

MICROORGANISMOS Y SUS RESPUESTAS FISIOLÓGICAS ANTE EXPOSICIÓN A SONIDOS*

Microorganisms and their physiological response to their exposure to sounds

Jhetsús D'Hoy¹

RESUMEN

Esta revisión documental tuvo como meta, el análisis del contenido de trabajos relacionados con la aplicación de sonidos a microorganismos; siendo este un tema muy poco estudiado y las publicaciones son limitadas. Para llevar a cabo esta investigación fue usado el enfoque metodológico cualitativo, concretamente la investigación documental, esto permitió mediante la lectura crítica, la comparación de las distintas teorías relacionadas a este tema. Para poner en evidencia la búsqueda y los hallazgos encontrados, el escrito estuvo separado en diversos apartados: “sonidos y su impacto sobre microorganismos”, “ultrasonidos y su aplicación sobre microorganismos” y “estímulos musicales y su consecuencia sobre los microorganismos”. Dentro de los hallazgos de importancia cabe resaltar que el uso de los sonidos puede inducir variaciones en el comportamiento fisiológico de los microorganismos, todo esto sujeto a los distintos aspectos del sonido que pueden ser modificados. Se concluyó que el sonido puede incidir sobre microorganismos de manera positiva y negativa, dependiendo del estímulo sonoro recibido. El aspecto más estudiado en los artículos revisados, es el crecimiento que puede verse aumentado o disminuido.

Palabras clave: bacterias, ultrasonido, música, crecimiento, revisión.

ABSTRACT

This documentary review had as its goal the analysis of the content of works related to the application of sounds on microorganisms, this being a very little studied subject and publications are limited. To carry out this investigation, the qualitative methodological approach was used, specifically documentary research; this allowed, through critical reading, the comparison of the different theories related to this topic. To highlight the search and the findings found, the writing was separated into various sections: "sounds and their impact on microorganisms", "ultrasound and its application on microorganisms" and "musical stimuli and their consequence on microorganisms". Among the important findings, it should be noted that the use of sounds can induce variations in the physiological behavior of microorganisms, all of this subject to the different aspects of sound that can be modified. It was concluded that sound can affect microorganisms in a positive and negative way depending on the sound stimulus received. The most studied aspect in the articles reviewed is growth, which can be increased or decreased.

Key words: bacteria, ultrasound, music, growth, review.

(*) Recibido: 20-09-2022

Aceptado: 30-04-2023

¹Doctorando en Biotecnología. Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Ezequiel Zamora. UNELLEZ, Guanare 3350, Po. Venezuela. jhetsusdavid@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realizó con la finalidad de describir los hallazgos sobre los efectos de la aplicación de sonidos y música sobre organismos unicelulares, a partir de investigaciones publicadas en diversos países. Este tema ha sido muy poco estudiado pero a pesar de eso, destacan investigadores como: Sarvaiya *et al.* (2015), Rengen, *et al.* (2017), Ku *et al.* (2020), Najjarzadeh (2021), Vázquez (2017).

Los trabajos concernientes a este tema son escasos y los pocos trabajos que hay difieren en aspectos que van desde el estímulo sonoro utilizado, hasta el microorganismo que recibe dicho estímulo. La importancia de este tema surge por las posibilidades de modificar el comportamiento de microorganismos mediante esta estimulación; posteriormente se presentan investigaciones que demuestran como el sonido puede ayudar desde la eliminación de organismos unicelulares, hasta como el ruido proveniente de un refrigerador puede favorecer la formación de hongos en los alimentos.

La pertinencia de esta investigación viene dada como consecuencia de la escasez de investigaciones científicas relacionadas con la musicoterapia y organismos unicelulares. En torno al tema de los microorganismos, existen problemas relacionados con su control y/o eliminación. En este sentido, Bandara *et al.* (2014), afirman que debido a la resistencia a antibióticos, el manejo de infecciones crónicas en heridas drena hasta 25 mil millones de dólares por año de los recursos del sistema de salud de USA. Por esto, el uso de ondas de sonido para potenciar la capacidad antimicrobiana de la tobramicina.

Sharath *et al.* (2018) señalan que aún falta mucho por investigar con relación a cómo interactúan los microbios con los sonidos, y esto es de importancia ya que existen las posibilidades de aplicaciones terapéuticas asociadas al sonido sobre los microorganismos presentes en el cuerpo humano.

De silva *et al.* (2019) ratifican que los científicos se encuentran en la búsqueda de una forma efectiva y amigable con el ambiente, para

eliminar microorganismos presentes en el agua, suelos y alimentos. En el caso del agua, el principal método de purificación es el químico, el cual a largo plazo puede traer problemas de salud debido a su consumo.

En este mismo orden de ideas, Vázquez (2017) sostiene que el ultrasonido ofrece una alternativa a la descontaminación de aguas residuales, esto es muy beneficioso ya que se puede disminuir o eliminar el uso del cloro para su tratamiento.

