticas</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>No existe potencial magnetotáctico de las bacterias prevalentes en el sedimento del río Chibunga, $p>=0,05$</p> <p>Hi: Existe potencial magnetotáctico de las bacterias prevalentes en el sedimento del río Chibunga $p<0,05$</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Es posible encontrar bacterias magnetotácticas en el sedimento del río Chibunga, ya que en todos los sedimentos existen materiales magnéticos y hierro.</p> <p>Existe la posibilidad de separar las bacterias magnetotácticas del sedimento del río</p>	<p>Variable de interés</p> <p>Factores: Corriente, distancia.</p> <p>Bloques: Campo magnético.</p>

	como respuesta a la aplicación del campo magnético.	Chibunga aplicando campos magnéticos.	
--	---	---------------------------------------	--

Realizado por: Andrea Pardo, 2019

2.2 Tipo de Investigación

Aplicada a la ingeniería en biotecnología, entorno electromagnetismo; temporalidad transversal; enfoque cuali-cuantitativo; de laboratorio.

2.3 Diseño Experimental

Factorial

2.3.1 Población

Factores: 2

Niveles: 3

Experimentos: $3^2 = 9$

2.3.2 Tamaño muestra

27 unidades experimentales

La tabla 3-2 resume todos los casos a experimentar, en base al número de factores y niveles.

2.3.2.1 Método de muestreo

Aleatorio, sin criterios de exclusión por ser la investigación de diseño experimental.

Tabla 3-2: Población de experimentos del estudio

Experimento	Corriente	Distancia
1	Alta	Larga
2	Alta	Media
3	Alta	Corta

4	Alta	Larga
5	Alta	Media
6	Alta	Corta
7	Alta	Larga
8	Alta	Media
9	Alta	Corta
10	Media	Larga
11	Media	Media
12	Media	Corta
13	Media	Larga
14	Media	Media
15	Media	Corta
16	Media	Larga
17	Media	Media
18	Media	Corta
19	Baja	Larga
20	Baja	Media
21	Baja	Corta
22	Baja	Larga
23	Baja	Media
24	Baja	Corta
25	Baja	Larga
26	Baja	Media
27	Baja	Corta

Realizado por: Andrea Pardo, 2019

2.4 Instrumentos Y Técnicas De Recolección De Datos

- Técnica: Observación
- Instrumento: Inventario

2.5 Análisis Estadístico

Luego de la prueba de normalidad correspondiente a: Normalidad, Balanceo y Homocedasticidad se aplicó el Modelo lineal general univariado.

2.6 Lógica De La Investigación

- Se construyó un electroimán según la ley de Faraday, descrita en el apartado de bases conceptuales según el modelo:

$$\oint B \cdot dl = uoI$$

- Se tomó una muestra aleatoria de 1 Kg de sedimento del río Chibunga, al cual se aplicó por dos semanas el campo magnético producido por el electroimán hasta que las bacterias

magnetotáticas se separaron de las otras, prevalentes en dicho sedimento.

- Se aislaron las bacterias magnetotáticas obtenidas gracias a la aplicación del electroimán.
- Se colocó la muestra en placas de solución azul de metil, alcohol y safranina.
- Se aplicaron campos magnéticos a las bacterias aisladas cambiando intensidades por medio de resistencias variables, se establecieron diferentes distancias entre la colonia de bacterias y el electroimán.
- Se establecieron tiempos de respuesta de las bacterias a la excitación de los campos magnéticos.
- Se tabularon los datos para determinar su normalidad
- Se aplicó el Modelo Lineal General Univariado para determinar las diferencias en la variable respuesta por efecto de los factores.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados de la experimentación