La presente revisión documental tiene como finalidad, describir los hallazgos sobre los efectos de la aplicación de música y sonidos sobre organismos unicelulares a partir de investigaciones publicadas en diversos países. Este tema ha sido muy poco estudiado y existen muchos vacíos en esta área del conocimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pelekais (2000) describe de forma detallada las características de los enfoques de investigación y de acuerdo a la naturaleza de este trabajo, se enmarca en el enfoque cualitativo, pues se busca describir y obtener conocimiento profundo de un fenómeno por medio de la obtención de datos escritos. De Andrea (2010) menciona que las bases epistemológicas de la perspectiva cualitativa se encuentran en la hermenéutica, el interaccionismo simbólico, la fenomenología y la sociología crítica.

Basado en lo anteriormente explicado, para el desarrollo del estudio fue usado el enfoque metodológico hermenéutico, ya que a través de él, se pueden comparar los resultados de experimentos realizados sobre los sonidos, la música, y sus efectos sobre los microorganismos, y así lograr poner en evidencia las áreas relacionadas a este tema, donde la información sea escasa para poder enfocar de manera apropiada futuros ensayos.

El diseño de este trabajo es documental, este tipo de diseños de investigación posibilita el fortalecimiento teórico a través de la revisión de documentos y textos para que luego se lleve a cabo el análisis de las teorías previamente planteadas (Tovar 2018).

El nivel es descriptivo, debido a que se busca caracterizar una situación concreta o un fenómeno indicando sus aspectos de mayor importancia (Morales 2012).

El propósito de la investigación es básico, porque busca descubrir leyes o principios básicos y adentrarse en los conceptos de una ciencia. Los resultados o conocimientos teóricos obtenidos, sirven de apoyo o base para la realización de trabajos con propósitos aplicados y luego podrán ser usados de manera práctica según las necesidades del entorno (Escudero y Cortez 2018).

Muestra

Para la realización de esta pesquisa se tomaron en cuenta 28 documentos, entre ellos, artículos de revistas científicas, tesis doctorales y de maestría, relacionados con el sonido, la música y sus efectos sobre microorganismos. Los artículos fueron escogidos por su realización entre los años 1990 y 2021.

Al ser este un trabajo enfocado en la metodología cualitativa no se busca extrapolar los datos obtenidos a una población más grande (Sánchez *et al.* 2015).

Instrumentos

El registro de la información obtenida a través de la búsqueda, se logró mediante el uso de la ficha de contenido; en ella se destacan los textos que se consideraron de mayor importancia para la realización de esta investigación. Para llevar a cabo la organización y análisis de la información, se elaboraron tablas que contienen la información de relevancia de los artículos (títulos, autores, estímulo sonoro utilizado y respuesta por parte de los microorganismos).

Proceso de elaboración

Para llevar a cabo este trabajo se dividieron las actividades en tres fases: en la primera parte se hizo la búsqueda de publicaciones científicas, para la segunda, se organizaron los documentos encontrados, esto se logró mediante el uso de tablas; fueron extraídos los textos de importancia de cada documento y se organizaron según su similitud en las temáticas. Estas tablas se

presentan en el apartado de resultados. Para finalizar se llevó a cabo un análisis de los documentos encontrados para evidenciar en qué coinciden y en qué se diferencian los hallazgos de los diferentes autores.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta el título de la investigación, autores y año de publicación del trabajo, además se le asigna un número a cada trabajo para posteriormente identificarlo en la Tabla 2.

En la Tabla 2 se pueden observar los tratamientos aplicados sobre los microorganismos y su comportamiento tras la aplicación del estímulo.

DISCUSIÓN

En este tercer apartado se describen e interpretan los textos científicos contenidos en la Tabla 1 y la Tabla 2, además se exponen de manera más detallada los hallazgos evidenciados en todos ellos. Esta interpretación se hizo desde bloques temáticos separados por subtítulos los cuales están compuestos por: “sonidos y su impacto sobre microorganismos”, “ultrasonidos y su aplicación sobre microorganismos” y “estímulos musicales y su consecuencia sobre los microorganismos”, esta separación por temas se hace con el objetivo de facilitar la comprensión de los estudios recolectados por parte del lector.

Sonidos y su impacto sobre microorganismos

Bandara *et al.* (2014) exponen la dificultad de la eliminación del biofilm formado por algunos microorganismos sobre todo en heridas abiertas, entre ellos tenemos a la bacteria Gram negativa *Pseudomona aeruginosa*, la cual fue tratada con tobramicina y sonidos a una frecuencia de 450 Hz; esto resultó en una destrucción de la arquitectura de biofilm formado por la bacteria, también se pudo observar mediante la microscopía, que las células de este microorganismo estaban alargadas con una forma similar a una hifa.

De silva (2019) realizó experimentos para comprender el comportamiento de los microorganismos cuando eran expuestos a sonidos

audibles, una de las bacterias puestas a prueba fue *Escherichia coli*. El aspecto estudiado sobre el comportamiento de este organismo unicelular, fue la eficiencia de formación de colonias, esta última se vio disminuida en un 27 % cuando el sonido audible poseía una frecuencia de 100 Hz, sin embargo, cuando la frecuencia fue de 1000 Hz hubo un aumento de 250 %. Al realizar el mismo experimento con *Salmonella typhimurium* la eficiencia disminuyó un 72 % cuando se aplicó el sonido audible con una frecuencia de 15000 Hz.

Ying *et al.* (2009) usaron sonidos audibles con frecuencias de 1; 5 y 15 kHz, para estimular cultivos de *Escherichia coli*, el crecimiento de estos últimos fue medido luego de la estimulación con los sonidos audibles, y se pudo evidenciar que los sonidos audibles (sobre todo los que tienen una frecuencia de 5 kHz) podían incrementar el número de células viables del cultivo bacteriano. Con las frecuencias de 1 kHz y 15 kHz el incremento en el crecimiento bacteriano no fue tan marcado, sin embargo, los cultivos que fueron tratados con frecuencias de 5 kHz presentaron un incremento en su crecimiento del 30%, siendo este valor el más alto para este experimento. Quier decir que la bacteria puede responder de manera selectiva ante diferentes frecuencias pertenecientes al sonido audible.

Banerjee *et al.* (2018) aplicaron sonidos audibles con frecuencias de 432 Hz y 4 kHz sobre cultivos en placa de *Escherichia coli*, entre estos cultivos se tienen grupos de control, grupos que fueron estimulados con los sonidos audibles y un grupo que tuvo discos de sensibilidad a antibióticos en los medios de cultivo y al mismo tiempo recibieron el estímulo auditivo. Al finalizar el experimento se pudo comprobar que las frecuencias de 432 Hz, incrementaron el crecimiento bacteriano en los cultivos, esta misma frecuencia aumentó la susceptibilidad del microorganismo hacia el antibiótico, mientras que la frecuencia de 4 kHz produjo disminución del crecimiento bacteriano y aumentó la resistencia frente a antibióticos.

Gu *et al.* (2016) afirman que el tratamiento con ondas sonoras a una frecuencia de 8000 Hz, produjo un aumento de la longitud promedio de las células de un cultivo de *Escherichia coli*, además

de esto, hubo otros hallazgos de importancia, uno de ellos fue un aumento del 27,26 % en la tasa promedio de crecimiento del cultivo y un incremento en los niveles intracelulares de ARN.

Villacrés (2016) evaluó el crecimiento de los microorganismos en muestras de agua residual de una localidad en Ecuador; para el estímulo de estas muestras fueron usados sonidos a una frecuencia de 20440 Hz, al igual que en la mayoría de las investigaciones similares, los recuentos bacterianos aumentaron en los grupos tratados con los estímulos sonoros en comparación a los cultivos de control.

Hofstetter *et al.* (2020) realizaron experimentos para evaluar el impacto que tiene el sonido que producen los refrigeradores sobre un microorganismo llamado *Botrytis cinérea*; que es responsable de la pérdida de grandes cantidades de alimentos que requieren refrigeración a nivel mundial. Los sonidos emitidos por los refrigeradores fueron grabados y analizados, para posteriormente ser usados sobre el microorganismo en un entorno de laboratorio. Los sonidos grabados de los refrigeradores fueron analizados y comprendían frecuencias entre 600 y 15844 Hz, la estimulación del hongo con esta grabación produjo un incremento en su crecimiento del 18,0 %.

Shaobin *et al.* (2010) aplicaron sonidos audibles sobre *Escherichia coli*; las frecuencias de estos sonidos eran de 1000; 5000 y 10000 Hz. En todos los casos en los que fueron aplicados los sonidos sobre los cultivos bacterianos, hubo un aumento de la eficiencia de formación de colonias, con respecto a los grupos de control, sin embargo, dentro de las frecuencias utilizadas la que más incrementó el crecimiento de esta bacteria fue la frecuencia de 1000 Hz.

Aggio *et al.* (2011) en concordancia con lo que muchos autores anteriormente mencionan, los cultivos de *Saccharomyces cerevisiae* incrementaron sus tasas de crecimiento al ser expuestos a sonidos con frecuencias de 100 Hz y 10 kHz.

Kothari *et al.* (2018) evaluaron dos aspectos relacionados con la fisiología del

microorganismos *Chromobacterium violaceum*, el primero es la producción de un pigmento bacteriano llamado violaceína y el segundo es el crecimiento; ambos aspectos se vieron incrementados cuando el microorganismo fue expuesto a sonidos audibles con frecuencias de 300 Hz.

Ultrasonidos y su aplicación sobre microorganismos

De Silva *et al.* (2019) usaron ultrasonidos con frecuencias de 80000 Hz sobre cultivos de *Salmonella typhimurium* y *Escherichia coli*, para evaluar cómo se veía afectada la eficiencia de formación de colonias. Para los cultivos de *Salmonella typhimurium* la eficiencia se vio disminuida en un 92,1 %, mientras que para el cultivo de *Escherichia coli* la misma frecuencia provocó una disminución de un 19,0 %.

Vázquez (2017) aplicó ultrasonido sobre muestras de aguas residuales a una frecuencia de 20 kHz, con la finalidad de evaluar la presencia de microorganismos en estas aguas, específicamente los coliformes totales y los coliformes fecales, incluida en estos grupos la bacteria *Escherichia coli*. Evidenció que el uso de ultrasonidos puede lograr la inactivación en un 99 % de los microorganismos presentes en las muestras de aguas residuales.