Tabla 4-3: Factores y variable respuesta

0	Distancia	Tiempo de respuesta
Baja	Larga	53
Baja	Larga	55
Baja	Larga	50
Baja	Media	44
Baja	Media	46
Baja	Media	47
Baja	Corta	41
Baja	Corta	43
Baja	Corta	44
Media	Larga	44
Media	Larga	43
Media	Larga	45
Media	Media	34
Media	Media	33
Media	Media	35
Media	Corta	27
Media	Corta	29
Media	Corta	29
Alta	Larga	26

Alta	Larga	26
Alta	Larga	28
Alta	Media	22
Alta	Media	21
Alta	Media	22
Alta	Corta	11
Alta	Corta	13
Alta	Corta	10

Elaborado por: Andrea Pardo, 2019

Explicación: La tabla anterior registra en la primera y segunda columna los factores: corriente y distancia cuyos valores son nominales y en la tercera, el tiempo de respuesta de las bacterias magnetotáticas al campo magnético producido por los factores antes mencionados.

Tabla 5-3: Factores intersujetos de la prueba

		Valor nominal	Casos
CORRIENTE	1	Baja	9
	2	Media	9
	3	Alta	9
DISTANCIA	1	Larga	9
	2	Media	9
	3	Corta	9

Elaborado por: Andrea Pardo, 2019

Explicación: El descriptivo de la tabla 2 muestra los factores: corriente y distancia con sus niveles Bajo, Medio y Alto, 9 en cada caso (muestra balanceada).

Tabla 6-3: Prueba intersujetos

Variable respuesta: Tiempo de respuesta

Factor	Type III Suma de cuadrados	df	Media	F	Sig.
Modelo corregido	4234,000 ^a	8	529,250	259,814	,000
	31416,333	1	31416,333	15422,564	,000
CORRIENTE	3331,556	2	1665,778	817,745	,000
DISTANCIA	842,000	2	421,000	206,673	,000
CORRIENTE * DISTANCIA	60,444	4	15,111	7,418	,001
Error	36,667	18	2,037		
Total	35687,000	27			
Corrected Total	4270,667	26			

a. R Squared = ,991 (Adjusted R Squared = ,988)

Fuente: Tabla 1-2

Elaborado por: Andrea Pardo, 2019

3.1.1. Planteamiento de la hipótesis factores - variable respuestaHo: No existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los factores, $p \geq 0,05$ Hi: Existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los factores, $p < 0,05$ **Decisión**

En los casos corriente, distancia y corriente-distancia, Como $p < 0,05$ se desecha la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias en la variable respuesta por la aplicación de los factores.

Tabla 7-3: Comparaciones múltiples, pruebas post-hoc

Variable: Tiempo_respuesta

Tukey HSD

(I) CORRIENTE	(J) CORRIENTE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Baja	Media	11,56*	,673	,000	9,84	13,27
	Alta	27,11*	,673	,000	25,39	28,83
Media	Baja	-11,56*	,673	,000	-13,27	-9,84
	Alta	15,56*	,673	,000	13,84	17,27
Alta	Baja	-27,11*	,673	,000	-28,83	-25,39
	Media	-15,56*	,673	,000	-17,27	-13,84

Fuente: Tabla 1-2

Elaborado por: Andrea Pardo, 2019

3.1.2 Planteamiento de la hipótesis niveles de la corriente- variable respuesta

Ho: No existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los niveles, $p \geq 0,05$

Hi: Existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los niveles, $p < 0,05$

Decisión

En los casos bajo, medio y alto, como $p < 0,05$ se desecha la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias en la variable respuesta por la aplicación de los niveles.

Tabla 8-3: Comparaciones múltiples factor distancia

Dependent Variable: Tiempo_respuesta
Tukey HSD

(I) DISTANCIA	(J) DISTANCIA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Larga	Media	7,33*	,673	,000	5,62	9,05
	Corta	13,67*	,673	,000	11,95	15,38
Media	Larga	-7,33*	,673	,000	-9,05	-5,62
	Corta	6,33*	,673	,000	4,62	8,05
Corta	Larga	-13,67*	,673	,000	-15,38	-11,95
	Media	-6,33*	,673	,000	-8,05	-4,62

Fuente: Tabla 4-3

Elaborado por: Andrea Pardo, 2019

3.1.2. Planteamiento de la hipótesis niveles distancia-variable respuesta

Ho: No existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los niveles, $p \geq 0,05$

Hi: Existen diferencias en el tiempo de respuesta por efecto de los niveles distancia, $p < 0,05$.