D'Amico *et al.* (2006) usaron el ultrasonido con frecuencias de 20 khz sobre leche uht y sidra de manzana, previo a la aplicación del ultrasonido, la leche fue inoculada con *L. monocytogenes* y la sidra con *Escherichia coli*. Al finalizar la investigación se pudo constatar que el ultrasonido logró una reducción del 98,8 % del microorganismo inoculado en la leche y para la sidra la reducción fue de un 99,9 %.

Zips *et al.* (1990) estudiaron la capacidad del ultrasonido a una frecuencia de 38 kHz, para eliminar el biofilm formado por la bacteria *Pseudomona diminuta*, la cual tiene la capacidad de adherirse con bastante facilidad, en membranas de filtración usadas en la osmosis inversa. Después de aplicar el ultrasonido se constató una eliminación del biofilm formado por esta bacteria en las membranas de filtración superior al 95 %.

Demirdöven *et al.* (2008) llevaron a cabo una recopilación de estudios realizados con relación al uso del ultrasonido en la preservación de los alimentos, en los tópicos tratados en este trabajo, se menciona la capacidad del ultrasonido de inducir la muerte celular, esto ocurre comúnmente con frecuencias de 20 kHz y 40 kHz.

Najjarzadeh (2021) utilizó ondas de ultrasonido con frecuencias de 40 kHz sobre el hongo *Fusarium oxysporum*, se pudo observar una disminución de su crecimiento; también se evidenciaron cambios morfológicos

Bochu *et al.* (2003) emplearon ondas de ultrasonido a una frecuencia de 24 kHz sobre *Saccharomyces cerevisiae*, trajo como consecuencia un aumento de la biomasa, de la permeabilidad de la membrana celular y el potencial de la misma, lo cual elevó el transporte de calcio al interior de la célula y generó un alza en las concentraciones intracelulares de calcio, tres veces con respecto al grupo de control.

Perdomo (2017) expuso la pulpa de mango al ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz, ocasionó que el recuento de bacterias aeróbicas mesófilas presentara una disminución de 7,88 ufc/g a 1,69 ufc/g

Hazan *et al.* (2006) dieron a conocer una aplicación práctica de las ondas ultrasonido; fueron usadas frecuencias de 100 kHz y 300 kHz sobre la porción extra corporal de catéteres urinarios colocados en conejos, concluyeron que esta práctica evita la adhesión de microorganismos al dispositivo médico y además evita la formación de biofilm bacteriano.

Scherba *et al.* (1991) evaluaron la capacidad bactericida que posee el ultrasonido a una frecuencia de 26 kHz, los microorganismos usados fueron *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, y *Pseudomonas aeruginosa*, los cuales fueron eliminados de los medios de cultivo tras el uso del ultrasonido, también se menciona que el efecto bactericida se potencia con prolongación en el tiempo de la aplicación del ultrasonido.

Rengen *et al.* (2017) mencionan en su investigación relacionada con las terapias sonodinámicas, que el ultrasonido con frecuencias menores a 1 MHz fueron capaces de eliminar la bacteria *Pseudomona aeruginosa* que fue inoculada experimentalmente en el cuerpo de los ratones.

Phull *et al.* (1997) probaron el potencial bactericida del ultrasonido; fue aplicado a una frecuencia de 800 kHz sobre cultivos de *Escherichia coli*, también se aplicó este mismo tratamiento sobre muestras de agua corriente y el resultado en ambos casos fue una destrucción o inactivación del 80 % de las bacterias.

Pitt *et al.* (1994) realizaron pruebas con *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, y *Staphylococcus aureus* los cuales fueron expuestos a gentamicina y ultrasonido con una frecuencia de 67 kHz, esto resultó en una potenciación de la actividad antimicrobiana de la gentamicina. En este trabajo se menciona, que los resultados obtenidos tras la aplicación del ultrasonido sin el antimicrobiano, no fueron relevantes.

Estímulos musicales y su consecuencia sobre los microorganismos

Sharath *et al.* (2018) utilizaron la bacteria *Brevibacterium* sp la cual fue expuesta a canciones de películas hindúes, llamadas top lesi poddi y priyathama neevachata kushalama, con frecuencias comprendidas entre los 100 Hz y 1000 Hz, esto trajo como consecuencia que en comparación al grupo de control, el microorganismo incrementó su crecimiento y presentó mayor uso del sustrato, además de esto, la fase estacionaria del crecimiento bacteriano se observó 4 h antes.

Kotwall *et al.* (2016) evaluaron cómo se afecta el crecimiento de dos microorganismos (*Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*) cuando se exponen a distintos géneros musicales, los cuales van desde el rock hasta la música clásica. La medición del crecimiento de los microorganismos se llevó a cabo mediante la absorbancia del medio de cultivo y estos niveles presentaron incrementos que iban desde el 93 % hasta el 430 % en comparación al grupo de

control, este último valor fue alcanzado con el género de música rock.