Decisión

En los casos bajo, medio y alto, como $p < 0,05$ se desecha la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias en la variable respuesta por la aplicación de los niveles distancia.

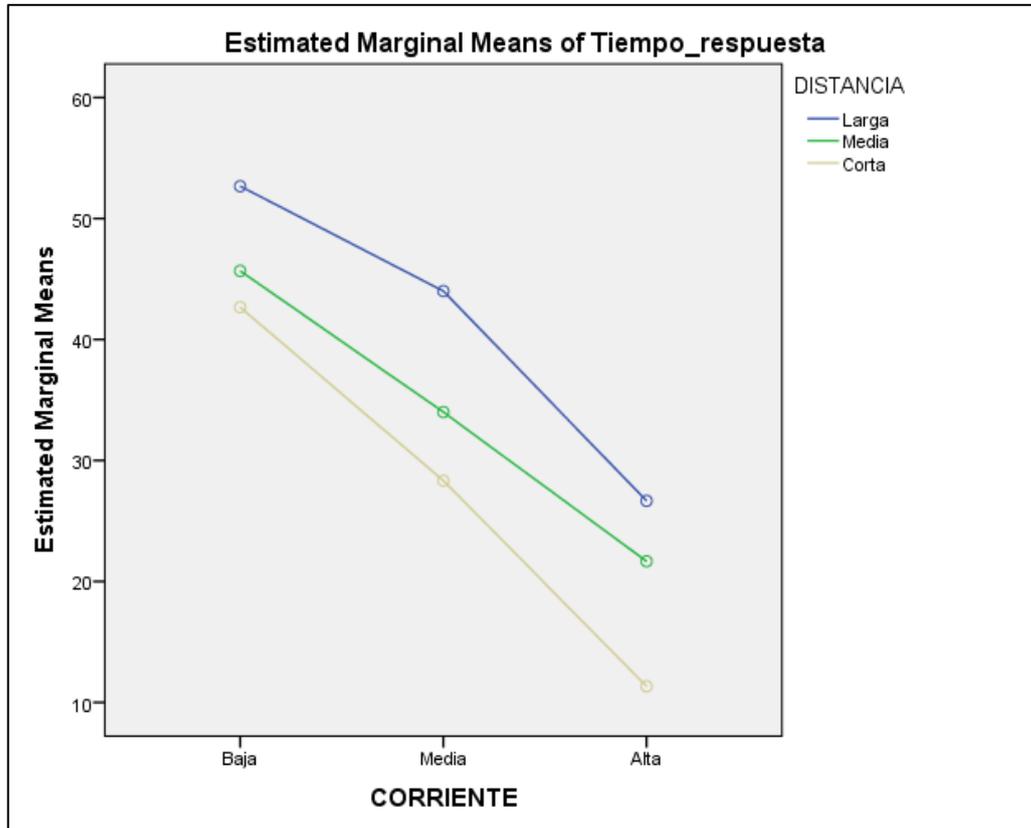


Figura 4-3: Estimativos factores corriente-distancia

Fuente: Tabla 5-3

Realizado por: Andrea Pardo, 2019

Explicación: La figura 4 incluye en el eje x el factor corriente con los niveles: baja, media y alta mientras en el eje Y se definen los tiempos de respuesta cuantitativos cuyos rangos va de 10 a 55 medidos en decisegundos; los colores representan al factor distancia.

3.2 Discusión

No cabe duda que la variable respuesta escenificada en el tiempo mismo de respuesta de las bacterias magnetotácticas es inversamente a la distancia de la placa al electroimán que provoca el campo magnético a través de la espira; se valida internamente la ley de Biot y Savart, lo que no es sorprendente, si en cambio sorprende que las bacterias en el río Chibunga sean portadoras de cargas y reaccionen como si de trozos de metal se trataran.

La variable respuesta representada en el tiempo mismo de respuesta de las bacterias magnetotácticas es directamente proporcional a la corriente que recorre las espiras del electroimán e incide en el campo magnético; se valida nuevamente en la ley de Biot y Savart, las bacterias en el río Chibunga son portadoras de cargas y reaccionan al campo antes descrito.

El propósito de la investigación de Martín, Domínguez y Gálvez (2014) se centra en el interés de desarrollar un imán vivo, sintetizado en laboratorio, poco interesante en la aplicación de nanotecnología o biomedicina; se contrasta este estudio con el presentado por la autora, el cual pondera las bacterias como portadoras de cargas por ser este principio más útil en aplicaciones industriales pues es posible conducir las a lugares convenientes del cuerpo humano por ejemplo, utilizando un campo magnético que en cambio no es complicado de implementar como crear bio imanes. (Marcos, 2015) (Artificial Magnetic Bacteria: Living Magnets at Room Temperature, *Advanced Functional Materials*. 2014, 3489- 3493).

La investigación de posgrado de Karool Manilla (2011) concluye que luego de diversos estudios se logró confirmar la presencia de partículas de hierro de tamaño nanométrico mediante el estudio de microscopía electrónica de transmisión (Diaz, 2017); este paso está por demás en dicha investigación, una vez que la teoría física del tema electricidad determina que el mismo espín del electrón lo hace susceptible al campo magnético, por ende, sin realizar pruebas innecesarias como las desarrolladas por Manilla, es posible conocer la presencia de hierro en las bacterias magnetotácticas, de allí que en la presente tesis se obvian estos casos.

CONCLUSIONES

Se recogió la muestra de sedimento del río Chibunga perteneciente al cantón Riobamba, en donde se la sometió a la excitación de campos magnéticos producidos por el paso de corriente eléctrica alrededor de una serie de espiras a fin de cumplir con la teoría de Biot y Savart referente a la determinación de los campos antes expuestos.

Se construyó el electroimán, tomando en cuenta que la fuerza magnética es la que movería a los portadores de carga, tomando en cuenta que, si se hace pasar corriente eléctrica por un conjunto de espiras construidas de modo circular, se induciría un campo eléctrico y magnético.

Se separaron las bacterias magnetotáticas del resto de bacterias en el sedimento del río, debido a que se las sometió a pruebas de campos magnéticos, variando la corriente eléctrica de las espiras y manejando 3 diferentes distancias del electroimán a las bacterias.

Se analizó el potencial de las bacterias magnetotáticas, tomando en cuenta el tiempo respuesta de las bacterias al campo magnético inducidos por el electroimán, manipulando la corriente eléctrica y la distancia con 3 diferentes niveles (alto, medio, bajo), y a pesar de que existe potencial en las bacterias, su respuesta al estímulo de campos magnéticos no fue tan rápida como se esperaría, en donde se asume que una posible causa sería a que no existe abundante hierro en el medio.

RECOMENDACIONES

Una vez detectadas las bacterias magnetotácticas, se requiere establecer una línea de investigación en la carrera de ingeniería ambiental, que en sus proyectos den seguimiento a los resultados del estudio registrado en este documento cambiando el contexto disciplinario epistemológico de investigación al de la microbiología enfocándose en los objetos de interés de esta.

Se recomienda efectuar nuevos estudios referentes a la composición de los cristales nanomagnéticos prevalentes en las bacterias, por ejemplo, en la magnetita o greigita, temas que no se realizaron en la investigación inserta en el presente documento dado que su propósito se limitó a determinar la existencia y potencial de bacterias magnetotácticas en el río Chibunga.