Sarvaiya *et al.* (2015) estimularon una serie de microorganismos con un tipo de música clásica india llamada Raag Kirwani, con frecuencias entre 38 Hz y 689 Hz, al igual que varios de los trabajos previamente realizados, hubo aumento en el crecimiento bacteriano, aumento en la producción de metabolitos bacterianos y en la sensibilidad a antibióticos, pero uno de los hallazgos de interés, es que no todos los microorganismos responden igual ante un mismo estímulo musical.

Ku *et al.* (2020) evaluaron la motilidad de *Escherichia coli* cuando fue estimulada con música instrumental, esta música poseía frecuencias entre 55 Hz y 4186 Hz; al finalizar los ensayos, se pudo determinar que la estimulación de las bacterias con la música pudo incrementar su motilidad.

Sarvaiya *et al.* (2017) de manera similar a otros estudios, usaron un tipo de música india (Raag Malhar) con frecuencias entre 41 Hz y 645 Hz sobre los microorganismos *Xanthomonas campestris*, *Chromobacterium violaceum*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus mutans*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida albicans*. De estos microorganismos, algunos mostraron mayor susceptibilidad a los antibióticos, otros degradaron el antibiótico de manera más eficiente, fue alterada la tolerancia al alcohol y también se modificó la permeabilidad de la membrana plasmática.

Mohammadi *et al.* (2011) utilizaron música verde, la cual consta de una base de música clásica junto con sonidos de la naturaleza, como lo son: el viento, cantos de pájaros y la lluvia, esta música tenía un rango de frecuencias que iba desde los 30 hasta los 18000 Hz y fue aplicada sobre leche inoculada con *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp, *L. acidophilus* LA-5 y *Bifidobacterium lactis* BB-12. Se pudo comprobar que el estímulo musical aumentó considerablemente la tasa de acidificación del medio por parte de los microorganismos y también disminuyó su tiempo de incubación en comparación a grupos de control.

Tabla 1. Título de los trabajos científicos, sus autores y año de publicación.

Nº	Nombre del artículo	Autor (es) y año
1	Sound waves effectively assist tobramycin in elimination of <i>Pseudomona aeruginosa</i> biofilms in vitro.	Bandara <i>et al.</i> (2014)
2	Effect of music on growth and pigment production of <i>Brevibacterium</i> sp.	Sharath <i>et al.</i> (2018)
3	Effect of sound on “ <i>Salmonella typhimurium</i> ” and “ <i>Escherichia coli</i> O157:H7.	De silva <i>et al.</i> (2019)
4	Efecto del ultrasonido en la viabilidad de diferentes tipos de bacterias presentes en el agua residual.	Vázquez (2017)
5	Inactivation of microorganisms in milk and apple cider treated with ultrasound.	D’Amico <i>et al.</i> (2006)
6	Ultrasound as a means of detaching biofilms.	Zips <i>et al.</i> (1990)
7	The use of ultrasound and combined technologies in food preservation.	Demirdöven <i>et al.</i> (2008)
8	The effect of music on the growth of <i>Escherichia coli</i> and <i>Staphylococcus aureus</i> .	Kotwall <i>et al.</i> 2016
9	Experimental investigation on the effects of audible sound to the growth of <i>Escherichia coli</i> .	Ying <i>et al.</i> (2009)
10	Sound driven biotechnology.	Najjarzadeh (2021)
11	The influence of Ca ²⁺ on the proliferation of <i>S. cerevisiae</i> and low ultrasonic on the concentration of Ca ²⁺ in the <i>S. cerevisiae</i> cells.	Bochu <i>et al.</i> (2003)
12	Effect of different sound frequencies on the growth and antibiotic susceptibility of <i>Escherichia coli</i> .	Banerjee <i>et al.</i> (2018)
13	Efecto de tiempo de exposición al ultrasonido en las características fisicoquímicas, recuento de bacterias aerobias mesófilas y aceptabilidad general de la pulpa de mango.	Perdomo (2017)
14	Effects of sound exposure on the growth and intracellular macromolecular synthesis of <i>E. coli</i> k-12.	Gu <i>et al.</i> (2016)
15	Effective prevention of microbial biofilm formation on medical devices by low-energy surface acoustic waves.	Hazan <i>et al.</i> (2006)
16	Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy.	Scherba <i>et al.</i> (1991)
17	Sonodynamic therapy, a treatment developing from photodynamic therapy.	Rengen <i>et al.</i> (2017)
18	Effect of audible sound in form of music on microbial growth and production of certain important metabolites.	Sarvaiya <i>et al.</i> (2015)
19	Medición del crecimiento microbiano en aguas residuales domésticas procedentes del barrio la primavera, parroquia Lizarzaburu, cantón Riobamba, estimulado por tecnología de ondas de sonido audible”.	Villacrés (2016)
20	Acoustic noise of refrigerators promote increased growth rate of the gray mold <i>Botrytis cinerea</i> .	Hofstetter <i>et al.</i> (2020)
21	A pilot study of the effect of audible sound on the growth of <i>Escherichia coli</i> .	Shaobin <i>et al.</i> (2010)
22	Sonic vibration affects the metabolism of yeast cells growing in liquid culture: a metabolomic study.	Aggio <i>et al.</i> (2011)
23	Influence of a mono-frequency sound on bacteria can be a function of the sound-level.	Kothari <i>et al.</i> (2018)
24	<i>In situ</i> monitoring the effect of acoustic vibration in the form of music on the motility of <i>Escherichia coli</i> .	Ku <i>et al.</i> (2020)
25	The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water.	Phull <i>et al.</i> (1997)
26	Ultrasonic enhancement of antibiotic action on gram-negative bacteria.	Pitt <i>et al.</i> (1994)
27	Audible sound in form of music can influence microbial growth, metabolism and antibiotic susceptibility.	Sarvaiya <i>et al.</i> (2017)
28	Effects of music waves on fermentation characteristics and viability of starter cultures in probiotic yogurt.	Mohammadi <i>et al.</i> (2011)