Una nueva recomendación desagregada de la presente investigación es la de evaluar la dinámica de las poblaciones de bacterias magnetotácticas prevalentes en el sedimento del río Chibunga, estudiarlas, definir la posibilidad de cultivarlas, enriquecer su medio con vitaminas y soluciones minerales a fin de poder disponer de colonias predecibles para su posterior uso en la ciencia o industria. La debilidad del presente estudio es que, aunque se determinó e hizo las pruebas correspondientes con las bacterias, no discriminó colonias ni su dinámica, una vez que su enfoque fue la ingeniería, no la microbiología.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN P. & MOSCA G. *Física para la ciencia y la tecnología*. Física moderna. 2C: Física moderna, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=FG9rpYWwU84C&pg=PA1253&dq=teoria+electromagnética&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwIjKsL_jAhWhzlkKHcaNBu0Q6AEIQDAD#v=onepage&q=teoria%20electromagnética&f=false

ALPHANDÉRY E. *Frontiers | Applications of Magnetosomes Synthesized by Magnetotactic Bacteria in Medicine | Bioengineering and Biotechnology*, (s.f.). [En línea]. [Consulta: 05 Septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2014.00005/full>.

ASAMBLEA NACIONAL. *Constitución de la República del Ecuador*. 218.

BLAKEMORE. *Magnetotactic bacteria*. Science, 1975. [En línea]. [Consulta: 02 Agosto 2019]. Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/190/4212/377>.

BLAKEMORE. *Magnetotactic Bacteria | Annual Review of Microbiology*, 1982. [En línea]. [Consulta: 02 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.mi.36.100182.001245?journalCode=micr>.

CORDERO, P. *Electromagnetismo*, 2011. [En línea]. [Consulta: 05 Agosto 2019], Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=4dNqDwAAQBAJ&pg=PA166&dq=electromagnetismo&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwiM1a3WsL_jAhWBwFkKHcXdCCEQ6AEIPDAD#v=onepage&q=electromagnetismo&f=false. 2011.

EDITRICE COMPOSITORI. *Quaderni Di Storia Della Fisica*, 1998. [En línea]. [Consulta: 05 Septiembre 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=WRa6AAAIAAJ&q=fisica&dq=fisica&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwjQ05SNsb_jAhUJjVvKHWyxCUYQ6AEIWjAG.

FAIVRE D. & SCHÜLER D. *Magnetotactic Bacteria and Magnetosomes | Chemical Reviews*, 2008. [En línea]. [Consulta: 08 Septiembre 2019]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr078258w>.

GUAÑA, R. *Delitos ambientales. Código Penal.pdf*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: <http://sib.ambiente.gob.ec/file/TVS/6.-Ra%C3%BA1%20Gua%C3%B1a-%20Delitos%20Ambientales%20C%C3%B3digo%20Penal.pdf>

HERNÁNDEZ & SOLIS. *Electricity and electronics as a support for electrophysiology and membranes biophysics*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDREVISTA=80&IDARTICULO=77145&IDPUBLICACION=7472>

HEWITT P. *Conceptual Physics*. (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=1fPUiU7w1gC&pg=PA475&dq=campo+magnetico&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwjZnNqmsb_jAhUj2FkKHQ6ZBfkQ6AEIJzAA#v=onepage&q=campo%20magnetico&f=false

KEMMER. *Análisis vectorial: Matemáticas de los campos tridimensionales para físicos*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=c_JKhlZ3eYC&pg=PR10&dq=ANALISIS+VECTORIAL&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwix_tz4sb_jAhWDjlkKHc0NABMQ6AEIJzAA#v=onepage&q=ANALISIS%20VECTORIAL&f=false

KOLINKO S1, et.al. *Single-cell genomics of uncultivated deep-branching magnetotactic bacteria reveals a conserved set of magnetosome genes*. - PubMed®NCBI. (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26060021>