Tabla 2. Respuesta por parte de los microorganismos al ser tratados con sonidos.

Nº	Tratamiento aplicado / microorganismo tratado	Efecto sobre microorganismo
1	Ondas de sonido a 450 Hz / <i>Pseudomona aeruginosa</i> .	Disminución del metabolismo del biofilm y destrucción de su arquitectura.
2	Música India entre los 600 Hz y 1000 Hz / <i>Brevibacterium</i> sp.	Incremento del crecimiento bacteriano y aumento del uso del sustrato por parte del microorganismo.
3	Sonidos a frecuencias de 15000 Hz y 80000 Hz / <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella Typhimurium</i> .	Disminución del crecimiento bacteriano.
4	Ultrasonido a frecuencias de 20 kHz / <i>Escherichia coli</i> .	Eliminación de los recuentos de coliformes totales y coliformes fecales en aguas residuales.
5	Ultrasonido a frecuencias de 20 kHz / <i>E. coli</i> . O157:H7 y <i>Listeria monocytogenes</i> .	Eliminación del microorganismo en el sustrato.
6	Ultrasonido a una frecuencia de 38 kHz / <i>P. diminuta</i> .	Remoción de más del 95 % del biofilm producido por <i>Pseudomona diminuta</i> .
7	Ultrasonido con frecuencias entre 20 y 40 kHz / No especificado.	Ocasiona muerte celular.
8	Géneros musicales incluidos entre ellos la música clásica y el heavy metal / <i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i> .	Aumento del Crecimiento bacteriano.
9	Sonidos audibles con frecuencias de 1, 5 y 15 kHz / <i>Escherichia coli</i> .	Incremento del número de células viables de <i>Escherichia coli</i> .
10	Ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz / <i>Fusarium oxysporum</i>	Disminución del crecimiento y alteraciones morfológicas del microorganismo.
11	Ultrasonido a una frecuencia de 24 kHz / <i>S. cerevisiae</i> .	Incremento de la biomasa.
12	Sonido audible a frecuencias de 432 Hz y 4 kHz / <i>Escherichia coli</i> .	Aumento del crecimiento microbiano con 432 Hz y una disminución cuando se aplicó la frecuencia de 4 kHz.
13	Ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz / Recuento de aerobios mesófilos en pulpa de mango.	Disminución de los recuentos bacterianos en el sustrato.
14	Ondas de sonido a 8000 Hz / <i>Escherichia coli</i> .	Aumento en la biomasa, en la longitud promedio de la célula y la tasa de crecimiento bacteriano.
15	Ondas sonoras entre 100 y 300 kHz / <i>Escherichia coli</i> .	Prevención de la adhesión bacteriana y posterior formación de biofilm a superficies.
16	Ultrasonidos a 26 kHz / <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	Eliminación de los microorganismos tratados con ultrasonido.
17	Ultrasonido con frecuencias menores 1 mHz / <i>P. aeruginosa</i> .	Eliminación del microorganismo patógeno del cuerpo de los ratones.
18	Música clásica india a frecuencias entre 38 y 689 Hz / <i>Chromobacterium violaceum</i> , <i>Serratia Marcescens</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , entre otros.	Aumentos en las tasas de crecimiento, en la sensibilidad a antibióticos y en la producción de pigmentos bacterianos.
19	Sonidos audibles a una frecuencia de 20440 Hz / Recuentos bacterianos en aguas residuales.	Aumento en los recuentos bacterianos de las muestras de aguas residuales.
20	Sonidos audibles con frecuencias entre 165 Hz y 5000 Hz / <i>Botrytis cinérea</i> .	5000 Hz: aumento del crecimiento 165 Hz: disminución del crecimiento.
21	Sonidos audibles a frecuencias 1000 Hz, 5000 Hz, y 10000 Hz / <i>Escherichia coli</i> .	Aumento del crecimiento del microorganismo, especialmente con frecuencias de 1000 Hz.
22	Estímulos sonoros de baja (100 Hz) y alta frecuencia (10 kHz) / <i>S. cerevisiae</i> .	Aumento en las tasas de crecimiento con ambas frecuencias
23	Sonidos audibles a una frecuencia de 300 Hz. / <i>C. violaceum</i> .	Aumento en el crecimiento bacteriano y aumento en la producción de pigmentos bacterianos.
24	Música instrumental a frecuencias entre 55 Hz y 4186 Hz. / <i>Escherichia coli</i> .	Aumento en la motilidad del microorganismo.
25	Ultrasonido aplicado a una frecuencia de 800 kHz. / Diversos microorganismos en aguas contaminadas.	Eliminación de microorganismos.
26	Ultrasonido a frecuencias de 67 kHz / <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. epidermidis</i> , y <i>S. aureus</i> .	Sinergismo entre la aplicación de ultrasonidos y la antibioticoterapia en la eliminación de bacterias.