LÓPEZ V. *ELECTROMAGNETISMO II*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=_x-fCwAAQBAJ&pg=PT351&dq=electromagnetismo&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwiM1a3WsL_jAhWBwFkKHcXdCCEQ6AEIQzAE#v=onepage&q=electromagnetismo&f=false

MARCOS M. *Bacterias magnéticas biomiméticas*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=57667>

MARTÍN J. *Electromagnetismo (Electrotecnia)*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=aLYpDwAAQBAJ&pg=PA179&dq=electroiman&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwilrcn2sL_jAhXEslkKHWDCCDUUQ6AEIPTAD#v=onepage&q&f=false

RUSSELL C. *Mecánica vectorial para ingenieros*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=clxMnzCbgJkC>

&pg=PA128&dq=ANALISIS+VECTORIAL&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwix_tz4sb_jAhWDjlkKHc0NABMQ6AEIRDAE#v=onepage&q=ANALISIS%20VECTORIAL&f=false

SÁENZ J. *Calculo Vectorial*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=04HngEACAAJ&dq=CLACULO+VECTORIAL&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwjB6pnTsb_jAhUm11kKHdagDIYQ6AEINzAC

SEPULVEDA A. *Electromagnetismo*. (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=hkugKX9QhgC&pg=PR2&dq=electromagnetismo&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwiM1a3WsL_jAhWBwFkKHcXdCCEQ6AEIJzAA#v=onepage&q=electromagnetismo&f=false

TOBAJA, L. *Enfoque histórico en la enseñanza del campo electromagnético*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Agosto 2019]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172018000400501&script=sci_arttext

TREJO C. *Análisis vectorial: Con teoría del potencial y aplicaciones*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 07 Septiembre 2019]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=8GPGQgAACAAJ&dq=ANALISIS+VECTORIAL&hl=gl&sa=X&ved=0ahUKEwix_tz4sb_jAhWDjlkKHc0NABMQ6AEIZjAJ

UEBE R, SCHÜLER D. *Magnetosome biogenesis in magnetotactic bacteria* / *Nature Reviews Microbiology*, (s. f.). [En línea]. [Consulta: 09 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/nrmicro.2016.99>

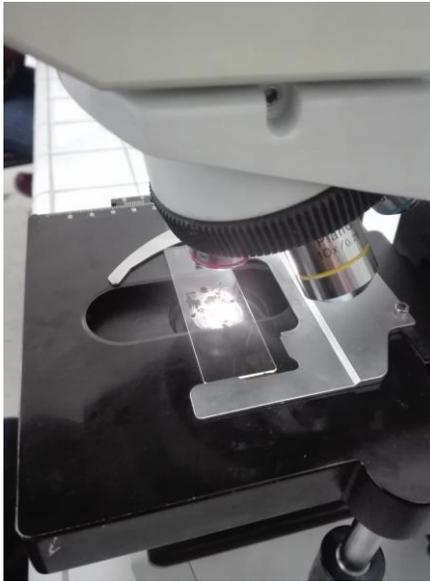
ANEXOS

Anexo A. Recogida De Sedimento Del Río Chibunga



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL</p> <p>ELABORADO POR: Andrea Pardo.</p>	<p>TEMA RECOGIDA DE SEDIMENTO DEL RÍO CHIBUNGA</p>		
<p>Río Chibunga, Toma de muestra de sedimento. Muestras de tierra en porta placas.</p>	<p>X Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información</p>		<p>LÁM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>09/06/2019</p>

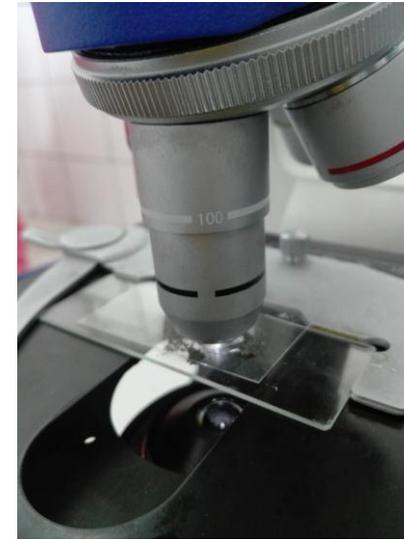
Anexo B. Determinación De Bacterias Magnetotácticas



a)