27	Música clásica india con frecuencias entre 41 Hz y 645 Hz / <i>Xanthomonas campestris</i> , <i>C. violaceum</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>S. aureus</i> , entre otros.	Aumento de la degradación de antibióticos, aumento en la sensibilidad a antimicrobianos, modificación de la permeabilidad de la membrana plasmática y alteración de la tolerancia al alcohol.
28	Música verde con frecuencias entre 30 Hz y 18000 Hz / <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii ssp.</i> , <i>L. acidophilus</i> LA-5 y <i>Bifidobacterium lactis</i> BB-12.	Disminución en su tiempo de incubación y aumento de la tasa de acidificación del medio.

CONCLUSIONES

El uso de sonidos sobre microorganismos puede incidir en el crecimiento, utilización del sustrato, permeabilidad de membrana, motilidad y hasta en algunos casos puede favorecer su eliminación.

Las frecuencias de los estímulos utilizados comprendidas entre 30 Hz y 1000 kHz, en la mayoría de los casos la aplicación del sonido tuvo como consecuencia un aumento del crecimiento bacteriano, sin embargo, siempre existen excepciones. Con respecto al uso del ultrasonido la respuesta más común en los experimentos realizados fue la disminución del crecimiento o eliminación del microorganismo.

Las variaciones de las respuestas obtenidas en estos trabajos limitan la capacidad de generalizar esos resultados a otras poblaciones, es necesario profundizar los estudios relacionados con las respuestas de los organismos unicelulares al sonido, modificando bajo un ambiente controlado aspectos como la armonía, la estructura musical, el tiempo de aplicación del estímulo, la cantidad de energía que entra al dispositivo encargado de producir el sonido y los decibeles. Todo con la finalidad de poder dar un uso práctico a estos fenómenos pues, anteriormente se demostró la capacidad del ultrasonido para la eliminación de microorganismos e incluso plantean usos prácticos en áreas médicas, sanitarias y la industria alimentaria; también sería prudente evaluar a futuro, los costos de su aplicación y su efectividad en comparación con el uso de antisépticos y el uso de procesos térmicos.

REFERENCIAS

Aggio, R., Obolonkin, V. and Villas-Bôas, S. 2011. Sonic vibration affects the metabolism of yeast cells growing in liquid culture: a

metabolomic study. *Metabolomics*, 8 (4): 670-678.

Bandara, H., Harb, A., Kolacny, D., Martins, P. and Smyth, H. 2014. Sound Waves Effectively Assist Tobramycin in Elimination of *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms In vitro. *AAPS Pharmscitech*, 15 (6): 1644-1654.

Banerjee, S., Goswami, A., Datta, A., Pyne, A., Nikhat A. and Ghosh, B. 2018. Effect of Different Sound Frequencies on the Growth and Antibiotic Susceptibility of *Escherichia coli*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(3): 1931-1939.

Bochu, W., Lanchun, S., Jing, Z., Yuanyuan, Y. and Yanhong, Y. 2003. The influence of Ca^{2+} on the proliferation of *S. cerevisiae* and low ultrasonic on the concentration of Ca^{2+} in the *S. cerevisiae* cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 32 (1): 35-42.

D'Amico, D., Silk, T., Wu, J. and Guo, M. 2006. Inactivation of Microorganisms in Milk and Apple Cider Treated with Ultrasound. *Journal of Food Protection*, 69 (3): 556-563.

De Andrea, N. 2010. Perspectivas cualitativa y cualitativa en investigación ¿inconmensurables?. *Fundamentos en Humanidades* N° 1: 53-66.

Demirdöven, A. and Baysal, T., 2008 The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation. *Food Reviews International* 25(1): 1-11.

De Silva, L., Swarnamali, A., Marasinghe, B., Rathnayake, R., Aponsu, G., Hettiarachchi C. 2019. Effect of sound on "*Salmonella Typhimurium*" and "*Escherichia coli* O157:H7. *International journal of Advanced*

- Research in Science, Engineering and Technology 6 (8): 10453 – 10466.
- Escudero, C. y Cortez, L. 2018. Técnicas y Métodos Cualitativos para la Investigación Científica. 1^{ra} edición, Universidad Técnica de Machala, Ecuador. 20 p.
- Gu, S., Zhang, Y. and Wu, Y. 2016 Effects of sound exposure on the growth and intracellular macromolecular synthesis of *E. coli* k-12. *Peerj*, 4.
- Hazan, Z., Zumeris, J., Jacob, H., Raskin, H., Kratysh, G., Vishnia, M., Dror, N., Barliya, T., Mandel, M. and Lavie, G. 2006. Effective prevention of microbial biofilm formation on medical devices by low-energy surface acoustic waves. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 50 (12): 4144–4152.
- Hofstetter, R., Copp, B. and Lukic, I. 2020. Acoustic noise of refrigerators promote increased growth rate of the gray mold *Botrytis cinerea*. *Journal of Food Safety* 40 (6): 1- 12.
- Kothari, V., Joshi, C., Patel, P., Mehta, M., Dubey, S., Mishra, B. and Sarvaiya, N. 2018. Influence of a mono-frequency sound on bacteria can be a function of the sound-level. *Indian Journal of Science and Technology* 11 (4): 1 – 9.
- Kotwall, N., Damani, J. and Damani, J. 2016. The effect of music on the growth of *Escherichia coli* and *staphylococcus aureus*. *International Journal of Recent Scientific Research* 7 (8): 13205 – 13208.
- Ku, H., Lin, W., Peng, H. and Yew, T. 2020. *In-situ* monitoring the effect of acoustic vibration in the form of music on the motility of *Escherichia coli*. *Applied Acoustics* 172: pp 107620.
- Morales, F. 2012. Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. [Documento en línea]. En :https://www.ucipfg.com/Repositorio/MSCG/Practica_independiente/UNIDAD1/Tipos%20de%20investigaci%C3%B3n.docx (marzo, 2022)
- Mohammadi, R., Rouhi, M. and Mortazavian, A. 2011. Effects of music waves on fermentation characteristics and viability of starter cultures in probiotic yogurt. *Milchwissenschaft* 66 (2): 193 – 196.
- Najjarzadeh, N. 2021. Sound Driven Biotechnology. Tesis Doctoral. Luleå University of Technology, Suecia. 22 p.
- Pelekais, C. 2000. Métodos cuantitativos y cualitativos: Diferencias y tendencias. *Telos* 2 (2): 347 – 352.
- Perdomo, V. 2017. Efecto de tiempo de exposición al ultrasonido (40 kHz) en las características fisicoquímicas, recuento de bacterias aerobias mesófilas y aceptabilidad general de la pulpa de mango (*mangifera indica* L.) variedad Edward. Tesis de grado, universidad privada Antenor Orrego, Perú. 55 p.
- Phull, S., Newman, A., Lorimer, J., Pollet, B. and Mason, T. 1997. The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 4 (2): 157-164.
- Pitt, W., McBride, M., Lunceford, J., Roper, R. and Sagers, R. 1994. Ultrasonic enhancement of antibiotic action on gram-negative bacteria. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 38 (11): 2577-2582.
- Rengen, L., Qianyu, Z., Yuehong, L., Zhongzohong, P. and Libo, L. 2017. Sonodynamic therapy, a treatment developing from photodynamic therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 19: 159 – 166.
- Sánchez, G., Aguirre, M., Solano, N. y Viveros, E. 2015. Sobre la dinámica familiar. *Revisión documental. Cultura Educación y Sociedad* 6 (2): 117 – 138.

- Sarvaiya, N. and Kothari, V. 2015. Effect of audible sound in form of music on microbial growth and production of certain important metabolites. *Microbiology* 84: 227–235.
- Sarvaiya, N. y Kothari, V. 2017. Audible sound in form of music can influence microbial growth, metabolism and antibiotic susceptibility. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering* 2 (6): 212 – 219.
- Scherba, G., Weigel, R. and O'Brien, W. (Jr). 1991. Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy. *Applied and environmental microbiology* 57 (7): 2079–2084.
- Sharath, T., Sri, V. and Murali, T. 2018. Effect of music on growth and pigment production of *brevibacterium* sp. *International journal of pharmaceutical. Chemical and biological sciences* 8 (1): 157 – 160.
- Shaobin, G., Wu, Y., Li, K., Li, S., Ma, S., Wang, Q. and Wang, R. 2010. A pilot study of the effect of audible sound on the growth of *Escherichia coli*. *Colloids And Surfaces B: Biointerfaces*, 78 (2): 367-371.
- Tovar, C. 2018. Estrategias dirigidas a la optimización en la gestión administrativa en ordenación de pagos a proveedores. Tesis Msc. Unellez, Barinas. 32 p.
- Vázquez, M. 2017. Efecto del Ultrasonido en la Viabilidad de Diferentes tipos de Bacterias Presentes en el Agua Residual. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica del estado de Morelos, México. 98 p.
- Villacrés B. 2016. Medición del crecimiento microbiano en aguas residuales domésticas procedentes del barrio la Primavera, parroquia Lizarzaburu, Cantón Riobamba, estimulado por tecnología de ondas de sonido audible. Trab. Esp.Grado. Ing en Biotecnología Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 60 p.
- Ying, J., Dayou, J. and Phin, C. 2009. Audible Sound to the Growth of *Escherichia coli*. *Modern Applied Science* 3 (3): 124 – 127.
- Zips, A., Schaule, G. and Flemming, H. 1990. Ultrasound as a means of detaching biofilms, Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research 2 (4): 323-333.