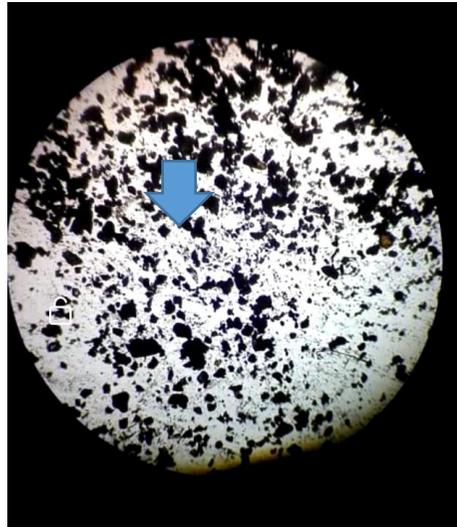
b)



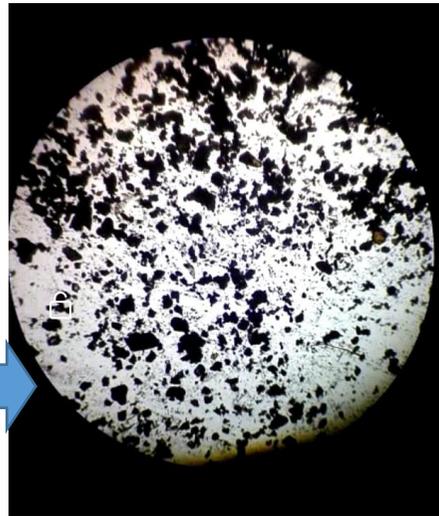
c)

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ELABORADO POR: Andrea Pardo.	TEMA		
a) Vista al microscopio lente 04.x b) Aceite de Inmersión. c) Vista al microscopio lente 100.x	X Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información		DETERMINACIÓN DE BACTERIAS MAGNETOTÁCTICAS		
			LÁM:	ESC:	FECHA:
		2	1:1	09/06/2019	

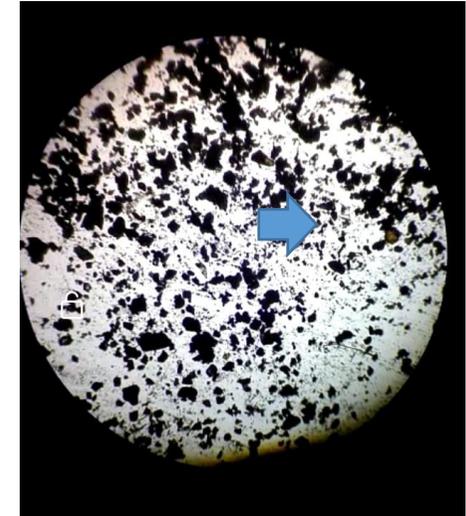
Anexo C. Excitación De Bacterias Magnetotácticas



a)



b)



c)

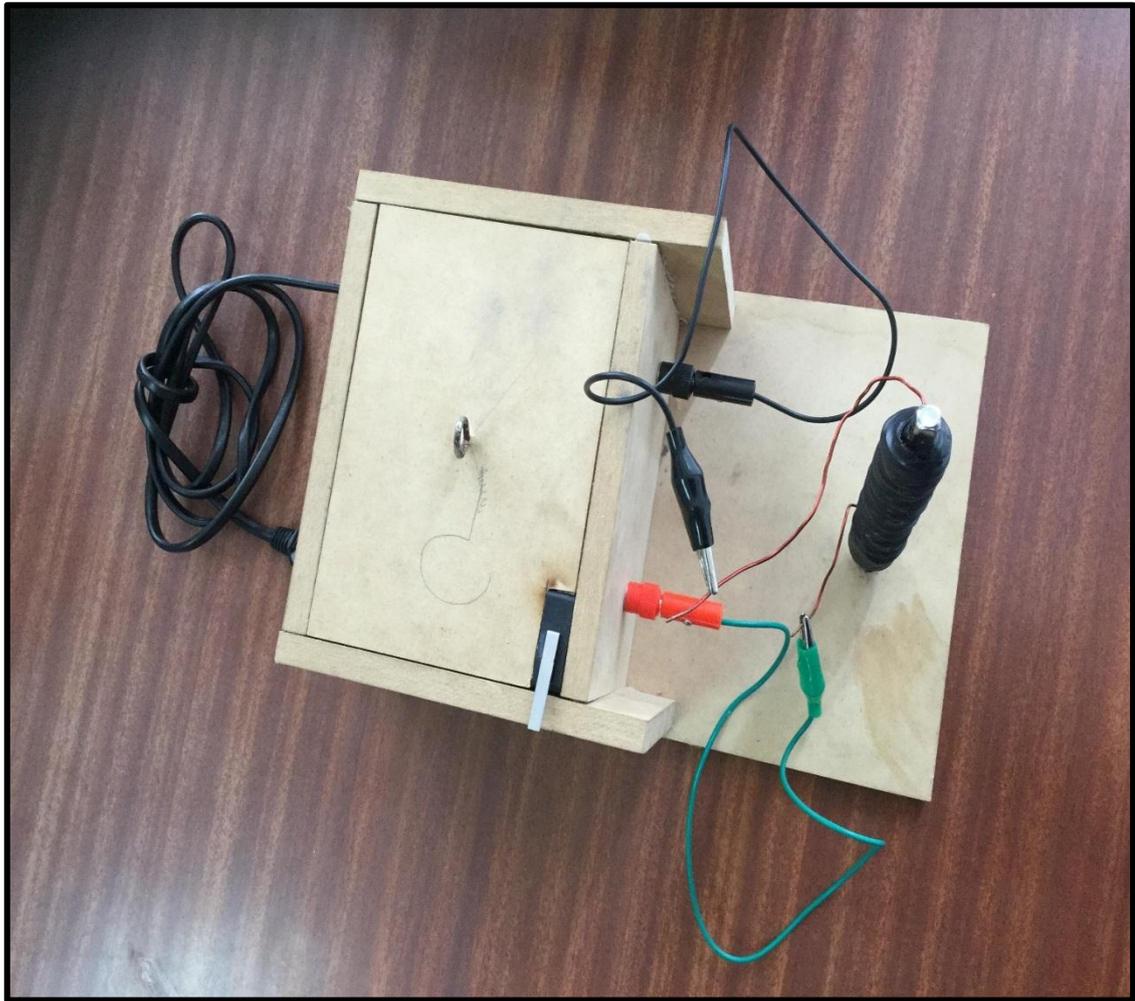
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ELABORADO POR: Andrea Pardo. </p>	TEMA EXCITACIÓN DE BACTERIAS MAGNETOTÁCTICAS		
a) Primer movimiento. b) Segundo movimiento. c) Tercer movimiento.	X Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información		LÁM:	ESC:	FECHA:
			1	1:1	09/07/2019

Anexo D. Análisis mecánico de bacterias



Realizado por: Andrea Pardo, 2019.

Anexo E. Construcción de electroimán



Realizado por: Andrea Pardo, 2019.

Anexo F. Implementación de transformador para el electroimán



Realizado por: Andrea Pardo, 2019.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05/12/2019

INFORMACIÓN DEL AUTORA
Nombres - Apellidos: Andrea Elizabeth Pardo Torres.
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de bibliotecas responsable: