



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DE IMPUREZAS EN EL AGUA MEDIANTE  
ESTÍMULOS SONOROS

AUTORES

LEONARDO ISMAEL MORENO LARCO

DAVID MAURICIO VARELA MENA

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DE IMPUREZAS EN EL AGUA MEDIANTE  
ESTÍMULOS SONOROS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingenieros en Sonido y Acústica.

Profesor Guía

MSc. Miguel Ángel Chávez Avilés

Autores

Leonardo Ismael Moreno Larco.

David Mauricio Varela Mena.

Año

2017

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA.

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Miguel Ángel Chávez Avilés.

Máster en Sustainable Building Engineering

C.I. 1710724848

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Jorge Páez Rodríguez

Máster en Gestión y Evaluación de Contaminación Acústica

C.I. 1756773154

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

---

Leonardo Ismael Moreno Larco

C.I. 172563459-4

---

David Mauricio Varela Mena

C.I. 100298698-0

## **AGRADECIMIENTOS.**

“Porque todas las cosas proceden de él, y existen por él y para él. ¡A él sea la gloria por siempre! (Rom 11:36). Agradecemos a la universidad. A Miguel Ángel, Jorge y a todos los profesores de la carrera por guiarnos. Al apoyo de Ingeniería Ambiental en especial al Ing. Javier Álava y a Daniel Mena. A nuestros padres que nos han apoyado siempre.

## **DEDICATORIA**

La presente investigación está dedicada en primer lugar a Dios, a mis padres Edison y Paty, por el apoyo incondicional y esfuerzo. A mi familia y amigos, por estar en las buenas y en las malas. A Gissell, por ayudarme, apoyarme y sostenerme cuando más lo necesité.

*Leonardo.*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado al esfuerzo que hicieron mis padres para que pueda culminar mis estudios. A mis hermanos que han sido una inspiración y un apoyo en este proceso. A mi novia por estar conmigo en las buenas y las malas. A Dios que me ha velado toda mi vida. A mis abuelos que no han dejado de rezar por mí. A mis amigos los cuales hicieron este camino más tolerable y a Jade que me acompaña y me cuida siempre.

*David.*



## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto que se produce en el agua al exponerla a un estímulo sonoro producido por cuencos tibetanos. Para esto fue necesario sintetizar en laboratorio una muestra base de agua que contenga concentración significativa de: potencial de Hidrógeno (pH), dureza total, Calcio, Nitrito, Nitrato, Amonio y DQO (Demanda química de oxígeno).

La concentración presente de estos parámetros en la muestra de agua, fue obtenida en laboratorio mediante un espectrofotómetro. Además, se midieron valores de concentración para cada muestra de agua obtenida en los diferentes intervalos de tiempo definidos, mientras el experimento estaba en progreso.

También se diseñó e implementó un prototipo, el cual permitió que el fluido sea estimulado solamente por energía acústica y no por la energía mecánica presente en la membrana del altavoz utilizado. Se utilizaron grabaciones de cuencos tibetanos, por lo que fue necesario el diseño de una cadena electroacústica sencilla para la reproducción de estas muestras de audio.

En consecuencia, se desarrolló un análisis estadístico que permitió comparar los datos de tiempo de exposición y potencia eléctrica con el porcentaje de reducción de las concentraciones químicas presentes en las muestras de agua. Para ello fueron propuestas ecuaciones de tendencia para cada parámetro medido en función del tiempo, a manera de obtener valores fuera de los ya establecidos en la metodología.

Tras obtener los resultados y analizarlos, se apreció una variación en casi todos los parámetros medidos. En muchos casos estos cambios se referían a una reducción del nivel inicial presente en la muestra de agua. Esta disminución de medidas se presentaba principalmente en los primeros 10 minutos de exposición.

Por otro lado, la potencia no pudo ser modelada en una ecuación, debido a la falta de registros tomados. Sin embargo, la información recabada permitió identificar que, para ciertos parámetros, un mayor nivel de energía es necesario si se desea obtener mayor reducción de concentración.

## ABSTRACT

The present research pretends to evaluate the effect that occurs in the water when it's exposed to a sound produced by Tibetan bowls. For this, it was necessary to synthesize in the laboratory a water sample with a significant concentration of: potential Hydrogen (pH), Total Hardness (TH), Calcium, Nitrite, Nitrate, Ammonium and COD (Chemical Oxygen Demand).

The concentration of these parameters in the water sample was obtained in the laboratory by a spectrophotometer. In addition, concentration values were measured for each water sample obtained at the different time intervals, while the experiment was in progress.

A prototype was also designed and implemented, which allowed the fluid to be stimulated only by acoustic energy and not by the mechanical energy present in the membrane of the loudspeaker. Recordings of Tibetan bowls were used, so it was necessary to design a simple electroacoustic chain for the reproduction of these audio samples.

Therefore, a statistical analysis was developed that allowed comparing the data of exposure time and electrical power with the percentage of reduction of the chemical concentrations present in the water samples. For this, trend equations were proposed for each parameter measured as a function of time, to obtain values outside those already established in the methodology.

After obtaining the results and analyzing them, a variation was observed in almost all the parameters measured. In many cases these changes referred to a reduction of the initial level present in the water sample. This decrease in measurements occurred mainly in the first 10 minutes of exposure.

On the other hand, the power could not be modeled in an equation, due to the lack of records taken. However, the collected information allowed to identify that, for certain parameters, a higher level of energy is necessary if it is desired to obtain a greater reduction of concentration.

# ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	1
Marco referencial.....	3
Alcance.....	4
Justificación.....	5
Objetivos.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos específicos.....	6
Hipótesis.....	6
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Musicoterapia.....	7
1.2. Cuencoterapia.....	7
1.2.1 Cuencos Tibetanos.....	8
1.2.2. Chakra.....	10
1.3. Tratamientos tradicionales de agua.....	11
1.3.1. Tratamiento de aguas residuales domésticas.....	11
1.3.2. Tratamiento de agua potable.....	12
1.3.3. Tratamiento de aguas residuales industriales.....	14
1.4. Sonoquímica.....	16
1.4.1. Cavitación Acústica.....	17
1.4.2. Tratamiento de agua mediante sonidos.....	19

<b>2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.</b> .....	21
2.1. Conceptualización de Variables. ....	21
2.1.1. Variables Independientes.....	21
2.1.2. Variables Dependientes. ....	22
2.2. Diseño de Prototipo. ....	23
2.2.1. Materiales.....	24
2.3. Proceso de Construcción.....	25
2.3.1. Recipiente. ....	25
2.3.2. Soporte.....	26
2.3.3. Señal de audio. ....	27
2.3.4. Cadena Electroacústica. ....	27
2.4. Experimentación.....	29
2.4.1. Recreación del agua sintética y primeras pruebas.....	29
2.4.2. Segunda etapa de experimentación.....	32
2.4.3. Etapa final de experimentación .....	35
2.5. Método de medición de concentraciones. ....	36
<b>3. CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> .....	38
3.1. Resultados primera etapa del experimento. ....	38
3.1.1. Resultados de potencia eléctrica.....	38
3.1.2. Concentraciones de los parámetros medidos. ....	40
3.1.3. Respuesta en frecuencia.....	41
3.2. Resultados segunda etapa del experimento. ....	42
3.2.1. Potencia eléctrica. ....	42
3.2.2. Concentraciones de los parámetros medidos. ....	44

3.2.3. Respuesta en frecuencia.....	45
3.3. Resultados de la etapa final del experimento.....	47
3.3.1. Potencia eléctrica.....	47
3.3.2. Concentraciones de los parámetros medidos. ....	49
3.3.3. Respuesta en frecuencia.....	50
3.4. Interpretación de Datos. ....	51
3.4.1. Análisis descriptivo del comportamiento de la variación de los parámetros medidos.....	52
3.4.2. Análisis descriptivo e inferencial de la influencia del tiempo y la potencia eléctrica en la variación de los parámetros medidos. ....	56
3.4.3. Análisis comparativo de las variaciones presentes en las mediciones de los parámetros medidos.....	66
4. CAPÍTULO IV. PROYECCIONES.....	68
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1. Conclusiones.....	72
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS.....	75
ANEXOS .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Cuenco Tibetano siendo frotado con baqueta de madera.....	9
Figura 2. Espectro frecuencial emitido por el cuenco tibetano al percutir con una baqueta de madera. ....	9
Figura 3. Ubicación de los 7 chakras en el cuerpo humano y los símbolos que los representan.....	10
Figura 4. Etapas del tratamiento primario de aguas residuales.....	11
Figura 5. Etapas del tratamiento de agua potable.....	13
Figura 6. Esquema de tratamiento de aguas residuales. ....	15
Figura 7. La interacción de energía y materia. Los tres ejes representan duración de interacción (x), presión (y) y energía (z) por molécula. ...	17
Figura 8. Componentes de una burbuja simple y su carga energética durante el proceso de cavitación acústica.....	18
Figura 9. Tabla de resultados obtenidos al exponer varias muestras de agua al sonido producido por una caja musical.....	19
Figura 10. Tabla de resultados obtenidos al exponer varias muestras de agua al sonido producido por una campana de viento. ....	20
Figura 11. Diseño del prototipo propuesto. ....	24
Figura 12. Pote de acero inoxidable de capacidad 2.33 litros. ....	25
Figura 13. Soporte del prototipo montado con pote. ....	26
Figura 14. Cadena electroacústica para el prototipo. ....	27
Figura 15. Circuito equivalente para el prototipo. ....	28
Figura 16. Materiales para la receta.....	30
Figura 17. Medición de pH de la primera muestra (blanco).....	31

Figura 18. Reactivos utilizados para la medición de parámetros. ....	32
Figura 19. Litro de muestra de agua sintetizada “Blanco” previo al experimento.....	33
Figura 20. Montaje del prototipo para el tratamiento. ....	35
Figura 21. Tercera etapa de experimentación.....	36
Figura 22. Espectro en frecuencia a 46 minutos en potencia baja. ....	41
Figura 23. Espectro en frecuencia al minuto 46 en alta potencia. ....	41
Figura 24. Espectro en frecuencia segunda etapa baja potencia.....	46
Figura 25. Respuesta en frecuencia segunda etapa alta potencia.....	46
Figura 26. Respuesta en frecuencia tercera etapa en potencia baja. ....	51
Figura 27. Respuesta en frecuencia tercera etapa en alta potencia. ....	51
Figura 28. Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia baja. ....	53
Figura 29. Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia alta. ....	54
Figura 30. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de la Dureza Total en alta y baja potencia. ....	57
Figura 31. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Calcio en alta y baja potencia.....	59
Figura 32. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrato en alta y baja potencia. ....	61
Figura 33. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrito en alta y baja potencia. ....	62
Figura 34. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de Amonio en alta y baja potencia. ....	63

Figura 35. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de DQO en alta y baja potencia. ....	64
Figura 36. Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de baja potencia. ....	66
Figura 37. Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de potencia alta. ....	67



## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros del agua a medir. ....	4
Tabla 2. Variables independientes. ....	22
Tabla 3. Variables Dependientes. ....	23
Tabla 4. Cantidades para crear el agua residual sintética.....	29
Tabla 5. Cantidades utilizadas en las síntesis de los blancos. ....	30
Tabla 6. Nueva receta implementada para las muestras de agua “blancos” ....	32
Tabla 7. Medición de potencia eléctrica baja enviada al altavoz primera etapa. ....	39
Tabla 8. Medición de potencia eléctrica alta enviada al altavoz primera etapa.	39
Tabla 9. Resultados de concentraciones medidas después de la exposición al concierto para los 7 chakras en potencia eléctrica baja. ....	40
Tabla 10. Calibración de la potencia eléctrica mediante Ruido Blanco. ....	42
Tabla 11. Potencia eléctrica baja enviada al altavoz durante la segunda etapa. ....	43
Tabla 12. Potencia eléctrica alta enviada al altavoz durante la segunda etapa. ....	43
Tabla 13. Resultados de las concentraciones medidas después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia baja.....	44
Tabla 14. Resultados de las concentraciones medidas después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia alta.....	45
Tabla 15. Calibración de la potencia eléctrica mediante Ruido Blanco. ....	47
Tabla 16. Potencia eléctrica baja enviada al altavoz etapa final. ....	48
Tabla 17. Potencia eléctrica alta enviada al altavoz etapa final. ....	48
Tabla 18. Resultados de las concentraciones medidas en la etapa final	

después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia  
baja..... 49

Tabla 19. Resultados de las concentraciones medidas en la etapa final  
después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia alta. 50

Tabla 20. Matriz de coeficientes de correlación para los valores medidos en  
potencia baja. .... 55

Tabla 21. Matriz de coeficientes de correlación para los valores medidos en  
potencia alta. .... 56

## INTRODUCCIÓN.

### **Antecedentes.**

El agua es un elemento importante para el sustento de la vida. Se encuentra presente en muchos aspectos cotidianos como: aseo personal, de objetos o alimentos, fuente vital tanto para las personas como para animales y plantas, disolvente universal y muchos más (Organización Mundial de la Salud, 2015).

“La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente (Organización Mundial de la Salud, 2015, p. 1)”.

También se explica la relación entre agua contaminada y saneamiento deficiente con enfermedades como la cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y la poliomielitis. Para evitar este tipo de inconvenientes se han ido implementando varias maneras de procurar que el saneamiento del agua sea el propicio. Uno de ellos es el desarrollo de purificación de agua mediante el ultrasonido, uno de los métodos revolucionarios cuyas investigaciones se realizan desde 1997 (Phull et al, 1997). Desde entonces se ha demostrado que el ultrasonido es un método eficaz para la suspensión de bacterias como el Bacillus, (Joyce et al., 2003). Además de ser implementado como pre tratamiento de agua por Blume y Neis (2003) en Alemania. En ambos estudios se explica cómo las frecuencias ultrasónicas agitan el agua a una velocidad tal que permiten desmenuzar los sólidos presentes hasta el punto de desaparecerlos, agregando que impide a ciertas bacterias su reproducción inhabilitándolas.

Sin embargo, en las investigaciones previamente mencionadas se concuerda que, si bien es un método poderoso para la limpieza y el tratamiento de agua, este puede ser combinado con algún otro método como el ozono o los rayos ultravioleta. La efectividad del tratamiento mejora considerablemente, llegando a obtener resultados de hasta el 96% de pureza en el agua (Mason et al., 2003, p. 322).

Ahora bien, este principio puede ser desarrollado para estudiar el comportamiento del agua frente a diferentes estímulos sonoros. Anteriormente, el autor japonés Masaru Emoto (2006) desarrolló un experimento en el que al agua se le aplicaban varios sentimientos transmitidos mediante diferentes formas, palabras, sonidos, pensamientos o imágenes. El problema del experimento fue que los resultados no se contabilizaron de forma científica, sino más bien de manera subjetiva. Emoto congelaba el agua una vez aplicado este estímulo, y revisaba el cristal que se formaba. Concluyendo, que aquellos cristales más hermosos fueron los estimulados por emociones positivas. La comunidad científica desestimó los resultados, pero mostró interés en el experimento y la posibilidad de llevar a cabo otras investigaciones de la influencia del sonido en el agua (Radin et al., 2008, p. 489).

Los planteamientos que se mencionaron anteriormente, condujeron a una serie de temas de investigación, los cuales se realizaron con el fin de ayudar al mejoramiento de la calidad de vida. Un caso importante ya estudiado es el mostrado por Hiratsuka et al. (2014), donde se aplican ondas ultrasónicas de 35 kHz, música con un rango de entre 3.75 Hz - 102 kHz y el sonido de una campana de viento con un espectro de 1.5kHz - 8.5kHz a distintas muestras de agua tales como: de mar, de río y potable. La principal conclusión extraída de esta investigación fue que el agua presentó reducción de características químicas ante cualquiera de los estímulos sonoros que se le indujeron.

En base a este estudio se decide por optimizar los resultados obtenidos por la campana de viento mediante el uso de cuencos tibetanos. Ambos son instrumentos percutivos con sonoridades similares. Sin embargo, el espectro que cubre el cuenco tibetano es mucho más amplio y con frecuencias más marcadas, convirtiéndolo en un instrumento ideal para la musicoterapia. (Zain et al., 2012, párr. 14).

Según la Comisión de Práctica Clínica de la Federación Mundial de Musicoterapia, la musicoterapia es el uso de la música y sus elementos para satisfacer las necesidades físicas, emocionales, mentales, sociales y cognitivas (Giraldo & López, 2010, p. 1). Pitágoras sostenía que cada átomo, cada partícula

y cada cuerpo produce un sonido debido a su movimiento, ritmo y vibración. Una rama derivada de la musicoterapia viene a ser la cuencoterapia, la cual consta de un baño sonoro capaz de producir resonancias en el ser humano que mejoran su vitalidad (Llop, 2013, párr. 6).

Un baño sonoro equivale a un cuarto vacío en el que se sumerge al paciente en sonido, en este caso provocados por cuencos tibetanos, lo que estimula los 7 chakras del cuerpo (Concierto para los 7 chakras, s.f., párr. 4). Estos chakras son puntos resonantes dentro del cuerpo humano, capaces de sentir ciertas frecuencias y entrar en armonía cuando son excitados. Generalmente estas resonancias son las que permiten la sanación y la meditación (Concierto para los 7 chakras, s.f., párr. 6).

### **Marco referencial.**

Este proyecto pretende desarrollar un prototipo capaz de reducir porcentajes de concentraciones químicas perjudiciales para el consumo humano, mediante la exposición de agua a señales de audio producidas por cuencos tibetanos. Esto ocurre gracias a la cavitación acústica, un fenómeno físico que generalmente se produce en el agua al excitarla con ondas ultrasónicas. Esta energía acústica provoca que los movimientos erráticos de las partículas del fluido generen pequeñas implosiones y desprendan otro tipo de energía, debido al constante flujo de burbujas interactuando entre ellas (Luo et al., 2014). Gracias a las investigaciones realizadas por Hiratsuka et al. (2014), existe la posibilidad de que en este rango también se produzca la cavitación acústica.

Para esta investigación se va a optar por el sonido característico de cuencos tibetanos, ya que estos se usaban como terapia para sanar enfermedades. El efecto que tiene el cuenco tibetano, es el de estimular todas las células del cuerpo, gracias a sus componentes armónicos. Estos componentes permiten armonizar con elementos que están presentes en el cuerpo humano como es el agua (Llop, 2013).

Según Llop (2013), los cuencos tibetanos funcionan para una terapia basada en la resonancia, la cual produce una vibración intensa además de armónica. Este tipo de estímulo sonoro puede proporcionar un fortalecimiento en el sistema inmune, así es como logran la destrucción de células cancerígenas. Tomando en cuenta, todos y cada uno de estos beneficios que brinda la exposición al sonido en resonancia de un cuenco tibetano, se optó por tomar en cuenta el comportamiento del agua ante este elemento sonoro. Además, el cuerpo humano está compuesto mayormente por fluidos, con lo que puede existir una relación entre los beneficios del cuenco tibetano y su uso para el tratamiento de aguas.

### **Alcance.**

Esta investigación pretende indagar la viabilidad de utilizar el sonido producido por un cuenco tibetano, como recurso para reducir concentraciones químicas existentes en el agua. Para esto se someterán muestras de agua sintetizada en laboratorio a estímulos sonoros provocados por cuencos tibetanos. Debido a la disponibilidad de equipos existentes en la universidad, el estudio se centrará en medir:

Tabla 1.

Parámetros del agua a medir.

Dureza Total del agua (TH)	Concentración de Amonio ( $NH_4^+$ )
Acidez del agua (pH)	Concentración de Nitrito ( $NO_2^-$ )
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Concentración de Nitrato ( $NO_3^-$ )
Concentración de Calcio (Ca)	Concentración de Magnesio (Mg)

Estos parámetros fueron seleccionados en base a los resultados obtenidos en el paper de Hiratsuka et al. (2014), donde se explica que la presencia de estos componentes es común en muestras de agua de manantiales naturales como ríos, lagos, entre otros. Además, el estudio relacionará cómo afecta el tiempo de exposición de la muestra y el nivel de potencia eléctrica requerido por el transductor que transmitirá la energía hacia la muestra.

### **Justificación.**

Actualmente el agua para consumo humano es un recurso natural que se presenta proyecciones a agotarse en el planeta. Por lo cual se han realizado muchas investigaciones en diferentes ámbitos del conocimiento, a fin de purificar el agua. Este tipo de investigaciones están relacionadas directamente con la salud de las personas. Según la OMS (2015) el agua del planeta sufre contaminaciones elevadas por el mal manejo de ellas, y eso puede generar problemas a la salud como por ejemplo cólera, disentería, entre otros. Todo esto provoca cerca de 500 mil muertes al año.

El gobierno ecuatoriano a través de los planes de desarrollo cuenta con herramientas jurídicas como la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2004). Dicha ley menciona en el artículo 12 que se desea la protección y la conservación del agua, así como garantizar la calidad de la misma. Esto incentiva a las universidades a generar proyectos que contribuyan a esta ley.

El presente estudio trata de coadyuvar a la ciencia, con una investigación breve de la influencia de las señales sonoras para el tratamiento del agua. Esto generará investigación que permita mejorar la protección del medio ambiente en lo referente a la disminución de la contaminación del agua, usando métodos alternativos como el tratamiento y purificación de este recurso mediante exposición sonora. Ya que se esperan reacciones químicas mediante la interacción de energía acústica (sonido generado por transductores) con agua (materia), la actual investigación vendría a constituirse dentro de los estudios de sonoquímica. El presente trabajo no trata de ahondar o suplir la falta de

información respecto al tema, más bien procura utilizar los conocimientos existentes de sonoquímica e implementarlos para la realización del estudio.

## **Objetivos.**

### **Objetivo General.**

Evaluar el efecto de exposición a estímulos sonoros producidos por cuencos tibetanos, en el análisis químico de muestras de agua.

### **Objetivos específicos.**

1. Recrear un prototipo de purificación de agua mediante estímulos sonoros producidos por cuencos tibetanos.
2. Evaluar las cualidades acústicas que poseen los cuencos tibetanos.
3. Realizar análisis químicos en muestras de agua contaminada, antes y después de la exposición a estímulos sonoros.
4. Establecer la influencia de la potencia eléctrica requerida por el transductor y tiempo de exposición de la muestra para encontrar una relación con la variación de parámetros.

## **Hipótesis.**

La exposición de muestras de agua a sonidos producidos por cuencos tibetanos causa una reducción en parámetros químicos que por su concentración puedan resultar contaminantes. Esta reducción incrementa a medida que se prolonga el tiempo de exposición y se aumenta el nivel de potencia eléctrica del transductor.

## **1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.**

*“Cada cuerpo celestial y cada átomo produce un sonido particular, debido a su movimiento, ritmo y vibración. Es*



*más, todos esos sonidos o vibraciones componen una armonía universal en la que cada elemento, sin perder su propia función y carácter, contribuye a la totalidad”.*

*Pitágoras*

### **1.1. Musicoterapia.**

Esta técnica tiene como base recurrir a los diferentes sonidos o estilos de música, ya sea para exponerlos al cuerpo humano o para interpretarlos. Es decir, la persona puede ser expuesta de manera pasiva escuchando los sonidos, o de manera activa tocando instrumentos musicales. Los beneficios de este tipo de técnica son: la reducción del estrés, disminuir dolor, tratamiento de problemas de conducta, realza de autoestima (Zárate & Díaz, 2001, párr. 6).

La mayoría de investigaciones en esta índole son realizadas en varios tipos de personas como: Mujeres embarazadas, pacientes con enfermedades terminales, niños con autismo, y personas con problemas de conducta (Zárate & Díaz, 2001, párr. 11). También existe investigación referente al uso de la música para tratar problemas neurológicos. El doctor Oliver Sacks (1983) menciona usar la música en pacientes con Parkinson. Uno de sus pacientes fue diagnosticado con electroencefalograma (EEG) asimétrico, pero al momento de interpretar el piano su lado izquierdo perdía su aquinesia y su lado derecho sus tics. Su EEG patológicamente asimétrico, desaparecía por completo, mostrando normalidad.

Otras publicaciones explican sobre los efectos que genera la estimulación rítmica en pacientes con algún traumatismo de cráneo. En ellas se describen los efectos que posee una de las cualidades fundamentales de la musicoterapia, el ritmo. Pacientes con trastornos en la marcha a causa de traumatismos craneales, demuestran control y mejor ritmo natural al caminar bajo un estímulo rítmico (Thaut, McIntosh & Rice, 1997).

### **1.2. Cuencoterapia.**

Este tipo de terapia posee una historia oriental que data desde hace miles de años y ha sido utilizada con fines terapéuticos o de meditación. Dispone de dos

tipos de cuencos diferentes por su construcción, los cuales son: tibetanos y de cuarzo. Los cuencos tibetanos no son más que una aleación de diferentes metales comunes de la región del Tíbet, mientras que los cuencos de cuarzo se los realiza en cristal de cuarzo (Heredia, 2016, párr. 1 y 2).

La cuencoterapia trata a las personas mediante el principio de resonancia, y su propósito es obtener una sanación física y emocional mediante la interacción de vibraciones. Los cuencos emiten una onda alfa similar al emitido por el cerebro cuando este se encuentra en estado de meditación o extrema calma (Heredia, 2016, párr. 4). El cuerpo vibra a una determinada frecuencia, manteniendo en sintonía todos los órganos y células. La cuencoterapia procura evitar que esa armonía se rompa, ya que esto produce lo que se conoce como enfermedad (Heredia, 2016, párr. 9).

### **1.2.1 Cuencos Tibetanos.**

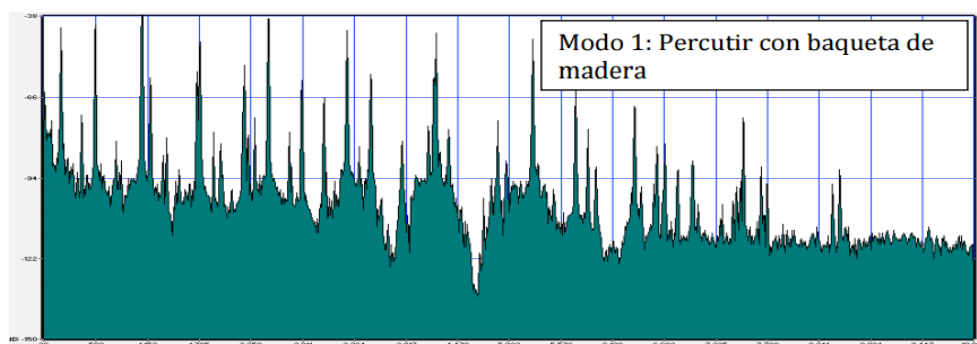
Los cuencos tibetanos poseen su origen de la religión shamanística-han mística Bón, original del Tíbet. Esta religión se creó tras la fusión del budismo proveniente del norte (cruzando los Himalayas) y el shamanismo (viajeros al sur por Mongolia). Ambas religiones hacen uso del sonido en sus rituales y meditaciones. Sin embargo, los cuencos tibetanos fueron tan solo platos utilizados para ofrendas o sacrificios, por lo cual debían ser armónicos en todos los sentidos (Un Poco de historia acerca de los cuencos, s.f., párr 1 y 5).

Generalmente los cuencos poseen una aleación de 7 metales, los cuales suelen ser: oro, plata, mercurio, cobre, hierro, estaño y plomo. Se cree que cada metal tiene relación con un cuerpo celeste. Son elaborados artesanalmente, lo que permite tener una gama amplia de diferentes sonidos enfocados al uso requerido (Cuencos tibetanos, 2015).



*Figura 1.* Cuenco Tibetano siendo frotado con baqueta de madera.  
Tomado de (García, 2016a).

Existen dos formas para interpretar un cuenco tibetano, la primera consiste en frotar los bordes del mismo y la segunda en golpearlos. En ambos casos la vibración del metal produce un sonido con componentes poliarmónicas es decir, están presentes varias series armónicas que se superponen (Zain, 2012).



*Figura 2.* Espectro frecuencial emitido por el cuenco tibetano al percutir con una baqueta de madera.  
Tomado de (Zain et al., 2012).

Como podemos observar en la Figura 2, el cuenco posee un espectro con carga energética representativa desde los 30 Hz en adelante, abarcando en gran parte el espectro audible por el ser humano. Cabe recalcar que como se menciona previamente su elaboración es artesanal, provocando que la figura no sea más que una aproximación del espectro a transmitir en el experimento.

### 1.2.2. Chakra

La cuencoterapia aborda mucho la reposición de los chakras para obtener sanación en el cuerpo humano. Es por este medio, que se puede relacionar la sanación de una enfermedad con el tratamiento de agua. Se define como chakra al centro psíquico por donde circula energía en el cuerpo físico. Existen 7 que se corresponden con una glándula endocrina (García, 2016b). Las glándulas endocrinas son las encargadas de verter hormonas en la sangre, las cuales excitan, inhiben o regulan el funcionamiento de otros órganos o sistemas (ASALE, s.f.).



*Figura 3.* Ubicación de los 7 chakras en el cuerpo humano y los símbolos que los representan.

Tomado de (Concierto para los 7 chakras, s.f.)

El uso del sonido como regulador y purificador del chakra se refiere al tratamiento de las glándulas endócrinas, es decir del flujo sanguíneo en el cuerpo humano. Es por ello que esta investigación se fundamenta en el tratamiento de fluidos en el cuerpo humano y lo aplica para el tratamiento de agua.

### 1.3. Tratamientos tradicionales de agua.

Existen varios tratamientos según el tipo de agua a tratarse, por lo cual se toman diferentes estándares. Estos pueden ser: tratamiento de aguas residuales domésticas, tratamiento de agua potable (para el consumo humano, animal, entre otros) y tratamiento de agua residual industrial. Aquellos mencionados anteriormente son los más comunes por la gran cantidad de volumen de agua que pueden tratar.

#### 1.3.1. Tratamiento de aguas residuales domésticas.

El agua residual doméstica está contaminada por desechos comunes en el hogar, comúnmente de desperdicios alimenticios, jabones, desechos de inodoro entre otros. Los procesos de limpieza de agua están divididos por etapas generales y pueden ser primarios, secundarios y avanzados (Oropeza, 2004, cap IV, pág 2).

##### 1.3.1.1. Tratamiento Primario.

Esta primera etapa del tratamiento tiene como fin el asentamiento de sólidos, es decir la reducción de grasas, arena y cualquier otro tipo de sólido. Este tipo de tratamiento es mecánico (Pérez y Camacho, 2011, p. 18). En la figura 4 se puede observar las etapas del tratamiento primario.

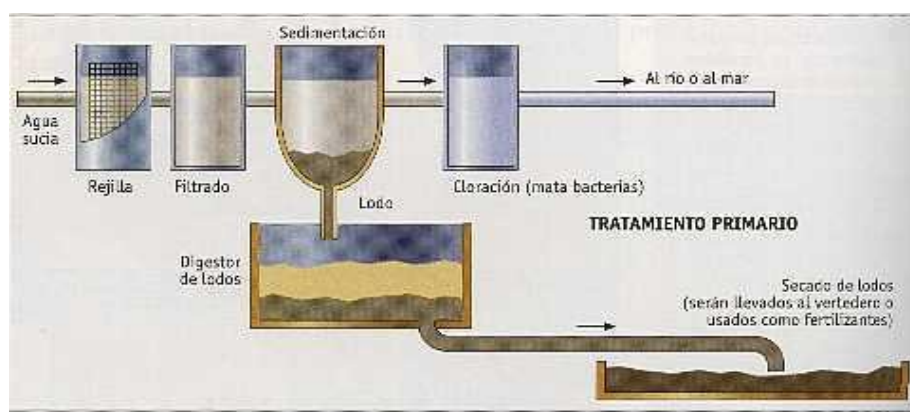


Figura 4. Etapas del tratamiento primario de aguas residuales.

Tomado de (Pérez y Camacho, 2011).

El primer filtro se denomina remoción de sólidos, este se realiza por medio de rejillas para remover materia flotante. Después, el agua continua por el filtrado o remoción de arenas también llamada maceración, este se encarga de remover elementos más pequeños, grasas o aceites mediante canales de arena donde se filtra el agua. Al final se encuentra la sedimentación, donde los organismos pesados se sitúan en la parte inferior del colector y los más livianos como aceites o grasas a la parte superior, quedando en el medio un líquido homogéneo (Opereza, 2014).

#### **1.3.1.2. Tratamiento Secundario.**

Como segunda parte del proceso se debe disminuir los componentes biológicos existente en el agua residual. Los procesos biológicos aeróbicos son los más utilizados. Normalmente este tipo de proceso es realizado por bacterias que degradan el material orgánico y lo transforman en otras sustancias (Calderón, 2000, p. 6).

#### **1.3.1.3. Tratamiento Avanzado.**

En la última etapa del tratamiento se aumenta la calidad del agua, y así poder cumplir con los estándares requeridos para el desemboque del agua. Los lugares de descarga son: mares, ríos, lagos o cualquier receptor de agua. Por otra parte, se puede tratar el agua de tal manera que obtenga una calidad considerable para su reúso (Vaca et al., 1996).

#### **1.3.2. Tratamiento de agua potable.**

Los procesos de tratamiento de agua potable son encadenados y cumplen con una secuencia que es muy habitual. Con este tratamiento se pretende mejorar la calidad del agua para el consumo humano por lo que debe cumplir con los estándares de calidad (CEPIS, 2002, cap. 8).

En Ecuador la calidad de agua está regido por la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua estipulado en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).

Procesos generales a realizar en el tratamiento de agua potable.

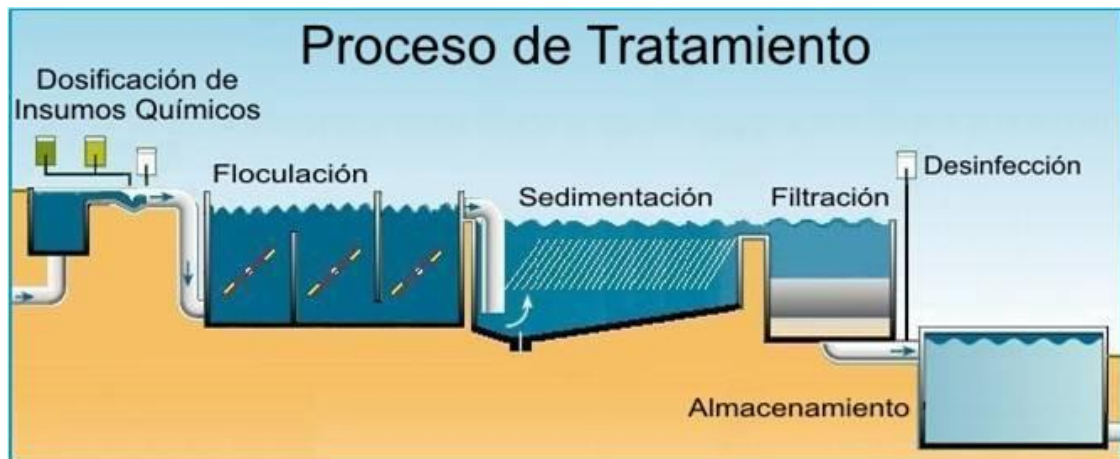


Figura 5. Etapas del tratamiento de agua potable.

Tomado de (Admin, 2014).

En la figura 5, se puede observar las etapas de tratamiento de agua potable. Cada proceso es consecuente del otro, y los conductos controlan los caudales que se manejan por cada etapa (Admin, 2014).

### 1.3.2.1. Pre oxidación.

Proceso donde se introducen cantidades de oxígeno u otras soluciones químicas oxidantes para que se eliminen materiales oxidantes sean orgánicos o inorgánicos. Estos materiales oxidantes se los desprende posteriormente con procesos de decantación y filtración. A su vez, se realiza la remoción de sustancias que le quitan la propiedad de incolora e insabora al agua (CEPIS, 2002).

### **1.3.2.2. Coagulación y floculación.**

La coagulación consiste en suprimir o en eliminar las cargas eléctricas de las sustancias, así como transformar impurezas que están en estado coloidal (cuando las dos sustancias no se disuelven) y que pueden ser removidas por sedimentación. Estas sustancias se agrupan y producen flóculos. En este proceso se elimina el color, olor, turbidez (Canal de Isabel II, 2012).

### **1.3.2.3. Decantación.**

En esta etapa, el agua está casi en reposo por lo cual las partículas del proceso anterior se depositan en el fondo de los decantadores y se extrae en forma de lodo. El tiempo de retención en los decantadores es aproximadamente de 4 a 6 horas (CEPIS, 2002).

### **1.3.2.4. Filtración.**

La fase de filtración consiste en que el agua pase por medio de materiales porosos los cuales retendrán impurezas que no se pudieron remover en la etapa anterior. Normalmente están compuestos por arena y rocas, y los depósitos son relativamente grandes porque la tasa de filtración es pequeña (CEPIS, 2002).

### **1.3.2.5. Desinfección del agua.**

También llamada cloración, ya que la mayoría de tratamientos utilizan el cloro para la desinfección. Con esto se consigue eliminar microorganismos que hayan podido llegar a esta última etapa, mejorando la calidad del agua a ser distribuida (Canal de Isabel II, 2012).

### **1.3.3. Tratamiento de aguas residuales industriales.**

Al tratarse de agua residual se tiene en cuenta que debe cumplir con los mismos estándares de calidad del agua en el medio receptor o para el reúso. Se puede realizar el tratamiento dependiendo de los contaminantes que se encuentran en



el agua residual industrial o tomando en cuenta el fundamento del tratamiento, ya sea físico, químico o biológico (Fernández-Alba, 2006).

Según Fernández (2006), los contaminantes que pueden estar en el agua residual industrial, los describe como materia en suspensión y materia disuelta o coloidal. En cada uno de estos casos se considera dos tipos de tratamientos para eliminación de materia en suspensión, y eliminación de materia disuelta.

### 1.3.3.1. Eliminación de materia en suspensión.

Este tratamiento se utiliza para el tratamiento de agua residual doméstica y es el más común ya que cumple con las mismas etapas mencionadas anteriormente. En la figura 6 se observa las etapas que se cumplen en aguas residuales tanto domésticas como industriales.



Figura 6. Esquema de tratamiento de aguas residuales.

Tomado de (Parte líquida de la tierra hidrosfera, s.f.).

Este tratamiento se realiza comúnmente con operaciones mecánicas, pero para cumplir con los estándares también se utilizan soluciones químicas denominándose tratamientos físico-químicos (Fernández-Alba, 2006).

### **1.3.3.2. Eliminación de materia disuelta.**

En este caso el agua puede estar contaminada con varios tipos de materia con diferentes concentraciones que pueden ser peligrosas. Los diferentes tipos de concentraciones que pueden tener son: sales inorgánicas disueltas o llamadas también salmueras, materia biodegradable, así como son los metales pesados y hasta pesticidas.

Según Fernández (2006) existen varias formas de tratar este tipo de agua residual tomando en cuenta que, en la posterioridad, estos deberían ir acompañados de un tratamiento biológico, tal y como se lo hacía en el agua potable.

Existen varios tipos de tratamientos de agua residual industrial, uno de estos es la precipitación que consiste en la eliminación de una sustancia específica disuelta. Se añade un reactivo para formar un compuesto de característica insoluble y se logra una eliminación más sencilla de la sustancia.

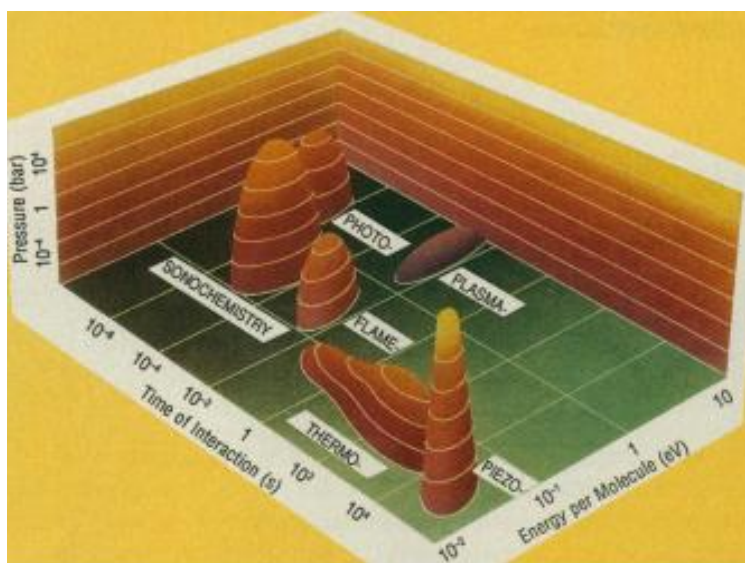
Los procesos electroquímicos son otra forma de tratamiento. Se debe contener un electrolito el cual provocará oxidación-reducción tanto en el ánodo como en el cátodo.

Existen otros tratamientos como la desinfección y la absorción los cuales consisten en la eliminación de microorganismos y la captación de sustancias solubles respectivamente.

### **1.4. Sonoquímica.**

Ahora bien, ¿Por qué el sonido puede llegar a tener un efecto positivo al momento de tratar un fluido? Existe una rama que estudia la interacción de la energía, producida por los fenómenos acústicos, con la materia. Idealmente se trata este fenómeno mediante el ultrasonido, llegando a conseguir temperaturas comparables a la superficie del sol, presiones solo encontradas en las profundidades del océano y un enfriamiento como la superficie del helio líquido congelado (Suslick, 2005, p. 1). Sin embargo, no existe evidencia suficiente

sobre el uso de energía acústica por debajo del rango ultrasónico para generar reacciones químicas.



*Figura 7.* La interacción de energía y materia. Los tres ejes representan duración de interacción (x), presión (y) y energía (z) por molécula.

Tomado de (Suslick, 2005).

La Figura 7 muestra la cantidad de presión generada en un fluido al exponerlo a diferentes fuentes de energía. Para esta figura, la presión conseguida en el caso de “Sonochemistry” es elevada siempre que exponemos al fluido a una cantidad de energía acústica relativamente significativa.

#### 1.4.1. Cavitación Acústica.

El comportamiento de fluidos frente a algunos tipos de energía produce lo que se denomina “cavitación acústica”. Este fenómeno conlleva la formación, crecimiento y colapso implosivo de burbujas en los líquidos. Básicamente al cumplir estos procesos se produce energía capaz de cambiar la morfología de la superficie, su composición y reactividad (Suslick, 2005, p. 1).

En la Figura 8, podemos observar los componentes de una burbuja simple y su carga energética dentro de un fluido durante el proceso de cavitación acústica.

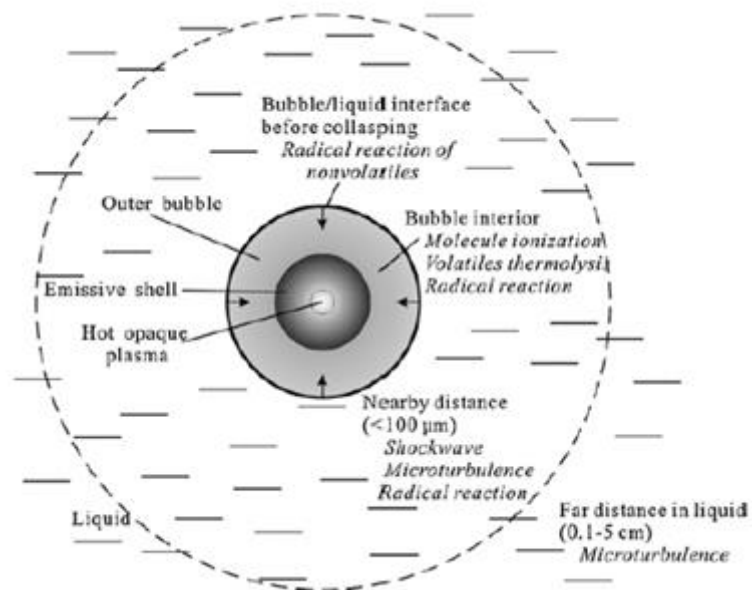


Figura 8. Componentes de una burbuja simple y su carga energética durante el proceso de cavitación acústica.

Tomado de (Luo et al., 2014).

Según Luo et al. (2014), existen 3 pasos necesarios para que la cavitación acústica se produzca:

- Formación de la cavitación del núcleo:
- Crecimiento de las burbujas de cavitación
- Colapso o la siguiente oscilación de burbujas

Cada uno de los pasos previamente mencionados poseen sus respectivas ecuaciones que permiten modelar matemáticamente el comportamiento del fenómeno descrito, tal como se pudo comprobar en la investigación realizada por Luo et al. (2014). Sin embargo, el estudio se centra en tratar la cavitación acústica a partir del ultrasonido, por lo que se descartan las frecuencias de rango audible (siendo estas aproximadamente entre 16 Hz - 20 kHz). También se explica que, si un estímulo sonoro genera una burbuja en cualquier fluido, esta puede desembocar en cavitación acústica. Para esto, la presión acústica debe incrementar a un valor tal que las distancias entre las moléculas del líquido se alejen lo suficiente como para provocar la cavitación. El valor mínimo requerido

se denomina umbral Blake, y para comprobar que la presión cumpla con este umbral, es necesario conocer el valor del radio de la burbuja (Luo et al., 2014).

#### 1.4.2. Tratamiento de agua mediante sonidos.

En lo referente al tratamiento de agua, no se han encontrado investigaciones previas relacionadas con la utilización de sonidos específicamente generados por cuencos tibetanos. Sin embargo, existe el proyecto emprendido por Hiratsuka et al. (2014), donde se usan ondas ultrasónicas (35 KHz), una caja musical y una campana de viento como estímulos sonoros para reducir componentes químicos en 7 tipos de agua (agua de mar, 3 tipos de agua de río y 3 tipos de agua potable).

En el caso de la caja musical, se detalla un rango de frecuencias de entre 3,75 Hz a 102 KHz. Se expuso a las 7 muestras de agua durante 15,41 minutos y se midieron los resultados.

	Sea Water	Drinking Water 1 (Hard Water)	Drinking Water 2(A) (Soft Water)	Drinking Water 2(B) (Soft Water)	Forest Water 1 (Upper Reach)	Forest Water 2 (Middle Reach)	Forest Water 3 (Lower Reach)
Sampling Point	Kobe City, Japan	Nancy City, France	Kameoka City, Japan	Melbourne City Australia	Kameoka City, Japan	Kameoka City, Japan	Kameoka City, Japan
Sub-Substances							
TH (mg/L)	50 → 40	1468 → 50	30 → 10	10 → 0	10 → 0	20 → 0	50 → 20
pH	9.0 → 9.0	7.4 → 7.4	7.5 → 7.0	5.0 → 5.5	7.5 → 7.0	7.5 → 7.0	8.0 → 7.5
COD (mg/L)	8 → 0	5 → 0	5 → 0	5 → 0	0 → 0	0 → 0	4 → 0
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	35 → 25	468 → 50	35 → 25	5 → 0	12.5 → 12.5	25 → 12.5	50 → 25
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	31 → 20.5	74.5 → 41	8.2 → 4.1	4.1 → 0	0 → 0	8.2 → 0	8.2 → 4.1
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	0.5 → 0.5	8 → 5	100 → 0	10 → 5	15 → 15	15 → 10	15 → 10
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0.65 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26	0.65 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.33 → 0.17	0 → 0	0.033 → 0	0 → 0	0 → 0	0 → 0	0.066 → 0.033
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	8.6 → 4.3	2.2 → 2.2	8.6 → 4.3	8.6 → 4.3	0 → 0	0.86 → 0.86	4.3 → 2.2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0 → 0	0 → 0	0 → 0	0.3 → 0.3	0 → 0	0.15 → 0.06	0.3 → 0.15
BOD (mg/L)	3 → 0	2 → 0	3.5 → 0	1 → 0	1 → 0	1.5 → 0	2.5 → 0
Na <sup>+</sup> (mg/L)	7500 → 5900	21 → 30	6.2 → 5.5	8.6 → 8.0	5.3 → 5.2	5.2 → 6.1	9.8 → 6.7
K <sup>+</sup> (mg/L)	370 → 380	4.1 → 4.7	1.3 → 1.3	1.3 → 1.2	0.6 → 0.6	0.6 → 0.6	2.8 → 2.0

Figura 9. Tabla de resultados obtenidos al exponer varias muestras de agua al sonido producido por una caja musical.

Tomado de (Hiratsuka et al., 2014).

Para los resultados obtenidos por el tratamiento con la caja musical, no se diferencia la influencia de las ondas ultrasónicas con aquellas que no forman parte del rango ultrasónico. Por lo que en la Figura 9 se muestran resultados muy generales, que bien podrían haberse producido en su mayoría o en su totalidad por las componentes ultrasónicas que se conoce producen resultados en el tratamiento de agua.

En cambio, la campana de viento produce su sonido mediante la percusión de un elemento metálico colocado en el centro de un recipiente del mismo material (recipiente similar al cuenco en menor escala). En este caso el viento fue el causante de la interpretación de la campana, lo cual no define un patrón de interpretación recreable o constante. El rango frecuencial aproximado descrito por la campana fue de entre 1.5 KHz a 8.5 KHz. Este espectro se considera netamente dentro del rango audible, eliminando componentes ultrasónicos (a diferencia del anterior experimento). A pesar de esto se consiguieron resultados en los análisis finales, comprobando con las distintas muestras su efectividad a la hora de reducir concentraciones, sobre todo para remover Nitratos ( $NO_3^-$ ).

	Sea Water	Drinking Water 1 (Hard Water)	Drinking Water 2(A) (Soft Water)	Drinking Water 2(B) (Soft Water)	Forest Water 1 (Upper Reach)	Forest Water 2 (Middle Reach)	Forest Water 3 (Lower Reach)
Sampling Point	Kobe City Japan	Nancy City France	Kameoka City Japan	Melbourne City Australia	Kameoka City Japan	Kameoka City Japan	Kameoka City Japan
Sub-Stances							
TH (mg/L)	50 → 40	1468 → 50	30 → 10	10 → 0	10 → 0	20 → 0	50 → 20
pH	9.0 → 9.0	7.4 → 7.4	7.5 → 7.0	5.0 → 5.5	7.5 → 7.0	7.5 → 7.0	8.0 → 7.5
COD (mg/L)	8 → 0	5 → 0	5 → 0	5 → 0	0 → 0	0 → 0	4 → 0
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	35 → 25	468 → 50	35 → 25	5 → 0	12.5 → 12.5	25 → 12.5	50 → 25
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	31 → 20.5	74.5 → 41	8.2 → 4.1	4.1 → 0	0 → 0	8.2 → 0	8.2 → 4.1
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	0.5 → 0.5	8 → 5	100 → 0	10 → 5	15 → 15	15 → 10	15 → 10
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0.65 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26	0.65 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26	0.26 → 0.26
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.33 → 0.17	0 → 0	0.033 → 0	0 → 0	0 → 0	0 → 0	0.066 → 0.033
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	8.6 → 4.3	2.2 → 2.2	8.6 → 4.3	8.6 → 4.3	0 → 0	0.86 → 0.86	4.3 → 2.2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0 → 0	0 → 0	0 → 0	0.3 → 0.3	0 → 0	0.15 → 0.06	0.3 → 0.15
BOD (mg/L)	3 → 0	2 → 0	3.5 → 0	1 → 0	1 → 0	1.5 → 0	2.5 → 0
Na <sup>+</sup> (mg/L)	7500 → 5900	21 → 30	6.2 → 5.5	8.6 → 8.0	5.3 → 5.2	5.2 → 6.1	9.8 → 6.7
K <sup>+</sup> (mg/L)	370 → 380	4.1 → 4.7	1.3 → 1.3	1.3 → 1.2	0.6 → 0.6	0.6 → 0.6	2.8 → 2.0

Figura 10. Tabla de resultados obtenidos al exponer varias muestras de agua al sonido producido por una campana de viento.

Tomado de (Hiratsuka et al., 2014).

## **2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.**

Durante este capítulo se abordará el proceso de experimentación y la obtención de los resultados a mostrar en el capítulo siguiente. Se comenzará definiendo las variables a tratar, diferenciándolas por su dependencia con respecto a las demás involucradas en el proyecto. A continuación, se dará paso a la parte experimental incluyendo los materiales utilizados, el diseño y el prototipo implementado, el equipo requerido, montaje, síntesis de la muestra de agua y criterios durante el desarrollo de la parte práctica. Finalmente se conocerá el equipo de medición y los métodos usados para obtener las concentraciones medidas de las distintas muestras de agua resultantes.

### **2.1. Conceptualización de Variables.**

A continuación, se detallan las variables dependientes e independientes a tratar durante esta investigación según el alcance del proyecto.

#### **2.1.1. Variables Independientes.**

La Tabla 2 detalla la obtención de las variables independientes, así como el tipo de variable y el rango en el que se va a medir. Para este caso las variables vendrían a ser la potencia eléctrica del amplificador, la respuesta en frecuencia del sonido emitido por el cuenco tibetano y el tiempo de exposición al que fue sometido la muestra.

Tabla 2.

Variables independientes.

Variable	¿Cómo la obtengo?	Tipo	Rango
Potencia del Amplificador	Multímetro, relacionando voltaje con corriente.	Numérico	20 - 100 watts
Respuesta en frecuencia del sonido emitido por el cuenco	Se capta el sonido por un micrófono de medición conectado a un RTA.	Numérico	100 - 16kHz (carga energética aprox. del cuenco)
Tiempo de exposición	Mediante un cronómetro desde el momento que inicia la exposición, marcando cada vez que se retire una muestra.	Numérico	5 minutos - 1 hora

### 2.1.2. Variables Dependientes.

En la Tabla 3 se muestra la manera en que se obtuvo cada componente químico a analizar, así como también el tipo de variable y la unidad de medición. Las variables dependientes son aquellos factores que se espera, variarán de acuerdo al cambio en las variables independientes. Estos cambios pueden o no regirse a la hipótesis planteada y se componen de los componentes químicos a medir mencionados en el alcance de este documento.



Tabla 3.

Variables Dependientes.

Variable	¿Cómo la obtengo?	Tipo	Unidades
Dureza Total del agua (TH)	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Concentración	°d
Acidez del agua (pH)	Mediante un pHmetro de campo y tiras rígidas.	Concentración	0 - 14
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Proporción	mg/l
Concentración de Calcio ( $Ca^{2+}$ )	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Proporción	mg/l
Concentración de Magnesio ( $Mg^{2+}$ )	Matemáticamente, mediante la diferencia entre la dureza y el Calcio.	Proporción	mg/l
Concentración de Amonio ( $NH_4^+$ )	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Proporción	mg/l
Concentración de Nitrito ( $NO_2^-$ )	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Proporción	mg/l
Concentración de Nitrato ( $NO_3^-$ )	En laboratorio a través de la utilización de un espectrofotómetro.	Proporción	mg/l

## 2.2. Diseño de Prototipo.

Para poder recrear un estado de cavitación acústica, es recomendable una interacción directa entre las ondas sonoras y el volumen de agua. Existen en el mercado instrumentos que generan este estado mediante ondas ultrasónicas y son utilizados para limpieza de implementos de uso industrial o para investigaciones en laboratorio (Hiratsuka et al., 2014).



*Figura 11.* Diseño del prototipo propuesto.

Tomado de (Andrade et al., 2005)

Un proyecto de la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE) realizada por Andrade et al. (2005), consiguió elaborar un prototipo para limpieza por ultrasonido bajo el principio de la cavitación acústica, como se muestra en la Figura 11. Esto sirvió como punto de partida para crear el prototipo necesario para la fase de experimentación. En esta investigación se presenta un prototipo capaz de compensar la carencia de modelos referente a nuestro tema y conseguir transmitir la mayor cantidad de energía acústica hacia la muestra de agua.

### **2.2.1. Materiales.**

Para la elaboración del prototipo y el proceso experimental, fue necesario:

- Un recipiente de acero inoxidable de espesor no superior a 0,2 mm y capacidad para 2 litros de agua.
- Altavoz con una respuesta de frecuencia de entre 100 Hz a 16 kHz y capaz de soportar potencias de hasta 500 watts (RMS). \*
- Amplificador de potencia con varias opciones para impedancia de altavoces, potencia máxima de 320 watts (RMS). Entrada tanto mono como estéreo de señal de audio y control de ganancia. \*
- Grabaciones de cuencos tibetanos, con información del espectro frecuencial.
- Muestra de agua sintetizada.

*\*Nota:* Para mayor información e imágenes de los materiales favor revisar el Anexo 1 del presente proyecto.

## **2.3. Proceso de Construcción.**

### **2.3.1. Recipiente.**

Para el proceso de construcción se utilizó un pote de acero inoxidable con terminación opaca. El recipiente cuenta con una tapa plástica de cierre hermético, impidiendo la entrada o salida de impurezas. También se debe aclarar que el uso del acero inoxidable permite mantener estéril la muestra de agua sintetizada, de manera que se eviten contaminantes ajenos a los recreados para el blanco. El pote tiene como medidas:

- Longitud: 154 mm.
- Ancho: 154 mm.
- Altura: 160 mm.
- Diámetro: 140 mm.
- Capacidad: 2.33 l.
- Peso: 0.42 kg.

Estas medidas son proporcionadas por el fabricante.



*Figura 12.* Pote de acero inoxidable de capacidad 2.33 litros.

### 2.3.2. Soporte.

Tomando en cuenta tanto el peso y las dimensiones de este recipiente se optó por elaborar una base, la cual fue realizada con alambre de 3 mm de espesor. Se realizaron dos soportes circulares, formando dos círculos superior e inferior, de aproximadamente 150 mm de diámetro y el otro de 380 mm respectivamente. Los soportes fueron separados diagonalmente con varillas de madera (brochetas) de 240 mm de longitud.

Se utilizó 4 varillas que son ancladas en 4 puntos de los círculos de alambre, para soportar el peso del pote. Cada punto fue asegurado con silicona caliente.

El soporte tiene una altura de 210 mm. La construcción de la base fue realizada de manera que el pote esté sujetado por la parte superior y a su vez no tenga interacción directa por el movimiento de la membrana del altavoz. La distancia entre el altavoz y la parte baja del pote es aproximadamente de 50 mm.

En la figura 13 se puede observar cómo el pote es sujetado de manera que esté muy cercano a la base del soporte, pero no tenga ninguna interacción mecánica con la membrana del altavoz.



*Figura 13.* Soporte del prototipo montado con pote.

### 2.3.3. Señal de audio.

En base a la teoría de la cuencoterapia, los cuencos tibetanos producen mayores beneficios en el tratamiento del chakra (Concierto para los siete Chakras, s.f.). En esta investigación, a manera de controlar la interpretación, se opta por utilizar grabaciones del sonido de cuencos tibetanos que sean utilizados por la cuencoterapia. Se selecciona al “Concierto para los 7 chakras” por ser una señal de audio mayormente implementada en varias sesiones cuencoterapéuticas y luego se escogió la pieza que emitía la mayor potencia eléctrica del concierto. De esta manera se pudo comprobar la relación entre nivel de potencia y reducción de concentración de parámetros medidos en el agua, como se indicó en la hipótesis.

El concierto fue proporcionado por una página web (referencia Concierto para los siete Chakras) y obtenida de manera online, en formato MP3 con una calidad de 256kbps.

### 2.3.4. Cadena Electroacústica.

Se implementó una cadena electroacústica simple, debido a que se requiere reproducir las pistas que contenían los sonidos de los cuencos. Se utilizó el software Pro Tools para que la reproducción sea continua.

A su vez se grabó con un micrófono de medición (BeyerDynamic MM1) para obtener las respuestas en frecuencia con el software RTA Ozone 6 Ecuadorador y así poder obtener el espectro en frecuencia que excita a la muestra de agua.

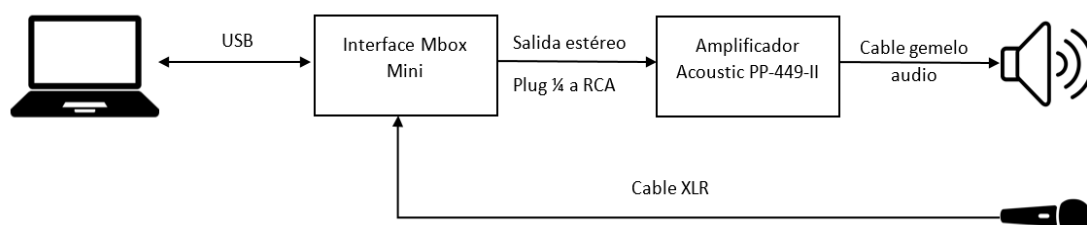


Figura 14. Cadena electroacústica para el prototipo.

Para determinar la potencia eléctrica en el altavoz, se utilizó un amperímetro y un voltímetro que miden la intensidad de corriente y voltaje respectivamente, según como se muestra en la siguiente figura:

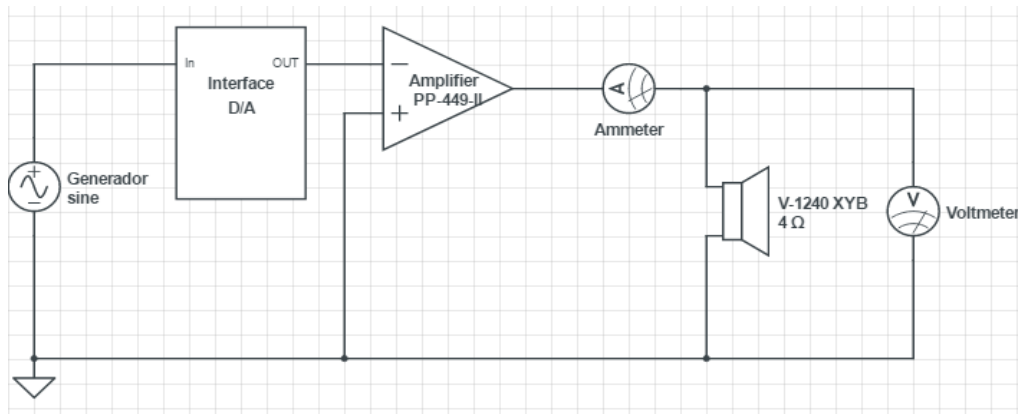


Figura 15. Circuito equivalente para el prototipo.

Con este circuito y los valores que fueron medidos se puede obtener la potencia eléctrica calculándola por la siguiente ecuación:

$$P = v * i \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

P: Potencia eléctrica en Watts (W).

v: Voltaje en volts (v).

i: Intensidad o corriente eléctrica en Amperes (A)

Se optó por medir el nivel de potencia eléctrica debido a que los materiales a utilizar no poseen una certificación confiable del nivel de energía acústica que pueden emitir. Mediante la potencia eléctrica calculada, futuras investigaciones podrán obtener la potencia acústica generada gracias a la relación de rendimiento existente en los equipos que utilicen.

Considerando que un altavoz es una fuente puntual que radia energía tanto hacia al frente como hacia atrás, se acopló una superficie que refleja su propagación trasera, la que generaba un cortocircuito acústico (Beranek & Mellow, 2012, p. 290). Este problema alteraba la respuesta en frecuencia del altavoz a utilizar, provocando que la carga energética frecuencial emitida se altere con respecto a

la producida por el cuenco, además de la coloración ya existente por la cadena electroacústica.

## 2.4. Experimentación.

### 2.4.1. Recreación del agua sintética y primeras pruebas.

En relación con los parámetros que se desean medir, se optó por sintetizar agua residual doméstica, basándose en la receta descrita en el estudio de Pacheco (2015). Dicho estudio realizó un sondeo del agua residual doméstica de Quito y determinó varios elementos y sus concentraciones, los mismos que se describe en la Tabla 4, mostrada a continuación:

Tabla 4.

Cantidades para crear el agua residual sintética.

<b>Receta teórica para 1 litro</b>	
	<b>Cantidades (g/l)</b>
Almidón	0,1
Leche en Polvo	0,2
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,0744
KH <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,044
Gelatina	0,0342
MgSO <sub>4</sub>	0,0033
Bicarbonato	0,1504
Jabón	0,003
Azúcar	0,171

Con esta información se procedió a sintetizar dos muestras denominadas “blancos” para comenzar el análisis de parámetros. El término “blanco” para esta investigación hace referencia a una muestra de agua antes de ser sometida a algún tratamiento que varíe sus concentraciones químicas.

Tabla 5.

Cantidades utilizadas en las síntesis de los blancos.

<b>Recreación experimental de la muestra</b>		
Receta para 1 litro		
	Cantidad (g/l)	
	Blanco 1	Blanco 2
Almidón	0,1025	0,1113
Leche en Polvo	0,206	0,204
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,0769	0,0703
Gelatina	0,0351	0,0325
MgSO <sub>4</sub>	0,0051	0,0038
Bicarbonato	0,1506	0,1548
Jabón	0,1723	0,1724
Azúcar	0,004	0,005

Debido a la falta de recursos tuvo que descartarse el factor KH<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en ambos blancos. Las concentraciones utilizadas en el proceso para sintetizar los blancos están mostradas en la Tabla 5.



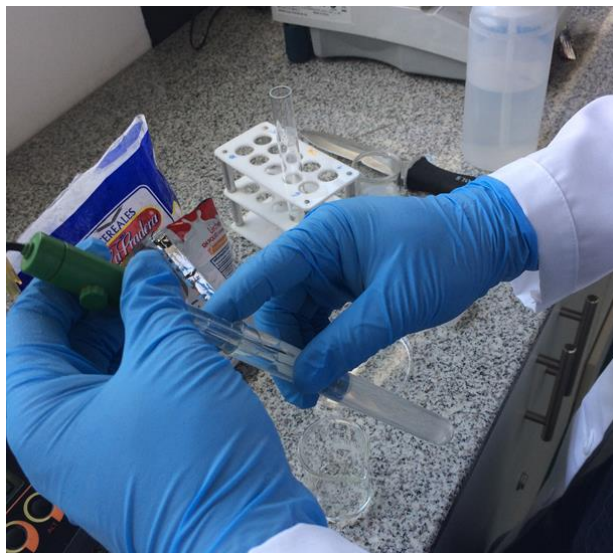
Figura 16. Materiales para la receta.



Una vez obtenidas las muestras sintetizadas, se procedió a exponerlas al sonido del cuenco, mediante el prototipo explicado con anterioridad y usando un litro a la vez.

El primer blanco se lo estimuló a una potencia baja durante una hora. Para esto se emitió el Concierto para los 7 chakras dos veces continuas, repitiendo todo el concierto una vez finalizado. Se obtuvo un promedio aritmético de los máximos valores de potencia determinados. Así se denominó a la potencia baja como un valor de 4,87 watts (véase Tabla 7).

Se tomaron muestras a los 15, 30 y 60 minutos de exposición, para medir sus concentraciones y verificar su efectividad en cuanto al tratamiento. Se compararon los valores medidos con los resultados del blanco.



*Figura 17.* Medición de pH de la primera muestra (blanco).

Se repitió la operación con la segunda muestra sintetizada, pero esta vez se incrementó el nivel de potencia eléctrica enviada al transductor. De la misma manera se midió la potencia y se obtuvo un promedio aritmético de 25,33 watts (véase Tabla 8).



Figura 18. Reactivos utilizados para la medición de parámetros.

#### 2.4.2. Segunda etapa de experimentación

Con los resultados preliminares conocidos y debido a que todos en algún punto dejaron de ser cuantificados, se optó por rediseñar la fórmula utilizada para la síntesis del agua. Se buscó la manera de obtener concentraciones de los parámetros en el agua que estén dentro del rango de cuantificación de los equipos de medición (espectrofotómetro). De esta manera se creó la siguiente receta para 2 litros de agua:

Tabla 6.

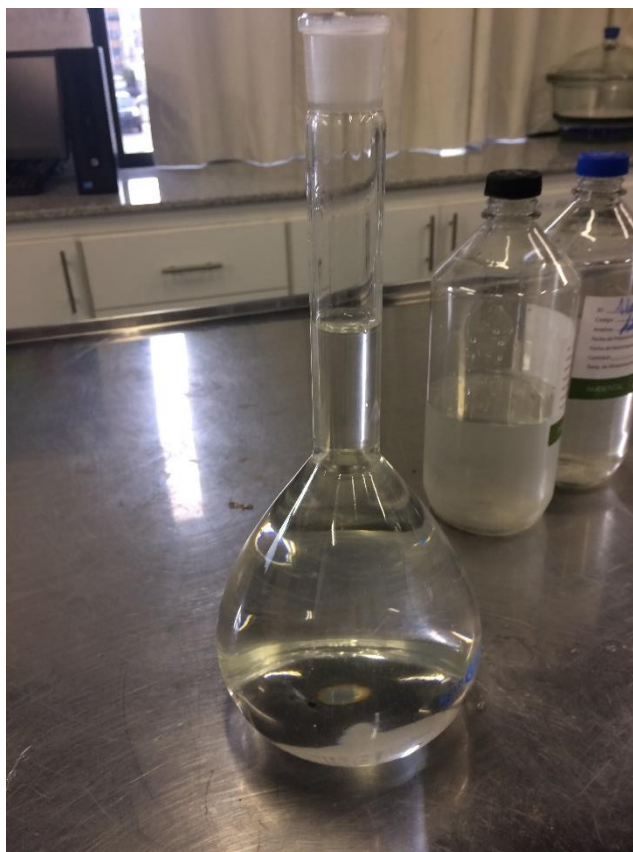
Nueva receta implementada para las muestras de agua “blancos”.

#### Nueva receta para muestra de agua

	Cantidad teórica por litro de agua	Cantidad práctica para dos litros de agua
Carbonato de calcio (mg)	190,17	383,9
Cloruro de amonio (mg)	11,88	27,7
Nitrato estándar (ml)	0,18	0,36
Nitrito de sodio (mg)	0,345	Sin Medida

En la Tabla 6, se puede observar los valores obtenidos teóricamente contra los medidos durante la práctica. Se puede notar que para los dos litros de agua

simplemente se duplican los valores obtenidos para un litro. Sin embargo, en el caso del Nitrito de Sodio, los valores fueron tan pequeños que se optó por colocar el valor más pequeño posible, del cual no se pudo obtener un valor medible. Esto se vio reflejado en los resultados obtenidos para la muestra “blanca” de agua.



*Figura 19.* Litro de muestra de agua sintetizada “Blanco” previo al experimento.

Ya con la nueva receta implementada, se procedió rediseñar la metodología. Esta vez se redujo el tiempo de exposición a 30 minutos, incluyendo muestras a los 10 y 20 minutos. Esta reducción en el tiempo se debió a los resultados preliminares. Al tener valores por debajo del rango medible por el espectrofotómetro al cabo de 30 minutos, se decidió que este sea el límite de exposición para poder obtener valores cuantificables. Para esto se optó por cambiar las condiciones del tratamiento. Se utilizó sólo el primero de los temas del Concierto para los 7 chakras (denominado “Primer Chakra” con una duración

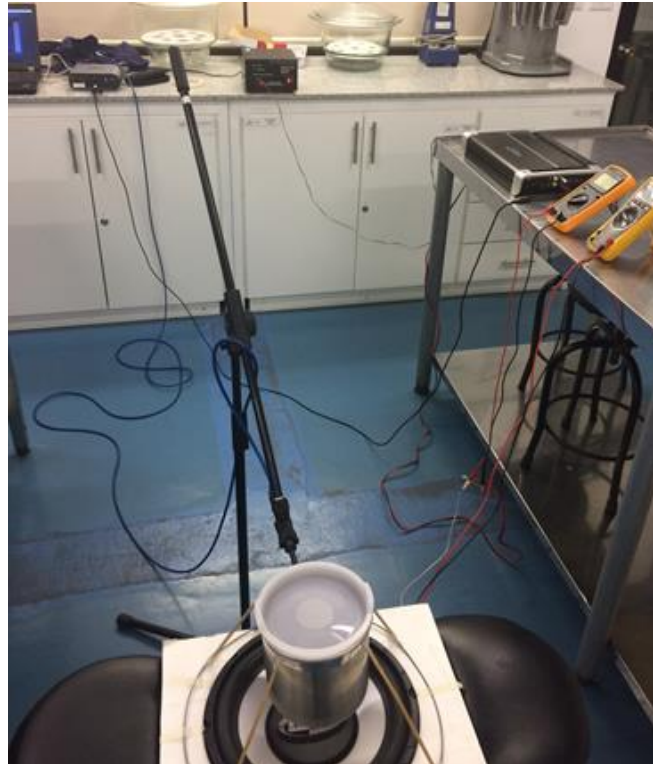
aproximada 5 minutos), al cual se lo identificó con la mayor potencia eléctrica. Esto con el fin de que la cantidad de potencia eléctrica no varíe demasiado.

Para la calibración del prototipo a baja potencia, se emitió ruido blanco hacia el transductor a 0 dBfs en RMS mediante un generador de señales digital. Se verificó que los valores de intensidad y voltaje se estabilicen hasta dar un valor aproximado de potencia eléctrica resultante de 18 watts. Esta cantidad será la referencia de potencia baja para el experimento. De igual forma se midieron los valores de intensidad y voltaje durante la exposición para controlar la cantidad enviada al transductor.

A manera de un segundo control, también se registró el espectro que emite el altavoz para mostrar las componentes frecuenciales que posee el sonido. Esto se lo realizó mediante un micrófono de medición colocado a la altura y distancia donde se encontraba la muestra de agua y conectado a una interfaz de audio. Tras finalizar el experimento, se procedió a medir las 3 muestras de agua expuestas con 10 minutos de diferencia.

Para el litro restante se repitió el proceso. Esta vez se estabilizó la potencia eléctrica a un valor aproximado de 34 watts (casi el doble del anterior). Esta cantidad será la referencia para alta potencia. El procedimiento fue el mismo, obteniendo así 3 muestras nuevas a 10, 20 y 30 minutos de exposición a la nueva potencia.

Todo el experimento se lo realizó con una temperatura ambiental aproximada de 17°C, entre las 18:00 y 20:00 horas.



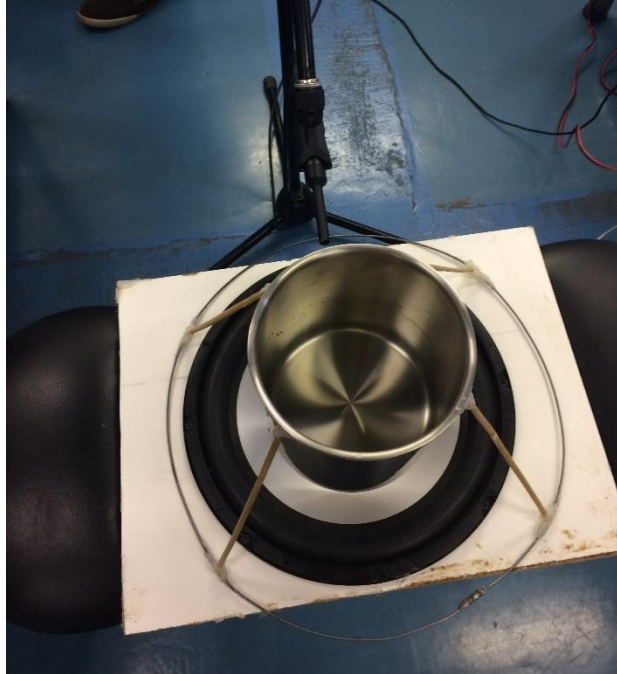
*Figura 20.* Montaje del prototipo para el tratamiento.

### **2.4.3. Etapa final de experimentación**

La tercera y última etapa de la experimentación tiene como fin el comprobar la reproducibilidad del experimento. Por ello la receta se simuló de la manera más parecida posible a la anterior utilizada, exceptuando el caso del Nitrito de Sodio, donde se procuró agregar la menor cantidad posible. El experimento se lo realizó a una temperatura ambiental aproximada de 21° C, cerca del mediodía.

Se comenzó estabilizando el transductor a la misma potencia eléctrica de la etapa anterior, mediante el mismo ruido blanco colocado a 0dBfs RMS. Tanto para la potencia baja como para la potencia alta se realizaron las mediciones de potencia eléctrica enviada al transductor. Se obtuvo un promedio aproximado de 23 watts para la potencia baja y 53 watts para la potencia alta. Finalmente se expuso un litro de la muestra sintetizada a la vez durante media hora a potencia baja y a potencia alta. Se tomaron muestras cada 10 minutos de exposición (10, 20 y 30 minutos).

A la par se registró el espectro sonoro enviado por el altavoz mediante el mismo mecanismo anterior, cuidando utilizar los mismos materiales que en la etapa anterior.



*Figura 21.* Tercera etapa de experimentación.

## **2.5. Método de medición de concentraciones.**

Tras finalizar cada etapa experimental, se realizaron las respectivas mediciones de nivel de concentración de las muestras de agua obtenidas. Para determinar estos valores, se utilizaron kits de reactivos normalizados que, en conjunto con el espectrofotómetro (Macherey-Nagel Nanocolor UV/VIS II, Véase Anexo 2), permiten obtener niveles de:

- Dureza Total (Total Hardness TH).
- Concentración de Calcio (Ca).
- Concentración de Amonio ( $NH_4^+$ ).
- Concentración de Nitrito ( $NO_2^-$ ).
- Concentración de Nitrato ( $NO_3^-$ ).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El espectrofotómetro funciona mediante rayos ultravioleta. Cada uno de los parámetros a medir requieren un proceso químico en el cual se debe teñir la muestra mediante un reactivo. El color que presente la muestra se capta por el espectrofotómetro y se cuantifica la cantidad de concentración existente con respecto al parámetro medido.

Para el caso del potencial de hidrógeno (pH), se lo obtiene mediante “Tiras rígidas indicadoras del pH”. Este método consiste en tiras de papel que se tiñen según el nivel de acidez que existe en el líquido.

Por otro lado, la dureza total equivale a la suma de la concentración de Calcio y la concentración de Magnesio. Ya que con el espectrofotómetro se obtuvieron valores de TH y de Calcio, se procedió a calcular el nivel de Magnesio:

$$TH = Ca + Mg \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Mg = TH - Ca \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

TH= Dureza Total en mg/L.

Ca= Concentración de Calcio en mg/L.

Mg= Concentración de Magnesio en mg/L.

El valor obtenido de TH es presentado en grados de dureza (°d), sin embargo, para poder utilizar la ecuación anterior se debe trabajar al menos con milimol por litro. El Anexo 3 posee la tabla de conversión proporcionada por el fabricante, donde se pasa de grados de dureza a mili moles litro. El Calcio por otra parte se puede cambiar a mmol/L mediante la división del valor medido por su peso atómico (mg/mmol).

$$Mg = 24,3 * \left( TH - \frac{Ca}{40,1} \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

Mg= Concentración de Magnesio en mmol/L.

24,3= Peso atómico del Magnesio.

TH= Dureza total en mmol/L.

Ca= Concentración de Calcio en mg/L.

40,1= Peso atómico del Calcio.

Los resultados obtenidos de Magnesio se presentan en las Tablas 13, 14, 18 y 19 del presente documento.

### **3. CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Los resultados son presentados por 3 etapas, siendo la primera las pruebas de factibilidad y aproximación al experimento, la segunda los primeros resultados a analizar y la última aquellos que demuestran reproducibilidad. Además, se analizan los resultados tanto individualmente como en conjunto, mediante estadística descriptiva e inferencial. Se revisa la influencia que posee el tiempo y la potencia con respecto a la variación presentada en el experimento y si esta cumple o no con la hipótesis planteada.

#### **3.1. Resultados primera etapa del experimento.**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante las primeras pruebas de medición. Se exponen los resultados del tratamiento obtenidos bajo dos niveles de potencia eléctrica distintos (baja y alta), así como varios tiempos de exposición (15, 30 y 60 minutos) comparando con las concentraciones de una muestra sin tratar (blanco).

##### **3.1.1. Resultados de potencia eléctrica.**

Los datos obtenidos de potencia fueron contabilizados entre el valor máximo y el mínimo medido tanto de voltaje como de intensidad. Luego se procedió a obtener un promedio por separado. Para la potencia eléctrica baja y para la potencia eléctrica alta se toma el promedio de los valores máximos. Se optó por estos valores debido a que fueron medidas sin mucha variación tanto de voltaje como de intensidad durante el experimento.



Tabla 7.

Medición de potencia eléctrica baja enviada al altavoz primera etapa.

	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	5,6	1,9	1,3	0,41	7,28	0,78
10 min	5,02	1,7	0,7	0,17	3,51	0,29
20 min	5,2	1,9	0,8	0,24	4,16	0,46
30 min	5,5	2,2	0,98	0,09	5,39	0,20
40 min	4,9	1,8	0,95	0,27	4,66	0,49
50 min	4,6	1,5	0,92	0,19	4,23	0,29
<b>Promedio</b>					4,87	0,42

Tabla 8.

Medición de potencia eléctrica alta enviada al altavoz primera etapa.

	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	15,2	8,8	2,9	1,28	44,08	11,26
10 min	11,2	3,7	1,3	0,6	14,56	2,22
20 min	12,8	5	1,29	0,6	16,51	3,00
30 min	13,3	6,1	2,4	1,5	31,92	9,15
40 min	10,7	4,6	1,9	0,8	20,33	3,68
50 min	12,8	6,7	1,94	0,5	24,83	3,35
<b>Promedio</b>					25,37	5,44

Los intervalos de tiempo tomados para las mediciones se implementaron con la finalidad de poder obtener un registro que involucre la cantidad de energía emitida por cada tema presente en el Concierto para los 7 chakras. Se puede observar que la mayor cantidad de potencia eléctrica se encuentra al inicio del concierto, es decir con el primer tema denominado "Primer Chakra". Estos resultados muestran demasiada variación de potencia eléctrica durante el tiempo total de exposición.

### 3.1.2. Concentraciones de los parámetros medidos.

En la Tabla 9 se puede observar que, al caracterizar el blanco, algunos de los resultados obtenidos se encontraban por debajo de los límites de detección del equipo de medición (espectrofotómetro). Es por esto que en casos como el TH, Calcio, Magnesio y el DQO no se pudo detectar si el tratamiento generó cambios en las concentraciones. En el caso del pH, se pudo observar una reducción hasta los 30 min. de exposición, donde al parecer comienza a estabilizarse. Lo mismo ocurre para el caso del Nitrato 50, con la excepción de se desconoce el comportamiento más allá de los 30 min de exposición. El caso del Nitrito 2 es peculiar, en la Tabla 9 se muestra como oscila hasta la media hora y luego se estabiliza. Mientras que el Amonio presenta un cambio drástico después de la media hora de exposición. Su valor inicial parte por encima del que es capaz de medir el espectrofotómetro utilizado, se mantuvo así hasta los 15 minutos y luego bajó hasta estar por debajo del rango de detección.

Tabla 9.

Resultados de concentraciones medidas después de la exposición al concierto para los 7 chakras en potencia eléctrica baja.

#### Resultados preliminares medidos a potencia baja

	Unidades	Blanco	15 min	30 min	60 min
pH	NA	8,4	8,3	8,11	8,16
Dureza Total (TH)	°d	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Nitrito 2	mg/L	0,087	0,093	0,091	0,091
Nitrato 50	mg/L	0,4	0,3	< 0,3	< 0,3
Amonio	mg/L	> 8.0	> 8.0	< 0.2	< 0.2
Calcio	mg/L	< 10	< 10	< 10	< 10
Magnesio	mg/L	< 5	< 5	< 5	< 5
DQO	mg/L	< 1000	< 1000	< 1000	< 1000

Para el tratamiento con potencia eléctrica alta, se revisaron los niveles de concentración para cada muestra obtenida a 15, 30 y 60 minutos incluyendo el

blanco. Como se esperaba, los valores no pudieron ser medidos debido a que todos estaban fuera del rango de detección permitido por el espectrofotómetro.

### 3.1.3. Respuesta en frecuencia.

En esta etapa se expuso al blanco con el concierto completo de los 7 chakras. Se obtuvo un espectro en frecuencias altas, por lo que se optó por tomar la frecuencia a los 46 minutos de la exposición.

El RTA utilizado para tener el espectro en frecuencia es el Izotope Ozone 6.



Figura 22. Espectro en frecuencia a 46 minutos en potencia baja.

Como se puede observar en la Figura 22, existe un pico de amplitud en la frecuencia de 500 Hz, valor correspondiente al rango de frecuencias medias. Existe también un alto nivel en frecuencias bajas, ya que se estaba reproduciendo otro cuenco de baja frecuencia al mismo tiempo en el instante de captura.



Figura 23. Espectro en frecuencia al minuto 46 en alta potencia.

En la Figura 23 se puede observar que tiene casi la misma respuesta en frecuencia, con una diferencia de nivel. Esto se debe a que, al ser una etapa preliminar, se manipuló la ganancia de la entrada del micrófono para poder proteger la entrada de la interfaz.

### 3.2. Resultados segunda etapa del experimento.

Se mostrarán los resultados obtenidos en la segunda etapa de experimentación para potencias (alta y baja), espectro frecuencial del audio enviado al transductor y niveles de concentraciones (blanco, 10 min., 20 min. y 30 min.).

#### 3.2.1. Potencia eléctrica.

La Tabla 10 muestra los valores medidos de voltaje y corriente, así como el calculado de potencia, al emitir ruido blanco hacia el transductor. Se puede apreciar que la relación de potencia con esta señal equivale aproximadamente al doble de nivel.

Tabla 10.

Calibración de la potencia eléctrica mediante Ruido Blanco.

<b>Potencia Eléctrica</b>		
Ruido Blanco		
	Potencia Baja	Potencia Alta
Nivel (dB)	0	0
Voltaje (V)	27,74	40,42
Corriente (A)	0,64	0,85
Potencia (W)	17,754	34,36

En el caso de las Tablas 11 y 12, los valores medidos tanto de voltaje como de intensidad fueron tomados cada 5 minutos. Se pudo obtener un valor promedio de potencia máxima y mínima.

Tabla 11.

Potencia eléctrica baja enviada al altavoz durante la segunda etapa.

<b>Potencia eléctrica baja enviada al altavoz segunda etapa.</b>						
	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	8,20	5,70	1,69	0,82	13,86	4,67
5 min	10,10	6,30	1,75	0,76	17,68	4,79
10 min	11,20	4,10	2,18	0,54	24,42	2,21
15 min	10,30	7,30	2,10	0,94	21,63	6,86
20 min	9,70	7,20	1,90	0,76	18,43	5,47
25 min	12,18	5,90	2,10	0,88	25,58	5,19
<b>Promedio</b>					20,26	4,87

Tabla 12.

Potencia eléctrica alta enviada al altavoz durante la segunda etapa.

<b>Potencia eléctrica alta enviada al altavoz segunda etapa.</b>						
	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	19,37	12,53	3,49	1,96	67,60	24,56
5 min	19,78	12,69	3,05	1,77	60,33	22,46
10 min	17,33	11,73	2,97	1,63	51,47	19,12
15 min	19,31	13,39	3,03	1,66	58,51	22,23
20 min	19,30	12,67	3,03	1,80	58,48	22,81
25 min	21,36	12,86	3,40	1,80	72,62	23,15
<b>Promedio</b>					61,50	22,39

Las variaciones de potencia durante el experimento son más controladas gracias al uso de un único audio, diferente a la etapa anterior donde el concierto completo fue emitido. Gracias a esta decisión, la definición de una potencia eléctrica baja y una potencia eléctrica alta fue menos complicada. La relación entre los promedios obtenidos de potencia equivale aproximadamente al triple de la potencia baja con respecto al valor de potencia alta.

### 3.2.2. Concentraciones de los parámetros medidos.

Para esta etapa, los resultados de la muestra sintetizada fueron valores cuantificables en la mayoría de los parámetros. Esto se debió al cambio de receta utilizada para sintetizar el blanco.

Tabla 13.

Resultados de las concentraciones medidas después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia baja.

#### Resultados segunda etapa medidos a potencia baja

	Unidades	Blanco	10 min	20 min	30 min
pH	NA	10	10	10	10
Dureza Total (TH)	°d	3	1,8	<1	<1
Nitrito 2	mg/L	0,091	0,091	0,090	0,090
Nitrato 50	mg/L	0,8	0,5	0,6	0,6
Amonio	mg/L	3,1	3,3	3,4	3,3
Calcio	mg/L	27	<10	<10	<10
Magnesio	mg/L	0	1,8	0	0
DQO	mg/L	6	6	4	5

La Tabla 13 muestra los niveles de concentración medida para cada muestra de agua, después de haber sido expuestas a la señal de audio con potencia baja.

Como en los resultados de la anterior etapa, el Nitrato 50 se reduce a los 10 minutos de exposición, para luego estabilizarse a partir de los 20 minutos. El Nitrito 2 no presentó cambios relevantes. La dureza partió desde un número relativamente pequeño, por ello solo se observó reducción hasta los 20 minutos. Ya que el Calcio vendría a conformar parte de la dureza total del agua, es comprensible que se pueda apreciar una reducción casi similar entre estos factores. Por otro lado, el Magnesio es despreciable, debido a que la receta fue creada con mayoría de Calcio como componente principal de dureza en el agua. Finalmente, en el Amonio se pudo notar que se generó un incremento hasta los 20 minutos, donde pasó a estabilizarse. Esto pudo deberse a la descomposición

de los demás químicos los cuales, al no ser retirados de la muestra, se reagruparon formando más concentración de Amonio.

Tabla 14.

Resultados de las concentraciones medidas después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia alta.

<b>Resultados segunda etapa medidos a potencia alta</b>					
	Unidades	Blanco	10 min	20 min	30 min
pH	NA	10	10	10	10
Dureza Total (TH)	°d	3	1,6	1,8	1,9
Nitrito 2	mg/L	0,091	0,091	0,092	0,091
Nitrato 50	mg/L	0,8	0,7	0,5	0,5
Amonio	mg/L	3,1	3,1	3,3	3,3
Calcio	mg/L	27	12	13	13
Magnesio	mg/L	0	0	0	0,43
DQO	mg/L	6	2	1	1

En etapa si se consiguieron medir variaciones con una exposición de potencia eléctrica alta. En la Tabla 14, se observa el comportamiento general de la muestra sintetizada ante 30 minutos de exposición, midiendo también el comportamiento a los 10 y 20 minutos. Como en el caso anterior, la dureza total tuvo una reducción repentina después de los primeros 10 minutos, para luego incrementarse poco a poco hasta los 30 minutos de exposición. El Nitrato 50 muestra reducción paulatina hasta los 20 minutos, donde tiende a estabilizarse. El caso del Amonio no cambia tampoco ya que, tras la exposición, llega a tener el mismo valor que en el caso anterior. El DQO sufre cambios elevados, reduciendo hasta cerca de la eliminación total del mismo.

### **3.2.3. Respuesta en frecuencia.**

Tomando en cuenta los ajustes que se realizaron en esta etapa, se tomó solo la grabación con mayor energía dentro de todas las muestras de audio que presentes en el concierto para los 7 chakras. A su vez, a la entrada del micrófono

no se le varío el nivel de ganancia. Se grabaron las muestras de audio que interactuaban con el agua durante el tratamiento. El micrófono estaba ubicado muy cerca al pote, tomando de referencia la medida máxima de nivel de agua presente en el recipiente.



Figura 24. Espectro en frecuencia segunda etapa baja potencia.

Se puede notar en la Figura 24, que existe mayor energía en baja frecuencia. Esta captura fue tomada al minuto 3 de la experimentación, donde se percibía una gama completa de los sonidos presentes en el tema. Esta grabación constaba de 5 minutos, pero se realizó un loop (varias repeticiones continuas del mismo audio) hasta completar los 30 minutos requeridos a analizar.

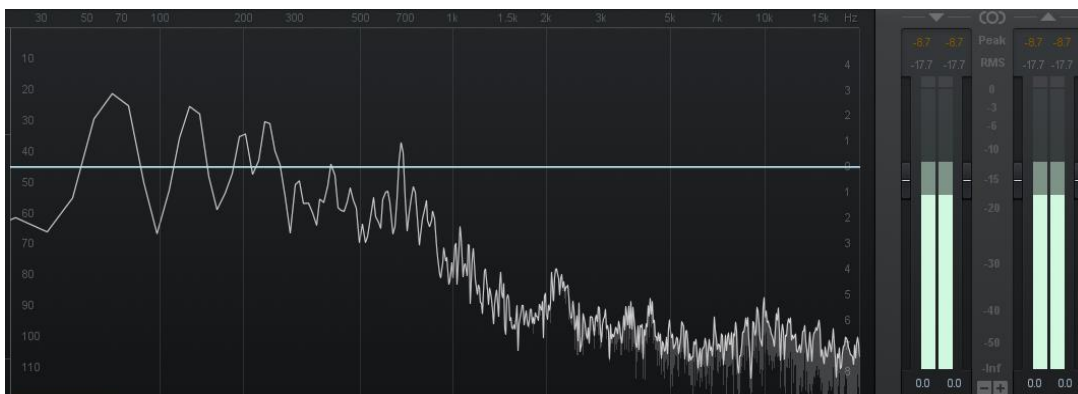


Figura 25. Respuesta en frecuencia segunda etapa alta potencia.



En la Figura 25 se puede observar que los armónicos son mucho mayores que en la anterior gráfica. Si se toma en cuenta que se trata de bajas frecuencias, es normal exigir mucha más potencia para que estas se puedan reproducir.

### 3.3. Resultados de la etapa final del experimento.

Durante este apartado, se muestran los resultados obtenidos en la etapa final del experimento. A su vez, se muestran los valores de potencia eléctrica tanto para potencia baja como para potencia alta, así como el espectro obtenido durante el experimento.

#### 3.3.1. Potencia eléctrica.

La Tabla 15 muestra los valores medidos de voltaje y corriente, así como el calculado de potencia, al emitir ruido blanco hacia el transductor. Se puede apreciar que la relación de potencia con esta señal equivale aproximadamente al doble de nivel.

Tabla 15.

Calibración de la potencia eléctrica mediante Ruido Blanco.

<b>Potencia Eléctrica</b>		
	Ruido Blanco	
	Potencia Baja	Potencia Alta
Nivel (dB)	0	0
Voltaje (V)	26,6	37,69
Corriente (A)	0,64	0,86
Potencia (W)	17,02	32,41

En el caso de las Tablas 16 y 17, los valores medidos tanto de voltaje como de intensidad fueron tomados cada 5 minutos. Se pudo obtener un valor promedio de potencia máxima y mínima.

Tabla 16.

Potencia eléctrica baja enviada al altavoz etapa final.

<b>Potencia eléctrica baja enviada al altavoz</b>						
	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	12,18	4,56	1,84	0,93	22,41	4,24
5 min	11,81	3,96	1,92	0,68	22,68	2,69
10 min	13,42	1,00	1,92	0,89	25,77	0,89
15 min	13,53	4,20	1,89	0,66	25,57	2,77
20 min	11,01	3,98	1,68	0,70	18,50	2,79
25 min	12,18	4,28	2,00	1,00	24,36	4,28
Promedio					23,21	2,94

Tabla 17.

Potencia eléctrica alta enviada al altavoz etapa final.

<b>Potencia eléctrica alta enviada al altavoz</b>						
	Voltaje (V)		Intensidad (A)		Potencia (W)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1 min	19,10	7,11	2,80	1,40	53,48	9,95
5 min	18,75	6,97	2,70	1,59	50,63	11,08
10 min	18,22	5,96	2,97	1,47	54,11	8,76
15 min	19,21	10,04	2,77	1,41	53,21	14,16
20 min	18,72	8,41	2,93	1,46	54,85	12,28
25 min	18,92	6,45	2,87	1,13	54,30	7,29
Promedio					53,43	10,59

Los resultados de potencia eléctrica son similares a los obtenidos en la etapa anterior. Esto pudo deberse al proceso de calibración mediante ruido blanco implementado previo al experimento.

### 3.3.2. Concentraciones de los parámetros medidos.

Para esta etapa los resultados son una muestra de la posibilidad de recrear el experimento, ya que la metodología fue la misma. A continuación, se muestran los resultados medidos para ambas potencias eléctricas, tomando también los tiempos de exposición de 10, 20 y 30 minutos.

Tabla 18.

Resultados de las concentraciones medidas en la etapa final después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia baja.

#### Resultados se etapa medidos a potencia baja

	Unidades	Blanco	10 min	20 min	30 min
pH	NA	9	9	9	9
Dureza Total (TH)	°d	3,8	2	2,6	2
Nitrito 2	mg/L	0,089	0,091	0,092	0,09
Nitrato 50	mg/L	0,9	0,7	0,6	0,6
Amonio	mg/L	3,7	3,4	3,1	3,1
Calcio	mg/L	30	14	15	14
Magnesio	mg/L	0	0,26	2,28	0,26
DQO	mg/L	13	4	6	7

La Tabla 18 muestra comportamientos son más controlados con respecto a la etapa anterior, obteniendo en todos los casos valores dentro del rango de lectura del espectrofotómetro utilizado.

Tabla 19.

Resultados de las concentraciones medidas en la etapa final después de la exposición al tema Primer Chakra con potencia alta.

**Resultados segunda etapa medidos a potencia alta**

	Unidades	Blanco	10 min	20 min	30 min
pH	NA	9	9	9	9
Dureza Total (TH)	°d	3,8	1,1	<1	1,8
Nitrito 2	mg/L	0,089	0,088	0,093	0,09
Nitrato 50	mg/L	0,9	0,6	0,5	0,5
Amonio	mg/L	3,7	3,5	3,6	2,7
Calcio	mg/L	30	10	12	14
Magnesio	mg/L	0	0	0	0
DQO	mg/L	13	4	4	0

Los cambios de dureza se ven reflejados con los de Calcio, ya que es el factor predominante en esta característica. De nuevo se muestra cambios pequeños en el Nitrito, mientras que en el Nitrato se observa una reducción progresiva hasta los 20 minutos, donde parece estabilizarse. El Amonio para este caso muestra una reducción, diferente a los casos anteriores, ya que llega hasta un valor de 2,7 mg/L. El pH no varía, al igual que el Magnesio. Mientras que el DQO demuestra una reducción fuerte, similar al caso de la anterior etapa para la misma potencia. Todo esto puede visualizarse en la Tabla 19.

### 3.3.3. Respuesta en frecuencia.

En este caso se tomaron en cuenta las mismas consideraciones que se tomó en la segunda etapa. Obteniendo las siguientes figuras que muestran la respuesta en frecuencia, tomadas en el minuto 9 de exposición.

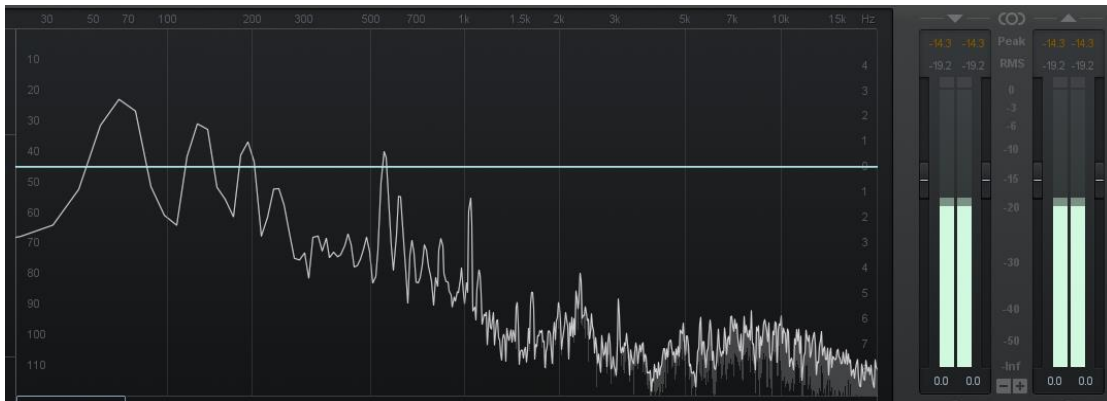


Figura 26. Respuesta en frecuencia tercera etapa en potencia baja.

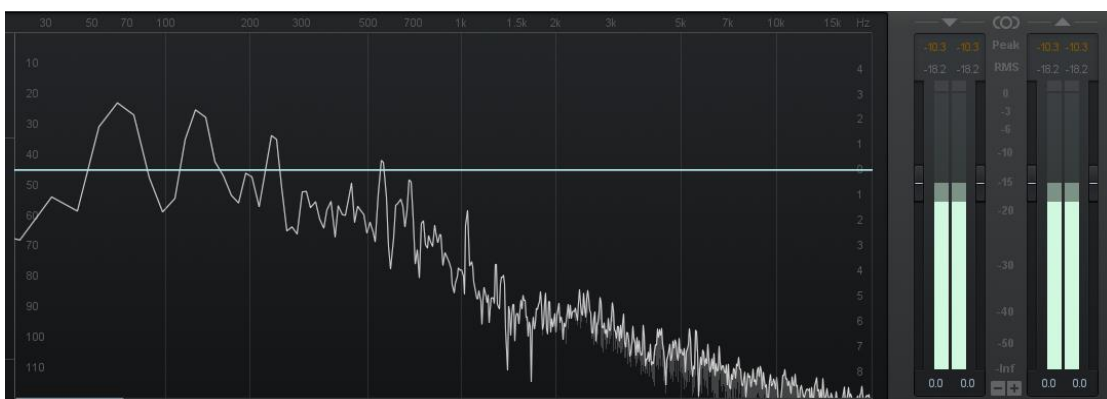


Figura 27. Respuesta en frecuencia tercera etapa en alta potencia.

Se puede acotar que, cuando se realizaba la exposición a alta potencia se obtuvo un ruido de vibración, el cual no afectaba del todo a la muestra. La mayor cantidad de energía lo recibía del transductor, y al ser baja frecuencia, la vibración pudo ser causada por la resonancia producida por alguna de estas frecuencias. El espectro se muestra en la Figura 27.

### 3.4. Interpretación de Datos.

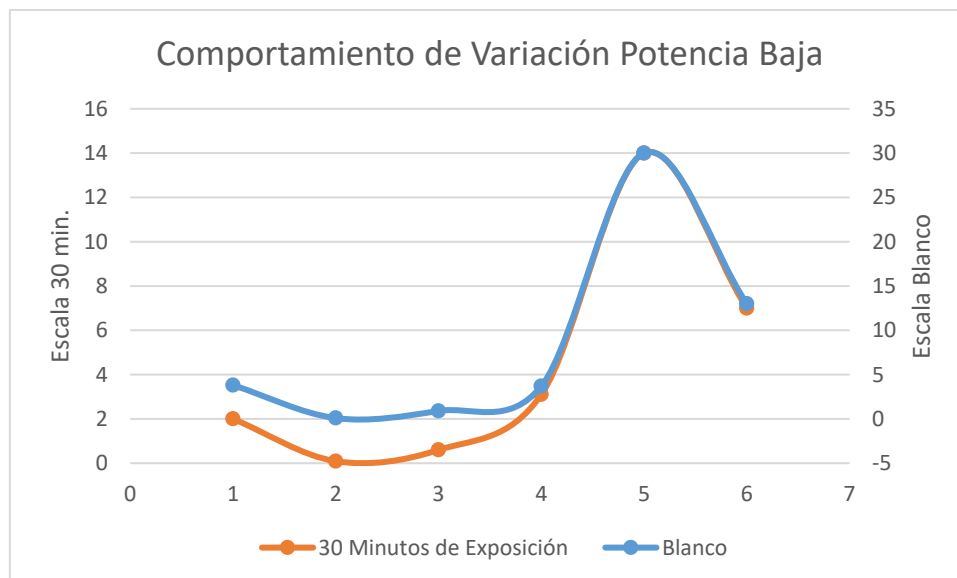
Durante este apartado se interpretan los resultados obtenidos en la parte experimental. Para este análisis se utiliza estadística descriptiva e inferencial, con el fin de mostrar de manera gráfica el comportamiento de las muestras de agua frente al estímulo sonoro. Cabe destacar que se manejaron todos los valores obtenidos de manera experimental, es decir, el caso del Magnesio

obtenido de manera teórica no cumple con los requisitos de análisis. También se descartaron los datos del potencial de Hidrógeno (pH), ya que no muestra ninguna reacción durante todo el experimento.

Todos los análisis se realizaron con los resultados de la tercera etapa de experimentación, principalmente debido a que en su mayoría fueron cuantificables por el espectrofotómetro. Otra razón fue que el nivel de variación entre los valores obtenidos en la segunda y la tercera etapa difiere por más del 40% en algunos parámetros. El factor que influye este cambio pudo deberse a las condiciones ambientales o factores externos no controlados durante el proceso de experimentación. Sin embargo, el Anexo 4 de este documento contiene el análisis descriptivo de los resultados obtenidos durante la segunda etapa .

#### **3.4.1. Análisis descriptivo del comportamiento de la variación de los parámetros medidos.**

Es importante mostrar cómo varían las concentraciones de los parámetros medidos en el experimento con respecto al tiempo transcurrido. Además, se comparó si el comportamiento observado con respecto al tiempo varía al cambiar la potencia. La siguiente figura muestra el patrón de variación entre el blanco y la muestra a los 30 minutos de exposición.



*Figura 28.* Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia baja.

Eje horizontal: 1) Dureza Total, 2) Nitrito 2, 3) Nitrato 50, 4) Amonio, 5) Calcio, 6) DQO.

La Figura 28 presenta el nivel de concentración inicial (eje vertical derecho) frente al nivel de concentración a los 30 minutos de exposición (eje vertical izquierdo). Como se observa, el comportamiento frente a la exposición se mantiene incluso después de los 30 minutos. Esto permite concluir que la variación producida por la exposición, es casi homogénea para todos los parámetros al pasar del tiempo. Dicho de otra manera, todos los parámetros medidos varían de manera similar tras la exposición.

El mismo análisis se realizó para el caso de exposición a potencia alta. La Figura 29 muestra el comportamiento presentado por el blanco frente a los 30 minutos de exposición.

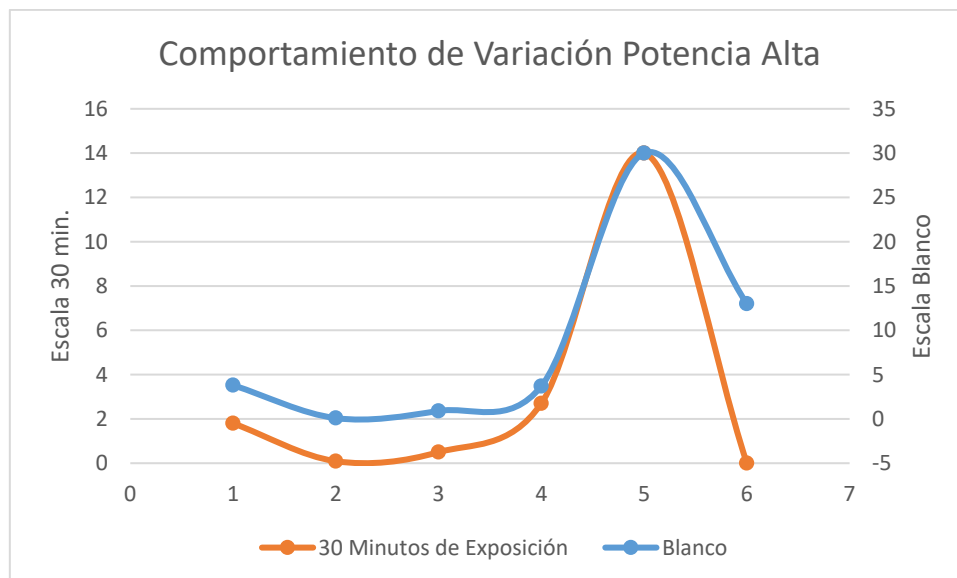


Figura 29. Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia alta.

Eje horizontal: 1) Dureza Total, 2) Nitrito 2, 3) Nitrato 50, 4) Amonio, 5) Calcio, 6) DQO.

Los niveles iniciales de concentración se presentan en el eje vertical derecho, mientras que los valores obtenidos tras 30 minutos de exposición se encuentran en el eje vertical izquierdo.

La relación es similar al comportamiento de la potencia baja. En este caso particularmente, se muestran reducciones más pronunciadas de DQO, lo que altera la homogeneidad presentada en la baja potencia. Por otro lado, los demás parámetros llegan a variar todos por igual, mostrando que no existe otro valor para el cual el tratamiento sea particularmente eficaz o deficiente.

No se pudo realizar un análisis inferencial que abarque todas las variables medibles. Se intentó partir desde la regresión lineal múltiple, la cual permite generar una ecuación que abarque todos los parámetros medidos en función de una variable cualquiera. La variable utilizada fue el tiempo, ya que se posee mayor cantidad de datos al respecto. pero no fueron suficientes como para poder independizar los parámetros obtenidos entre ellos. Utilizando la hoja de cálculo



Microsoft Excel, en la función “Análisis de Datos” se implementó la matriz de correlación de coeficientes, lo que determinó la existencia de relación entre los parámetros.

También se verificó utilizando la función Regresión, donde no se pudo completar el cálculo debido a la correlación entre parámetros. Además, el factor de determinación delimitó un valor superior al permitido.

Tabla 20.

Matriz de coeficientes de correlación para los valores medidos en potencia baja.

	<i>Tiempo</i>	<i>Dureza</i>	<i>Nitrito 2</i>	<i>Nitrato 50</i>	<i>Amonio</i>	<i>Calcio</i>	<i>DQO</i>
Tiempo	1						
dureza	-0,73	1					
Nitrito 2	0,4	-0,55	1				
Nitrato 50	-0,91	0,83	-0,73	1			
Amonio	-0,94	0,74	-0,67	0,98	1		
Calcio	-0,77	0,96	-0,74	0,93	0,85	1	
DQO	-0,53	0,91	-0,8	0,79	0,67	0,95	1

La Tabla 20 muestra los coeficientes de correlación que poseen cada uno de los parámetros con respecto al tiempo y a los demás parámetros. En ella se explica la imposibilidad de obtener una ecuación lineal múltiple, ya que en muchos casos la correlación entre un parámetro y otro ajeno al tiempo es mayor al 40%. Lo mismo ocurre con los datos medidos después de la exposición a alta potencia, la Tabla 21 muestra la matriz obtenida.

Tabla 21.

Matriz de coeficientes de correlación para los valores medidos en potencia alta.

	<i>Tiempo</i>	<i>Dureza</i>	<i>Nitrito 2</i>	<i>Nitrato 50</i>	<i>Amonio</i>	<i>Calcio</i>	<i>DQO</i>
Tiempo	1						
dureza	-0,61	1					
Nitrito 2	0,48	-0,36	1				
Nitrato 50	-0,89	0,9	-0,49	1			
Amonio	-0,82	0,21	0,03	0,55	1		
Calcio	-0,65	0,99	-0,24	0,91	0,34	1	
DQO	-0,92	0,81	-0,25	0,95	0,75	0,87	1

Idealmente solo se esperaba relación entre todos los parámetros con respecto al tiempo, pero el hecho de que no exista una cantidad contundente de datos puede ser el factor que impida un mejor análisis.

### 3.4.2. Análisis descriptivo e inferencial de la influencia del tiempo y la potencia eléctrica en la variación de los parámetros medidos.

El análisis de la influencia del tiempo de exposición se lo realizó de una manera descriptiva, analizando el valor de porcentajes de reducción de cada parámetro medido. Por otro lado, se desarrolló un análisis inferencial con los datos reales de la experimentación realizando regresiones simples. A pesar de que no se pudo realizar una ecuación donde se muestren todas las variables experimentales (Regresión múltiple), se tomaron en cuenta las ecuaciones que responden a este experimento.

Se consideró un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.7, ya que esto permite validar el modelo de regresión. Además, si el coeficiente de determinación tiende a uno el modelo será totalmente adecuado.

Se presentarán figuras en función del tiempo ya sea en alta potencia, así como en baja potencia. A su vez, se presentarán las ecuaciones de las regresiones lineales en cada una de las potencias y su coeficiente de determinación para cada una de estas en función del tiempo.

Todas las figuras se las realizaron con la función de dispersión de líneas suavizadas y marcadores en graficas de dispersión de Microsoft Excel. En estas graficas se agregaron líneas de tendencia hasta obtener un coeficiente de determinación adecuado y su ecuación correspondiente.

La influencia de la potencia no pudo ser analizado de manera inferencial, debido a la poca información recopilada durante el proceso experimental. Si bien es verdad que durante la exposición se midieron varios niveles de potencia, fue debido a los componentes frecuenciales del audio utilizado, más no por un cambio voluntario en la ganancia para ser analizado. Por ello se obtuvo el promedio de los máximos valores medidos y se trabajó con estos valores, tanto para potencia baja como para potencia alta. La relación entre potencias equivale aproximadamente al triple de sus valores.

#### 3.4.2.1. Influencia del tiempo de exposición en la variación de la Dureza Total.

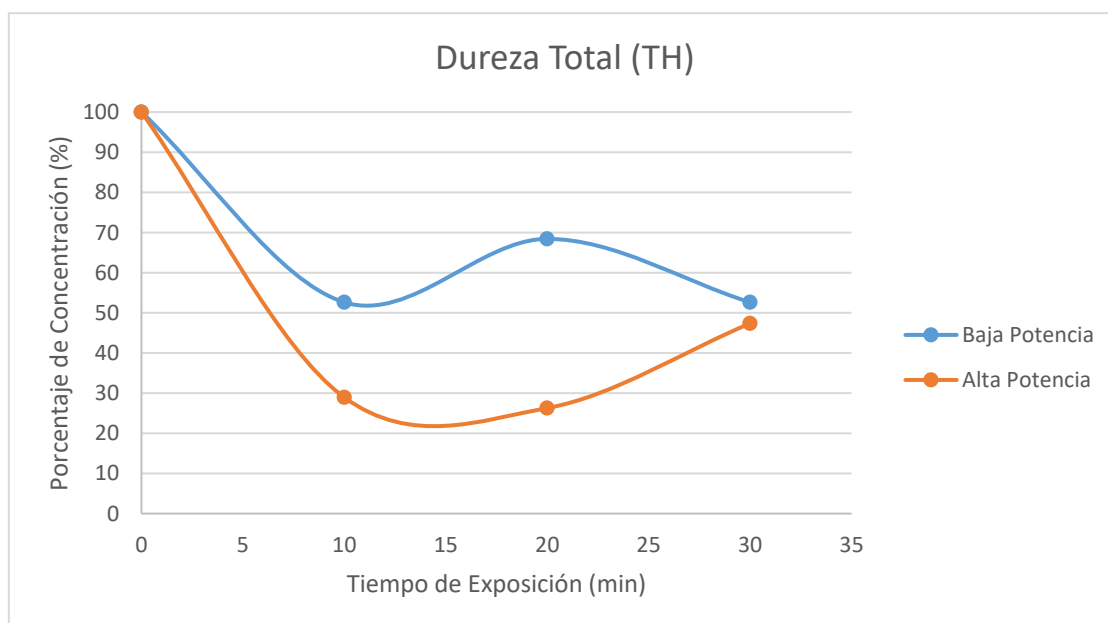


Figura 30. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de la Dureza Total en alta y baja potencia.

En la Figura 30, se puede observar el porcentaje de reducción ya sea en alta potencia como en baja. Se puede observar que existe una reducción abrupta en ambos casos a los primeros 10 minutos. Posterior a esta reducción se presenta una variación de aproximadamente +/- 20 % en ambos casos. Este tipo de comportamiento se puede atribuir a condiciones externas como son la precisión del espectrofotómetro u otros factores.

Se realizó una regresión lineal para obtener una ecuación a manera porcentual para predecir el comportamiento de reducción en un tiempo determinado en relación a la Figura 30. Para baja potencia la ecuación está definida por la siguiente ecuación.

$$TH (\%) = 0,0789t^2 - 3,6316t + 95,263; R^2 = 0,7 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Tomando en cuenta los valores especificados en la tabla 18 de resultados a baja potencia y al realizar el análisis estadístico, se obtuvo una ecuación de grado 2, así como un coeficiente de determinación. En este caso el coeficiente esta entre los valores de fiabilidad del modelo.

$$TH (^\circ d) = 0,003t^2 - 0,138t + 3,62; R^2 = 0,7 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Si bien el coeficiente de determinación para una ecuación de tercer orden es 1, al ser un modelo experimental se lo debe comprobar a través de más experimentación antes de ser validado.

En el caso de alta potencia la relación del porcentaje de reducción entre la dureza y el tiempo de exposición de la muestra ajustándose a la curva de la Figura 30.

$$TH (\%) = 0,2303t^2 - 8,5154t + 97,767; R^2 = 0,9716 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Por otro lado, en potencia alta (Tabla 19) el coeficiente de determinación para una ecuación de grado 2 es bastante alto, lo cual permite que el comportamiento de la línea de tendencia sea viable.

$$TH (^\circ d) = 0,0088t^2 - 0,3236t + 3,7152; R^2 = 0,9716 \quad (\text{Ecuación 8})$$

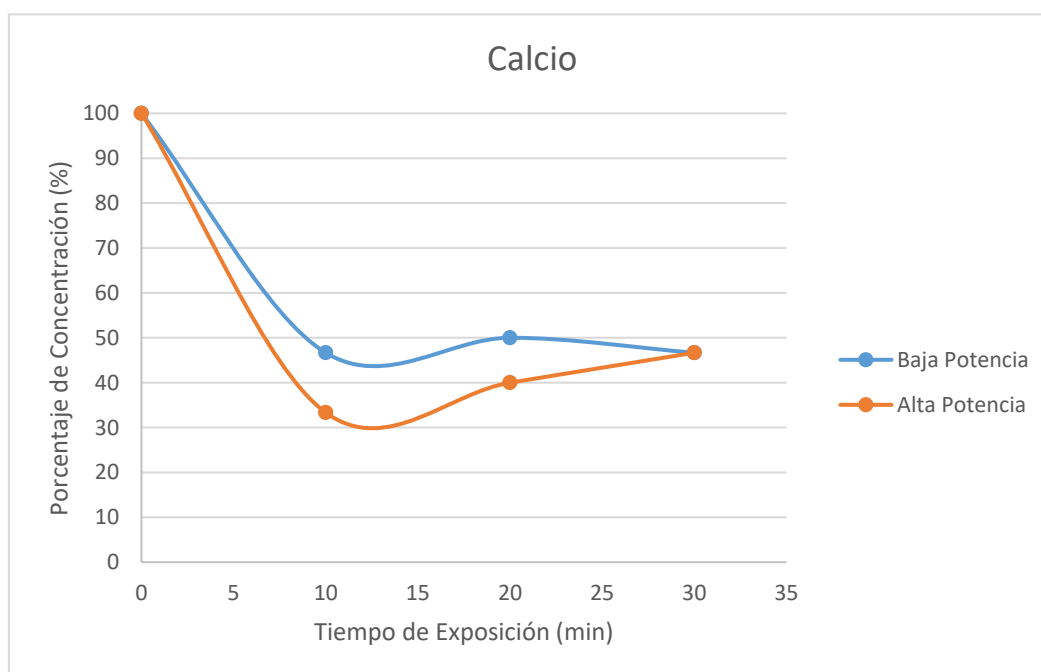
El comportamiento de la Dureza Total ya sea a baja y alta potencia responde a las ecuaciones mostradas anteriormente, por lo que se puede obtener una reducción de dureza a un tiempo determinado.

Las ecuaciones de dureza corresponden a ecuaciones de grado 2.

La Figura 30 muestra también como la potencia influye en la variación de la dureza total durante el tiempo en el que fue expuesta la muestra de agua. Se puede observar que la potencia alta tiene mayor incidencia en la reducción de este parámetro durante los primeros 20 minutos. La potencia eléctrica baja también muestra reducción, a pesar de ser menor. Sin embargo, al cabo de 30 minutos, ambas potencias llegan al mismo valor, el cual puede no ser el valor real para el caso de la alta potencia. Esto puede deberse a la falta de precisión en los equipos de medición o fallos humanos durante el proceso de obtención de la muestra o en la medición.

### 3.4.2.2. Influencia del tiempo de exposición en la variación del Calcio.

Tomando en cuenta que la Dureza Total está compuesta por Calcio. el comportamiento vendría a ser similar al establecido anteriormente. La Dureza también está compuesta por Magnesio, pero en este caso es mínima, lo que hace que la Dureza este definida por el Calcio mayormente.



*Figura 31.* Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Calcio en alta y baja potencia.

En la Figura 31 se tiene la misma pendiente abrupta en los primeros 10 minutos al igual que en la dureza. Las curvas son similares y su comportamiento es semejante, con la diferencia de que hay mayor reducción en potencia alta. En los primeros 10 minutos se obtuvo en ambos casos una reducción de calcio mayor al 50%.

En los análisis inferenciales del comportamiento en baja potencia se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Ca^{2+}(\frac{mg}{L}) = 0,0375t^2 - 1,595t + 29,05 ; R^2 = 0,9023 \quad (\text{Ecuación 9})$$

El coeficiente de determinación es muy cercano a 1, por lo que el modelo del Calcio es fiable tomando en cuenta una ecuación de segundo orden.

A su vez se obtuvo la ecuación entre el porcentaje de concentración y el tiempo de exposición para baja potencia que responde a la línea de tendencia de la Figura 31.

$$Ca^{2+}(\%) = 0,125t^2 - 5,3167t + 96,833 ; R^2 = 0,9023 \quad (\text{Ecuación 10})$$

En alta potencia el coeficiente de correlación es similar al de baja potencia, respondiendo a una línea de tendencia polinómica de segundo grado.

$$Ca^{2+}(\frac{mg}{L}) = 0,055t^2 - 2,11t + 28,9 ; R^2 = 0,9036 \quad (\text{Ecuación 11})$$

La línea de tendencia para alta frecuencia relacionando el porcentaje de concentración y el tiempo de exposición responde a la siguiente ecuación:

$$Ca^{2+}(\%) = 0,1833t^2 - 7,0333t + 96,33 ; R^2 = 0,9036 \quad (\text{Ecuación 12})$$

La influencia de la potencia es mayor a medida que se incrementa el nivel. Pero la diferencia es mayor durante los primeros 20 minutos de exposición, ya que al cabo de 30 minutos el valor de Calcio obtenido para ambas potencias es prácticamente el mismo. Tanto la Figura 30 como la Figura 31 muestran que a mayor tiempo de exposición se puede llegar a suprimir la diferencia de potencias, obteniendo valores similares de Dureza o Calcio para cualquier nivel de potencia.

### 3.4.2.3. Influencia del tiempo de exposición en la variación del Nitrato.

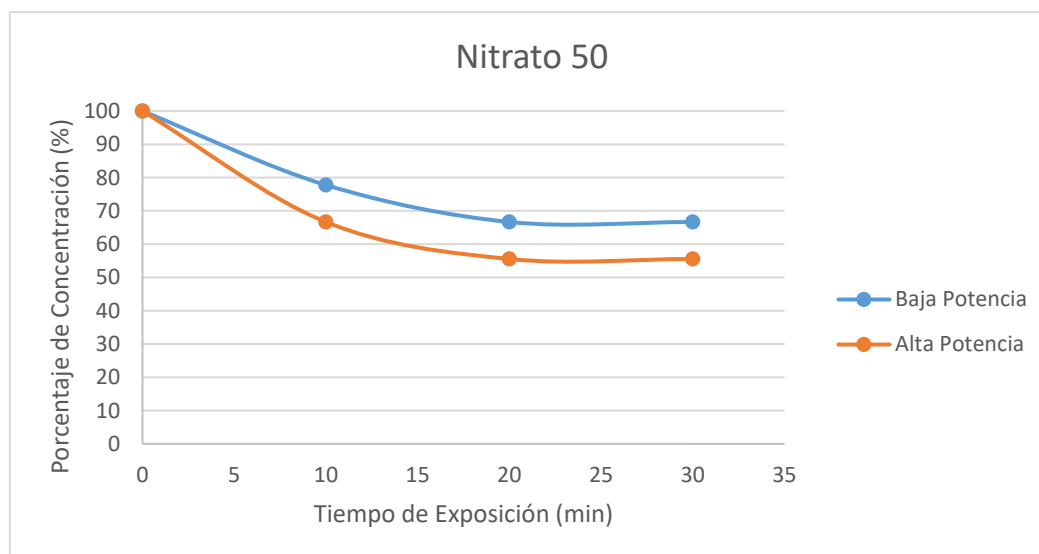


Figura 32. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrato en alta y baja potencia.

Se puede notar en la Figura 32 que las curvas tienen un comportamiento muy similar, con una diferencia aproximada de 11 % entre la curva de baja potencia con la de alta potencia. En primera instancia a los primeros 10 minutos decae en 23% y 33% en baja potencia y alta potencia respectivamente. Esta gráfica cumple con la hipótesis ya que, al aumentar el tiempo de exposición y la potencia, aumenta la reducción de concentración de Nitrato.

Las curvas responden a líneas de tendencia de segundo grado con  $R^2$  cercanos a 1. En este caso las ecuaciones de las líneas de tendencia también pueden ser lineales pero el  $R^2$  baja en 0,8 y 0,7 en baja y alta potencia respectivamente. Las ecuaciones son las siguientes:

$$NO_3^- \left(\frac{mg}{L}\right) = 0,0005t^2 - 0,025t + 0,9; R^2 = 1 \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$NO_3^- \left(\frac{mg}{L}\right) = 0,0008t^2 - 0,0355t + 0,895; R^2 = 0,9953 \quad (\text{Ecuación 14})$$

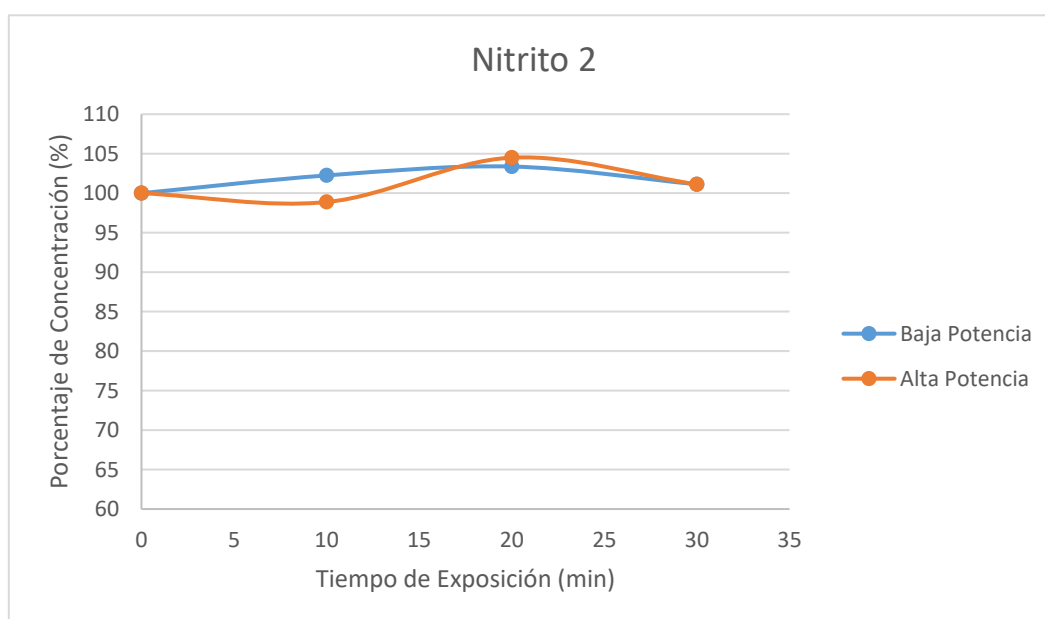
La ecuación 13 corresponde a la curva de baja potencia mientras que la ecuación 14 corresponde a potencia alta para el Nitrato.

Las líneas de tendencia relacionando el porcentaje de reducción que se ajustan a la Figura 32, corresponden en baja potencia con la ecuación 15 y en potencia alta en la ecuación 16.

$$NO_3^- (\%) = 0,0556t^2 - 2,778t + 100; R^2 = 1 \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$NO_3^- (\%) = 0,0833t^2 - 3,944t + 99,44; R^2 = 0,9953 \quad (\text{Ecuación 16})$$

#### 3.4.2.4. Influencia del tiempo de exposición en la variación del Nitrito.

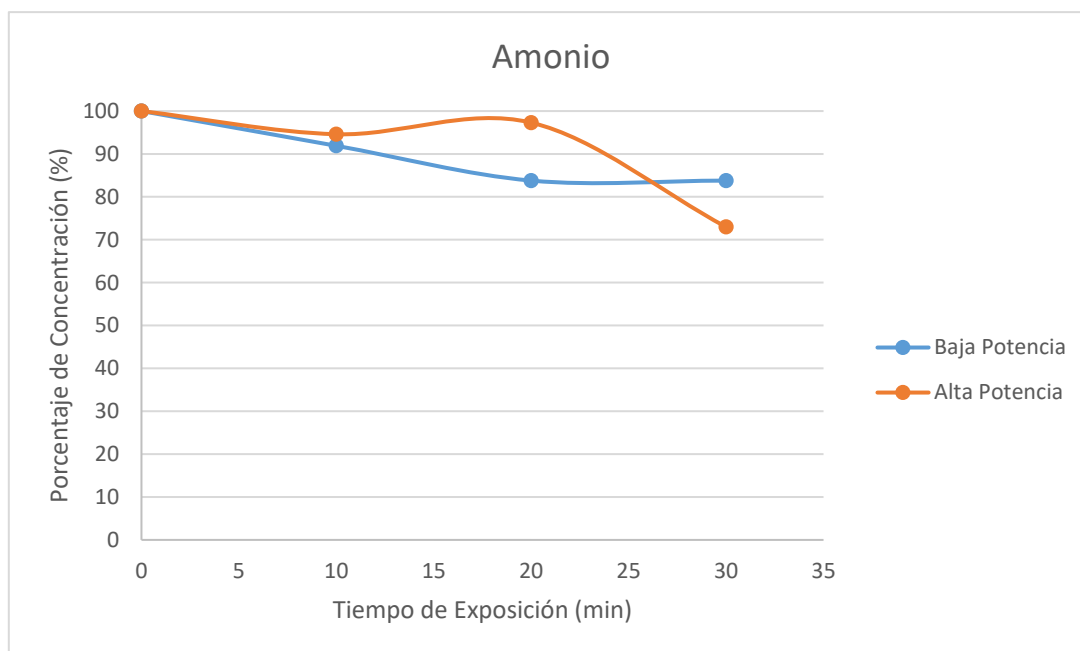


*Figura 33.* Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrito en alta y baja potencia.

En este caso el tiempo de exposición no es determinante para la reducción, ya que no existe un cambio significativo de más del 10% o 20% de reducción. Esto quiere decir que las variaciones encontradas pueden ser por errores de medición o por error del equipo de medición. En este caso no se realizará un análisis inferencial ya que, al ser valores muy pequeños y curvas tan diferentes, se obtendrían coeficientes con exponentes negativos, debido a los que son valores muy pequeños. Se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 33.



### 3.4.2.5. Influencia del tiempo de exposición en la variación del Amonio.



*Figura 34.* Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de Amonio en alta y baja potencia.

Existe una relación con el tiempo de exposición y el amonio tomando en cuenta que en alta potencia existe un incremento del 4% después de haber bajado 7% en los primeros 10 minutos y con una reducción a los 30 minutos del 28% del blanco. Por otro lado, en baja potencia se tiene una disminución máxima de 17% aproximadamente a los 20 minutos sin existir reducción a hasta los 30 minutos. Todo esto se aprecia mejor en la Figura 34.

Además, en el análisis numérico se tiene que ambas ecuaciones cumplen con ecuaciones de segundo grado, ya que su  $R^2$  es mayor a 0,85 para estos casos. La curva de baja potencia puede ajustarse con una ecuación lineal con un  $R^2$  de 0,89, pero ya que ambas curvas responden mejor a una ecuación cuadrática se optó por ecuaciones de segundo grado.

$$NH_4^+ \left( \frac{mg}{L} \right) = 0,0008t^2 - 0,0435t + 3,715; R^2 = 0,9818 \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$NH_4^+ \left( \frac{mg}{L} \right) = -0,0018t^2 + 0,0235t + 3,635; R^2 = 0,8653 \quad (\text{Ecuación 18})$$

La ecuación 17 corresponde a la línea de tendencia de la curva de baja potencia. La ecuación 18 corresponde a la línea de tendencia de la curva de alta potencia, La particularidad de esta ecuación es que el signo del coeficiente de la variable cuadrática es negativo, por lo que se puede deducir que tiene un comportamiento cóncavo.

Las ecuaciones con respecto a la reducción en porcentaje y el tiempo de exposición corresponden a la Figura 34 para baja y alta potencia respectivamente.

$$NH_4^+(\%) = 0,0203t^2 - 1,1757t + 100,41; R^2 = 0,9818 \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$NH_4^+(\%) = -0,0473t^2 + 0,6351t + 98,243; R^2 = 0,8653 \quad (\text{Ecuación 20})$$

En cuanto a la potencia, este parámetro indica una relación directa tanto del tiempo como del nivel de potencia para conseguir mayor reducción. La disminución provocada por la baja potencia no presenta variaciones bruscas. Por otro lado, la potencia alta muestra mayores niveles de reducción cuanto más tiempo es expuesta la muestra.

### 3.4.2.5. Influencia del tiempo de exposición en la variación del DQO.

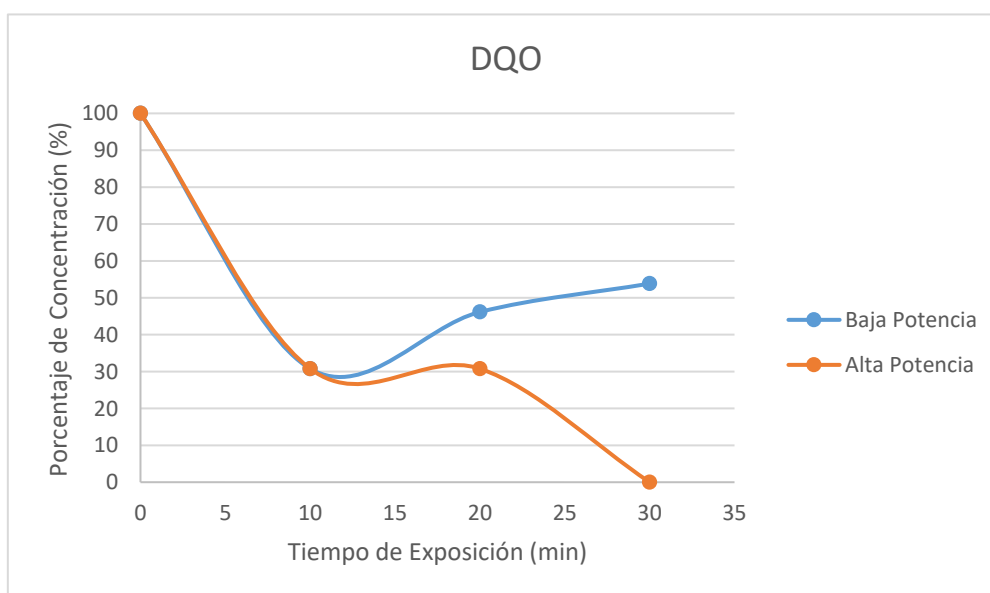


Figura 35. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de DQO en alta y baja potencia.

Tomando en cuenta cada una de las potencias y el primer tiempo de muestra (10 min.), ambas potencias tienen una reducción aproximada de 70 %. Aun así, se puede determinar que a mayor cantidad de tiempo de exposición (30 min.) de alta potencia, existe una reducción total con respecto al blanco. Al contrario, la baja potencia después de su máxima reducción, vuelve a tener un aumento de un 20 % aproximado con respecto a la reducción provocada a los 10 minutos.

Al realizar la regresión simple, se corresponden con ecuaciones de segundo grado para obtener un valor más cercano a uno de coeficiente de determinación. Las ecuaciones que cumplen con la Figura 35 y con el experimento son las siguientes:

$$DQO \left(\frac{mg}{L}\right) = 0,025t^2 - 0,91t + 12,4; R^2 = 0,84 \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$DQO \left(\frac{mg}{L}\right) = 0,0125t^2 - 0,765t + 12,35; R^2 = 0,9069 \quad (\text{Ecuación 22})$$

Como se puede notar la ecuación 21 corresponde a la gráfica de baja potencia y su tendencia tiene menor fiabilidad con respecto a la de alta potencia que corresponde con la ecuación de tendencia (Ecuación 22).

Las ecuaciones que relacionan el porcentaje de reducción y el tiempo de exposición están definidas por las líneas de tendencia que se ajustan a las curvas de baja potencia y alta potencia en la Figura 35 respectivamente.

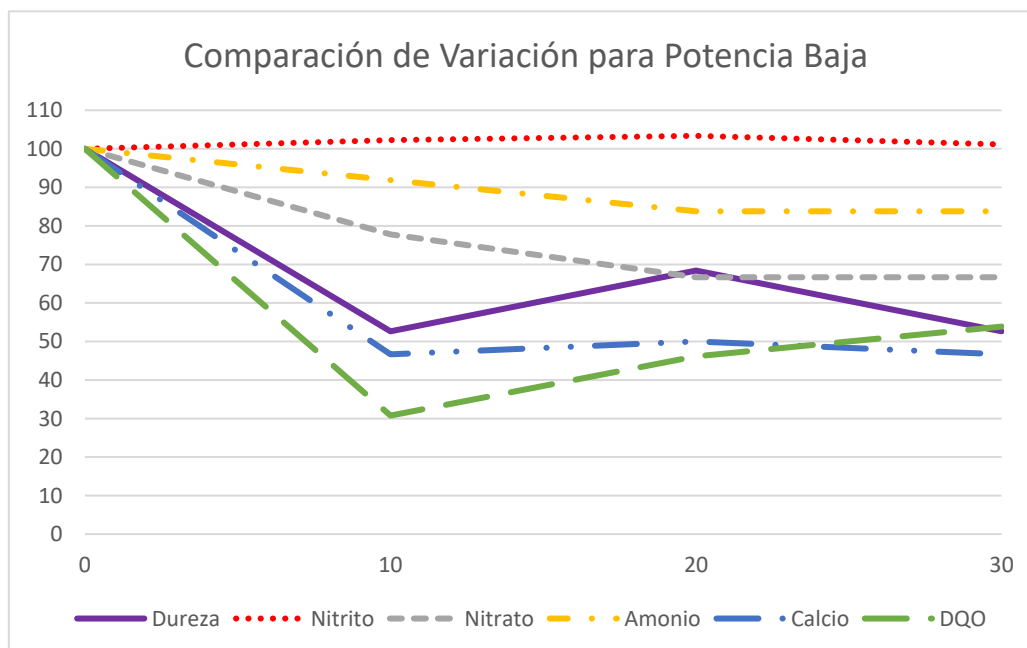
$$DQO (\%) = 0,1923t^2 - 0,7t + 95,385; R^2 = 0,84 \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$DQO (\%) = 0,0962t^2 - 5,8846t + 95; R^2 = 0,9069 \quad (\text{Ecuación 24})$$

Las ecuaciones están determinadas en ecuaciones de segundo grado, debido a que se obtuvo un  $R^2$  fiable.

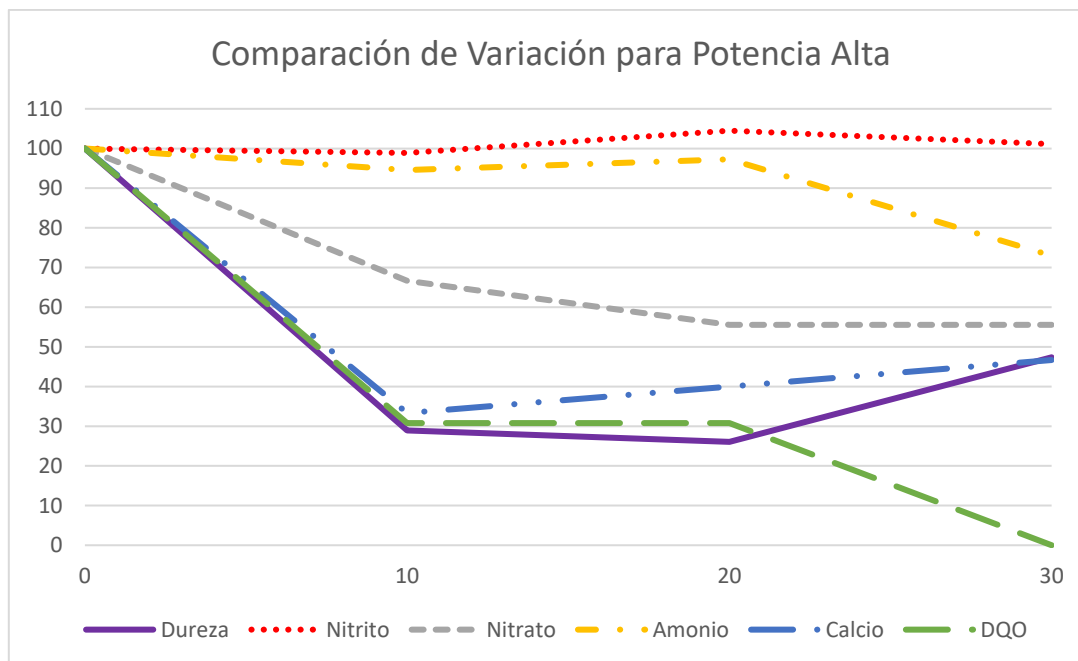
\* *Nota:* Las ecuaciones expuestas están en función del tiempo en minutos (min).

### 3.4.3. Análisis comparativo de las variaciones presentes en las mediciones de los parámetros medidos.



*Figura 36.* Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de baja potencia.

La Figura 36 resume los resultados obtenidos durante la exposición de la muestra a potencia baja y los compara. Gracias a esta figura se puede apreciar la viabilidad para la reducción de impurezas en el agua mediante sonidos producidos por cuencos tibetanos. Casos como el Nitrato, el Amonio y el Calcio presentan reducción de concentraciones más controladas, con fluctuaciones mínimas y resultados más estables. La dureza y el DQO en cambio muestran incrementos un tanto desconcertantes, capaces de ser explicados por su naturaleza química. Por otro lado, el Nitrito prácticamente no varía, conclusión obtenida durante su análisis en el apartado anterior.



*Figura 37.* Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de potencia alta.

También tenemos el caso de las variaciones medidas durante la exposición a potencia alta. La Figura 37 muestra fluctuaciones más drásticas que las presentes en la Figura 36. En la mayoría de casos las reducciones son más pronunciadas, con la excepción del Nitrito y el Amonio. El comportamiento del Nitrito se mantiene recio a variar, mientras que el Amonio presenta una reducción pequeña hasta los 20 minutos para luego terminar en una concentración del 73% en relación al blanco a los 30 minutos de exposición. También el Nitrato mantiene su comportamiento, con la diferencia de que la reducción es 11% mayor que el medido para baja potencia. El Calcio y la dureza demuestran su relación la una con la otra mediante reducciones similares y llegando ambas a una concentración final del 47%. Finalmente, el DQO presenta mejores resultados al ser expuesto a potencia alta, consiguiendo eliminar por completo este parámetro del agua sintetizada.

#### 4. CAPÍTULO IV. PROYECCIONES.

El trabajo de investigación realizado evidenció la disminución de las concentraciones de ciertos componentes que fueron analizados a lo largo de la investigación. Este análisis corroboró que el agua presenta variación en sus concentraciones químicas ante un estímulo sonoro, como fue el caso presentado en la publicación de Hiratsuka et al. (2014).

La disminución de los porcentajes de concentración se presume, fueron producidos por efecto de cavitación acústica (que no fue evidenciado en el ensayo). Para futuras investigaciones se puede realizar esta metodología analizando si el fenómeno está presente, con los equipos adecuados para medir ya sea, la dimensión del radio de la burbuja (si esta existe) o analizar el por qué se producen las variaciones en las concentraciones.

Otra manera de comprobar la existencia de cavitación acústica es obteniendo el nivel de energía acústica emitido en este experimento y compararlo con el umbral de Blake. Para ello sería necesario encontrar el valor del rendimiento que posea el altavoz utilizado en el experimento (cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo 1 de este documento) y relacionándolo con la potencia eléctrica medida.

El tiempo de exposición determinado en el experimento reveló que a los primeros 10 minutos existe una reducción abrupta, por lo que para aplicaciones prácticas se puede aprovechar el tratamiento durante este rango. Se espera poder contar con intervalos de tiempo más reducidos, menores a los realizados a esta investigación.

Si existen los insumos necesarios y la disponibilidad de equipos de medición de mayor precisión y exactitud, es recomendable tomar muestras minuto a minuto. Esto permitirá en el futuro, en nuevas investigaciones, obtener la suficiente información para validar las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo, así como realizar un análisis estadístico a fondo para proponer e investigar otros modelos que ayuden a obtener una mejor predicción del comportamiento de variación.

En el presente caso de estudio, se realizó la exposición a dos potencias, alta y baja, obteniendo resultados mostrados en el capítulo 3 de este documento. Para

corroborar esta investigación se propone realizar la exposición con más variaciones de potencia. Estos resultados permitirán visualizar la influencia de la potencia en la reducción de las concentraciones y modelar un comportamiento dependiente de la misma.

El análisis deberá continuar con la investigación de mayor cantidad de frecuencias del rango audible, ya que en este caso se utilizaron una mayor cantidad de frecuencias bajas. Se pueden realizar investigaciones con cuencos que se concentren tanto en frecuencias medias y en altas frecuencias. De esta manera, se pueden obtener resultados los cuales se puedan comparar con los expuestos anteriormente y así poder determinar, si también la frecuencia a la que es expuesta influye en la cantidad de variación de concentración.

Los resultados obtenidos en esta investigación no pueden ser considerados para efectos prácticos. Es necesario más desarrollo en el diseño del prototipo de tal manera que se pueda llevar el proceso recreado en este proyecto a una escala mayor. Ya que las muestras no redujeron significativamente el volumen de agua presente en el recipiente (1 litro), no es posible asegurar que las concentraciones tendrán el mismo efecto para diferentes cantidades de agua a tratar.

Es por ello que se puede proyectar a realizar análisis comparativos entre los tratamientos de agua tradicionales con aquellos en los que se involucre el ultrasonido o los que intenta encaminar esta investigación. De esta manera poder obtener una combinación efectiva que permita optimizar tiempo, dinero y recursos varios.

A mayor escala se propone un estudio para utilizar este tipo de prácticas alternativas para la reutilización de agua. Es decir, implementar este método en cada uno de los tratamientos convencionales ya sea para el tratamiento de agua residual doméstica, potabilización de agua y en el tratamiento de agua residual industrial. Por lo cual se debe realizar comparaciones con la normativa ecuatoriana (TULSMA, 2015) y otras fuentes de cuáles son los límites permisibles, tomando en cuenta cada los parámetros medidos. Por otra parte, existen varios tipos de parámetros ya sea de descarga o uso del agua.

Uno de los parámetros presentes en la normativa es el DQO, el cual está regulado para el consumo humano. El límite permisible para este componente es <4 mg/l. A su vez la utilización para la descarga en cuerpos de agua dulce es de 200 mg/l mientras que, para la preservación de vida marina, el valor más alto que puede tener el DQO es de 600 mg/l. En esta investigación se consigue una eliminación del 100% para este parámetro, el cual según la TULSMA (2015) puede ser beneficioso para consumo humano, más no para preservación de vida marina.

Otro de los parámetros presentes en la normativa es el pH, el cual en todos los casos anteriormente expuestos debe estar dentro del rango de 6-9. En esta investigación, el agua sintetizada tuvo un pH de 10 para la segunda etapa y 9 para la etapa final de experimentación.

En cuanto al Amonio, componente cuyo comportamiento también fue estudiado, la norma TULSMA (2015) indica valores en función del nivel de pH y la temperatura del agua. Esto se debe a que su nivel de concentración se ve afectado por ambos parámetros. Solo se encuentran valores permisibles para el apartado de preservación de vida marina, ya que es común encontrar este componente en desechos animales tanto marinos como terrestres o aéreos (Campbell & Reece, 2005). La norma indica valores de entre 0,067 a 0,024 mg/l correspondiente al pH obtenido en el experimento, mientras que los obtenidos son: 2,7 y 3,1 mg/l.

También cabe mencionar los valores para Nitratos y Nitritos. En el experimento no se observa variación contundente de Nitritos. Los valores de Nitritos descritos en la TULSMA (2015) no deben superar los 0,2 mg/l, tanto para consumo doméstico como para preservación de vida marina. En cambio, para los Nitratos el valor no puede superar los 50 mg/l para consumo doméstico, 13 mg/l para preservación de vida en agua dulce y 200 mg/l para preservación de vida en agua marina. Inicialmente las concentraciones implementadas en el agua sintetizada se encuentran por debajo de estos valores, provocando que tras finalizar el experimento la concentración no supere el límite.



La dureza total no es un elemento que se encuentra en la norma. Según la OMS (2015) la dureza no es perjudicial para el uso humano tenga o no valores altos o bajos de la misma. Según AQUASAIN (s.f.) el beber agua con 50° de dureza es saludable, aunque el sabor de la misma empieza a ser desagradable.

El calcio y el magnesio están directamente relacionados con la dureza del agua y al ser elementos no perjudiciales para la salud, no son tomados en cuenta por la TULSMA y no poseen valores límites.

Finalmente, toda la información proporcionada demuestra que el agua sintetizada no puede ser encasillada en un tipo específico de agua. Sin embargo, los resultados permiten que el tratamiento por sonido pueda ser viable para más de un tipo de tratamiento de agua existente.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1. Conclusiones.

Los resultados en esta experimentación mostraron que el tratamiento utilizando señales de audio provenientes de cuencos tibetanos puede ser posible, para la mayoría de componentes químicos presentes en la muestra sintetizada. A pesar de no siempre presentan reducción, se mantuvo un comportamiento homogéneo entre los parámetros al momento de exponerlos al tratamiento.

Al ser una señal de audio compuesta por un espectro frecuencial amplio, se realizó el análisis de potencia de manera más general. A pesar de ello se consiguió obtener resultados capaces de validar la hipótesis. El diseño del prototipo ayudó en gran medida a que la mayor cantidad de energía radiada por el estímulo sonoro provoque variación para el análisis químico realizado, ya que la muestra de agua está expuesta directamente por las ondas sonoras.

En cuanto al nivel de concentración medido, se pudo observar que existía variación en casi todos los parámetros. El pH fue el único valor que no presento cambios significativos ya que el método de medición en la segunda y tercera etapa no permitía una aproximación decimal.

En el caso del Nitrito, los cambios de concentración no indicaban una reducción y, además su nivel no superaba el 5% de diferencia con respecto al medido en el blanco. Este fenómeno puede deberse a las características del equipo de medición utilizado para el parámetro, condiciones humanas, factores ambientales u otros.

Por otro lado, se consiguieron reducciones en el nivel de concentración de más del 40%, 50% y hasta del 100%. El DQO fue el único parámetro que llegó a eliminarse por completo en una etapa específica del experimento, según la normativa entre más bajo el valor del DQO existe mayor calidad de agua. También el Nitrato y el Calcio consiguieron reducciones significativas (>40%). La muestra sintetizada en la segunda y tercera etapa demostró que su dureza total estaba determinada por la concentración de Calcio, ya que los valores de Magnesio calculados fueron prácticamente nulos.

Los resultados del Nitrato mostraron que el tiempo de exposición se relacionaba con la cantidad de reducción presentada en las muestras tomadas tanto para potencia baja como para potencia alta. Mientras que los demás parámetros medidos solo presentaban mayor reducción para el caso de potencia alta. Los niveles de concentración medidos en potencia baja tendían a incrementarse con el paso del tiempo después de haberse producido una reducción. Por el contrario, los valores obtenidos durante la exposición a alta potencia no varían (Nitrato, Dureza y Calcio) a medida que pasa el tiempo, e incluso continúan disminuyendo (DQO, Amonio).

Los resultados concluyentes fueron obtenidos tras la exposición al tema “Primer Chakra”, compuesto mayormente por frecuencias bajas. Esto indica que este rango de frecuencias puede ser utilizado como alternativa para la sonoquímica.

A partir de los datos se requiere profundizar la investigación respecto al tratamiento de agua mediante sonido producido con componentes frecuenciales dentro del rango audible. Esta investigación procura generar un punto de partida capaz de provocar mayor indagación en el tema.

## **5.2. Recomendaciones.**

Para realizar este tipo de experimentos, se debe mantener un ambiente con condiciones controladas. Para los casos en el que se desee repetir el experimento y no se disponga de un laboratorio capaz de recrear las mismas condiciones anteriores, es prudente llevar un registro de la hora y la temperatura en las que se realizó. Es importante cuidar que estos elementos no influyan significativamente en los resultados, para tener un proceso estable y unas conclusiones objetivas.

Se debe conocer las capacidades de los equipos a utilizar durante la investigación, esto es rango máximo y mínimo de lectura, parámetros disponibles, tiempo que requiere realizar la medición y el proceso que involucre. Conociendo estas características se puede prever una lectura de manera teórica e ingresar una cantidad de concentración específica, que permita un resultado lo más confiable posible.

Se sugiere continuar la investigación incluyendo mayor discreción en el tiempo y más variedad de potencias, para así poder validar las ecuaciones obtenidas en este proyecto. De ser el caso, emular el experimento en una escala mayor, la cual sea capaz de simular el entorno práctico al que sería sometido.

## REFERENCIAS.

- Admin, W. (2014). Funcionamiento de una ETAP – Aguas de Torre del campo. Recuperado el 09 de noviembre de 2016, de <http://www.aguasdetorredelcampo.com/funcionamiento-de-una-etap/>
- AQF Desarrollo, (s.f). Concierto para los siete Chakras. Recuperado el 18 de octubre de 2016, de <http://www.aqfdesarrollo.com/buddhamoon/index.php?page=5-3>
- AQF Desarrollo, (s.f). Un Poco de historia acerca de los cuencos. Recuperado el 22 de octubre de 2016, de <http://www.aqfdesarrollo.com/buddhamoon/index.php?page=5-1>
- AQUASAIN, (s.f). Es malo beber agua dura o con altos contenidos de Calcio y Magnesio. Recuperado el 17 de enero de 2017, de <https://www.aquasain.com/malo-beber-agua-dura-altos-contenidos-calcio-magnesio/>
- ASALE, R. (s.f). Hormona. Recuperado el 28 de octubre de 2016, de <http://www.dle.rae.es/?id=KfGUs55>
- Beranek, L. L., & Mellow, T. J. (2012). Acoustics: Sound fields and transducers. Oxford: Academic.
- Blume, T. (2004). "Improved Wastewater Disinfection by Ultrasonic Pre-treatment." Ultrasonics Sonochemistry.
- Calderón, C. M. (2000). Identificación y descripción de los sistemas secundarios para el tratamiento de Aguas residuales. México: SEMARNAT.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2005). Biology. San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings.
- Canal de Isabel II Gestión. (2012). Ciclo integral del agua Tratamiento del agua potable. Madrid, España.
- CEPIS, (2002). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Lima, Perú.

- CUENCOS TIBETANOS. (2015). Concierto Para Los siete Chakras. Recuperado el 25 de octubre de 2016, de <http://byron2mccconnell82.jimdo.com/2015/06/25/cuencos-tibetanos-concierto-para-los-siete-chakras/>
- Emoto M. (s.f). Masaru Emoto. Recuperado el 29 de mayo de 2016 de <http://www.masaru-emoto.net/english/water-crystal.html>
- Fernández-Alba, A. R. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid: CEIM.
- García, L. (2016). Cómo usar el cuenco tibetano y para qué sirve. Recuperado el 25 de octubre de 2016, de <http://www.natursan.net/como-usar-el-cuenco-tibetano-y-para-que-sirve/>
- García, L. (2016). Los 7 Chakras: Qué son, dónde se encuentran y qué piedras son útiles. Recuperado el 28 de octubre de 2016, de <http://www.natursan.net/los-7-chakras-que-son-donde-se-encuentran-y-que-piedras-son-utiles/>
- Giraldo, M. I. A., & López, M. R. (2010). Music Therapy and Acoustic Engineering: a first approach. La Musicoterapia y la Ingeniería acústica: un primer acercamiento.
- Heredia J. (2016). ¿Qué es la Cuencoterapia? Recuperado el 22 de octubre de 2016, de <http://www.analitica.com/bienestar/que-es-la-cuencoterapia/>
- Hiratsuka, A., Yugo T., Yoshiro Y., & Ryoji T. (2014). "Improvement of Water and Wastewater Treatment Process Using Various Sound Waves—A Consideration de the Viewpoint of Frequency." JWARP Journal of Water Resource and Protection.
- Info Huévar, (2014). La dureza del agua en la vida diaria. Recuperado el 17 de enero de 2017, de <http://www.infohuevar.es/2014/10/28/la-dureza-del-agua-en-la-vida-diaria/>
- Joyce, E., Phull, J., & Mason T.j. (2003). "The Development and Evaluation of Ultrasound for the Treatment of Bacterial Suspensions. A Study of

Frequency, Power and Sonication Time on Cultured Bacillus Species." Ultrasonics Sonochemistry.

Llop, Y. (2013). "Los Cuencos Tibetanos Y Su Don Curativo." Suite101. España.

López, P. (s.f). Parte líquida de la tierra Hidrosfera. Recuperado el 09 de noviembre de 2016, de <http://www.slideplayer.es/slide/1120088/>

Luo, J., Fang, Z., Smith Jr, R. L., & Qi, X. (2015). Fundamentals of Acoustic Cavitation in Sonochemistry. In Production of Biofuels and Chemicals with Ultrasound. Springer Netherlands.

Mason, T.j., E. Joyce, S.s. Phull, & Lorimer J. (2003). "Potential Uses of Ultrasound in the Biological Decontamination of Water." Ultrasonics Sonochemistry.

Organización Mundial De La Salud. (s.f). Agua. Recuperado el 29 de mayo de 2016, de <http://www.who.int/topics/water/es/>

Oropeza Burelo, V. M. (2004). Parque Reserva, Península del Carrizal. Tesis Licenciatura. Arquitectura. Departamento de Arquitectura, Escuela de Artes y Humanidades, Universidad de las Américas Puebla.

Pérez, F., Camacho, K. (2011). "Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas." Tuxpan, México.

Phull, S.s., A.p. Newman, J.p. Lorimer, B. Pollet, & Mason T.j. (1997). "The Development and Evaluation of Ultrasound in the Biocidal Treatment of Water." Ultrasonics Sonochemistry.

Radin, D., Lund, N., Emoto, M., & Kizu, T. (2008). Effects of distant intention on water crystal formation: A triple-blind replication. Journal of Scientific Exploration.

Sacks, O. (1983). The origin of "Awakenings". British medical journal (Clinical research ed.

Suslick, K. S. (2005). Sonochemistry. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. Recuperado el 29 de mayo de 2016, de doi:10.1002/0471740039.vec2346.

- Thaut, M. H., McIntosh, G. C., & Rice, R. R. (1997). Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *Journal of the neurological sciences*.
- Vaca, M., Magdaleno, L., Sosa, M., Monroy, M., & Jiménez, B. (1996). Tratamiento terciario de aguas residuales por filtración e intercambio iónico. In Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS.
- Zain J., Farina A. (2012). “El uso de cuencos tibetanos como recurso vibroacústico en Musicoterapia Receptiva”. *As Diferentes Abordagens da Música em Musicoterapia*.
- Zárate D, Patricia, & Díaz T, Violeta. (2001). Aplicaciones de la musicoterapia en la medicina. *Revista médica de Chile*. Recuperado de 29 de mayo de 2016, de <https://www.dx.doi.org/10.4067/S0034-98872001000200015>.



## **ANEXOS.**

**Anexo 1: Detalle de altavoz y amplificador a utilizar.**

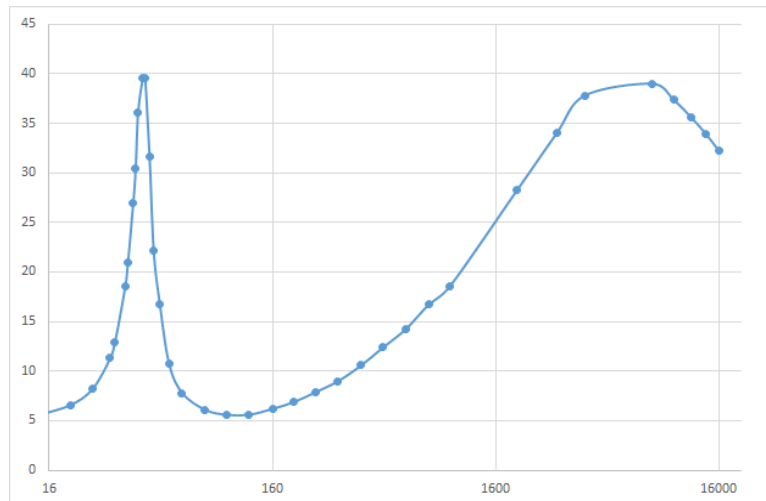
Tabla 22.

Parámetros del altavoz otorgados por el fabricante

<b><math>Q_{Ts}</math></b>	0,56
<b><math>F_s</math></b>	37 Hz
<b><math>V_{as}</math></b>	65,57 litros
<b><math>X_{max}</math></b>	0,008 m.
<b><math>Z</math></b>	4 ohms



*Figura 38.* Altavoz Boschmann V-1240 XYB



*Figura 39.* Gráfico de impedancia del altavoz Boschmann, medido artesanalmente.

Tabla 23.

Parámetros del amplificador otorgados por el fabricante.



Figura 40. Amplificador Acoustic PP-449-II

<b>Potencia peak (4 ohms)</b>	140 w (por canal)
<b>Bridge (4 ohms)</b>	320 w (por canal)
<b>In</b>	4
<b>Outs</b>	4 / 2 en bridge

**Anexo 2: Detalle del espectrofotómetro utilizado para la medición de concentraciones presentes en el agua.**



*Figura 41. Espectrofotómetro Nanocolor UV/VIS II.*

Tabla 24.

Especificaciones del espectrofotómetro.

<b>Tipo:</b>	Espectrofotómetro con tecnología de detector de referencia (RDT)
<b>Fuentes de luz:</b>	lámpara halógena (rango visible) y la lámpara de deuterio (rango UV)
<b>Sistema óptico:</b>	monocromador
<b>Rango de longitud de onda:</b>	190-1100 nm
<b>Precisión Longitud de onda:</b>	± 1 nm
<b>Resolución de longitud de onda:</b>	0,1 nm
<b>Calibración de longitud de onda:</b>	Automático
<b>La selección de longitud de onda:</b>	Automático, código de barras, manual
<b>Velocidad de escaneado:</b>	900 nm o 1 exploración completa en menos de 1 minuto
<b>Ancho de banda espectral:</b>	2 nm
<b>Rango fotométrico:</b>	± 3,0 E en el rango de longitud de onda 200-900 nm

<b>Precisión fotométrica:</b>	0.005 E a E 0.0-0.5; 1% a 0,5-2,0 E
<b>Linealidad fotométrica:</b>	<0,5% a 2 E; ≤ 1% a > 2 E
<b>Luz extraviada:</b>	<0,05%
<b>Modos de medición:</b>	Más de 200 pruebas preprogramadas, 100 métodos opcionalmente programables, absorción, transmisión, factor, cinética, calibración de 2 puntos, exploración, medición de turbidez nefelométricas
<b>Medición de la turbidez:</b>	medición de la turbidez nefelométrica, 0,1-1000 NTU
<b>Soporte de la cubeta:</b>	Tubos de ensayo de 16 mm de diámetro exterior, cubetas rectangulares 2, 10, 20, 40, 50 mm
<b>Memoria de datos:</b>	tarjeta de 16 GB Micro SDHC, 5000 conjuntos de datos medidos / 100 espectros, el GLP se ajustan
<b>Monitor:</b>	pantalla de alta definición, cubierta de vidrio antirreflectante con la pantalla táctil capacitiva proyectada (PCAP) y la iluminación de fondo
<b>Operación:</b>	La tecnología de código de barras, basado en iconos guía de menú, la pantalla táctil
<b>Idiomas:</b>	DE / EN / FR / ES / IT / PT / NL / PL / HU / CZ
<b>La luz externa:</b>	Insensible, ranura cubeta abierta
<b>Interfaces:</b>	LAN, 2 x USB (host) 1 x USB (Función) y RS 232
<b>Actualizar:</b>	A través de Internet / PC y memoria USB
<b>Rango de operación:</b>	10-40 ° C, máx. 80% de humedad relativa (sin condensación)
<b>Fuente de alimentación:</b>	110-240 V, ~ 50/60 Hz
<b>Dimensiones L / W / H:</b>	400/440/170 mm
<b>Peso:</b>	6,5 kg

### Anexo 3: Determinación fotométrica de la dureza total (Calcio + Magnesio).

REF 985 043	es
<b>Test 0-43</b>	<b>01.10</b>
<b>NANOCOLOR<sup>®</sup></b>	<b>Dureza 20 (calcio + magnesio)</b>

#### Método:

Determinación fotométrica de la dureza total mediante púrpura ftaleína. Con la utilización de un reactivo marcador selectivo, se puede diferenciar entre calcio y magnesio.

Rango:	1,0 - 20,0 °d	5 - 50 mg/l Mg <sup>2+</sup>	10 - 100 mg/l Ca <sup>2+</sup>
Factor:	no lineal		
Longitud de onda (HW = 5-12 nm):	540 nm		
Tiempo de reacción:	1 min		
Temperatura de reacción:	20-25 °C		

#### Contenido del kit de reactivos:

20 tubos de test de Dureza 20	1 tubo de plástico con 5 ml de Dureza 20 R3
1 tubo de NANOFIX Dureza 20 R2	1 tubo de test con solución neutra "NULL"

#### Precauciones de seguridad:

Estos tubos de test no contienen ninguna sustancia peligrosa de obligada señalización.

#### Interferencias:

Los iones cobre(II) > 5 mg/l interfieren con la determinación.

El método es aplicable también para el análisis de aguas marinas tras dilución (1:30).

#### Advertencia:

*Concentraciones fuera del doble rango de medición pueden simular resultados situados dentro del rango de medición, y ser con ello interpretados erróneamente. Diluir la muestra previamente hasta regularla al rango del test. En el caso de aguas de concentración desconocida, como medida de seguridad se recomienda realizar el test con diluciones muy distintas, hasta que la última dilución confirme el valor previo.*

#### Procedimiento:

Accesorios requeridos: pipeta de émbolo con puntas

<b>Determinación de la dureza total (método (0)431 – (0)434)</b>
Abrir el tubo de test. Añadir <b>1 NANOFIX R2</b> , cerrar y agitar intensamente. <i>(Cerrar el tubo de NANOFIX inmediatamente después de la adición.)</i> Después de 2 min abrir el tubo de nuevo, añadir <b>200 µl</b> (= 0,2 ml) de solución de muestra <i>(el valor del pH de la muestra debe estar situado entre pH 4 y 9)</i> , cerrar y mezclar. Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después 1 min.
<b>Determinación del calcio (método (0)435)</b>
Llevar el "valor dureza total" al fotómetro y regular éste a cero. Abrir el tubo de test de nuevo. Añadir <b>200 µl</b> (= 0,2 ml) de R3, cerrar y mezclar. Limpiar el tubo de test por la parte exterior y medir después 1 min.
<b>Determinación del magnesio (método (0)436)</b>
Llevar el "valor calcio" al fotómetro y medir.

**Medición:**

Para fotómetros *NANOCOLOR*<sup>®</sup> y PF-11 ver el manual, test 0-43.

Si el método en su fotómetro no se encuentra programado, seleccione el método "extinción" y mida. Con la extinción puede leerse el porcentaje de la dureza de las tablas de valores. Los valores intermedios pueden interpolarse.

**Tablas de valores para fotómetros *NANOCOLOR*<sup>®</sup> (540 nm) y PF-10/PF-11 (filtro 4):**

**1. lectura: dureza total**

E (540 nm)	E (filtro 4)	°d	mmol/l	E (540 nm)	E (filtro 4)	°d	mmol/l
0.207	0.139	1,0	0,18	0.633	0.436	11,0	1,96
0.247	0.175	2,0	0,36	0.678	0.460	12,0	2,14
0.287	0.210	3,0	0,54	0.722	0.484	13,0	2,32
0.328	0.242	4,0	0,71	0.766	0.507	14,0	2,49
0.370	0.274	5,0	0,89	0.809	0.529	15,0	2,67
0.413	0.303	6,0	1,07	0.852	0.551	16,0	2,85
0.456	0.332	7,0	1,25	0.894	0.572	17,0	3,03
0.500	0.359	8,0	1,43	0.935	0.594	18,0	3,21
0.544	0.386	9,0	1,61	0.975	0.614	19,0	3,39
0.589	0.411	10,0	1,78	1.015	0.634	20,0	3,56

**2. lectura: magnesio**

E (540 nm)	E (filtro 4)	mg/l Mg	mmol/l Mg	E (540 nm)	E (filtro 4)	mg/l Mg	mmol/l Mg
0.189	0.143	5	0,21	0.336	0.244	30	1,23
0.218	0.163	10	0,41	0.366	0.263	35	1,44
0.247	0.184	15	0,62	0.397	0.283	40	1,65
0.276	0.204	20	0,82	0.427	0.303	45	1,85
0.306	0.224	25	1,03	0.459	0.322	50	2,06

**3. Cálculo: calcio**

mg/l calcio = [1. lectura dureza total en mmol/l – 2. lectura magnesio en mmol/l] × 40,1

**Medición cuando las muestras son coloreadas o turbias:**

Para todos los fotómetros *NANOCOLOR*<sup>®</sup> consulte el manual, capítulo 5.11. Utilice la tecla de corrección.

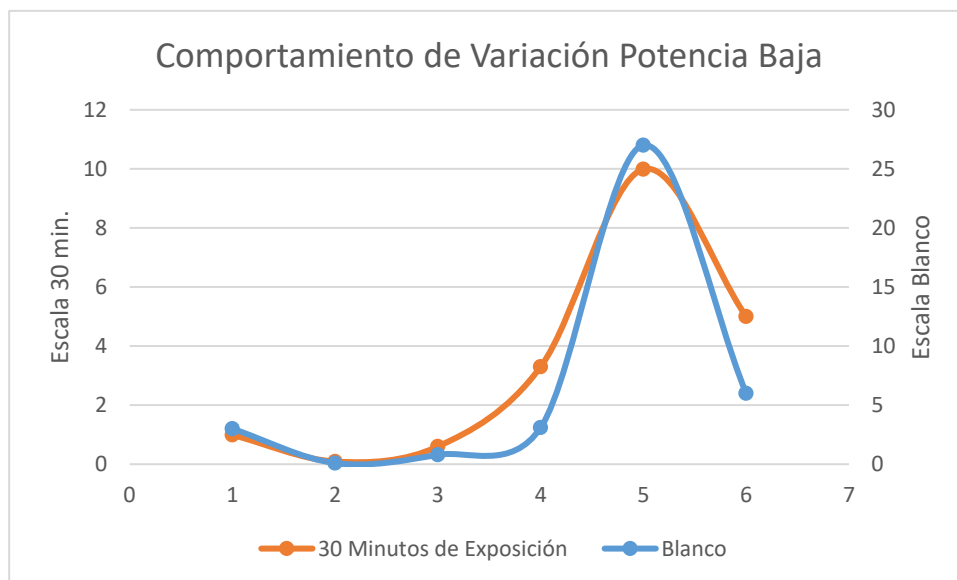
**Fotómetros de otros fabricantes:**

Con otros fotómetros comprobar si es posible la medición de tubos de test. Debe averiguarse la curva de contraste para cada tipo de aparato mediante medición de los estándares.

#### Anexo 4: Graficas de experimentación en la segunda etapa.

En este anexo se muestran las figuras del comportamiento de la muestra de agua en la segunda etapa de experimentación tanto a baja potencia como en alta potencia.

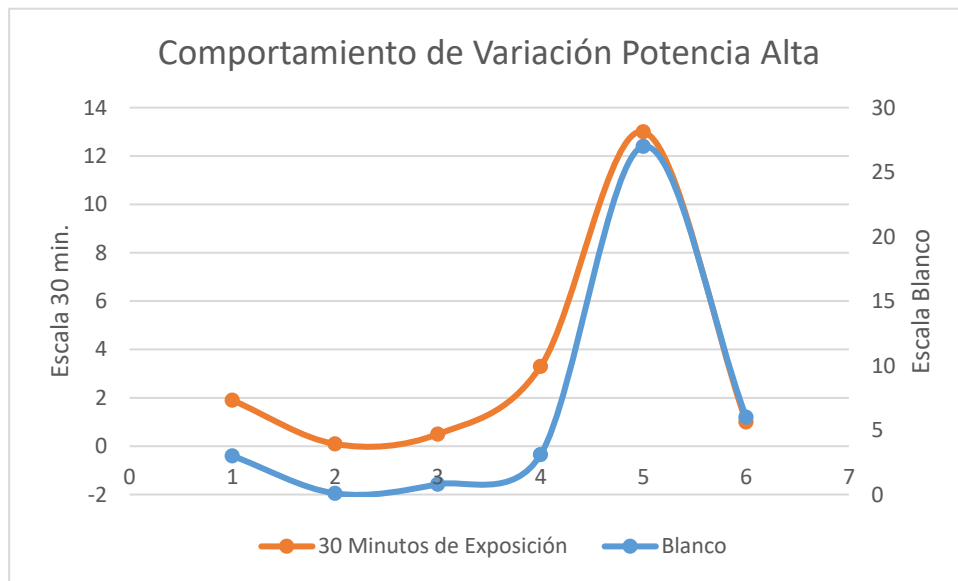
En las siguientes figuras se muestra que existe reducción, pero por los inconvenientes explicados en el capítulo de resultados en cuanto al equipo de medición y valores no numéricos, se aproximó a los valores más cercanos al rango de medición. Debido a esta aproximación, la concentración no pudo ser cuantificada y por ello este análisis no es completamente fiable.



*Figura 42.* Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia baja en la segunda etapa.

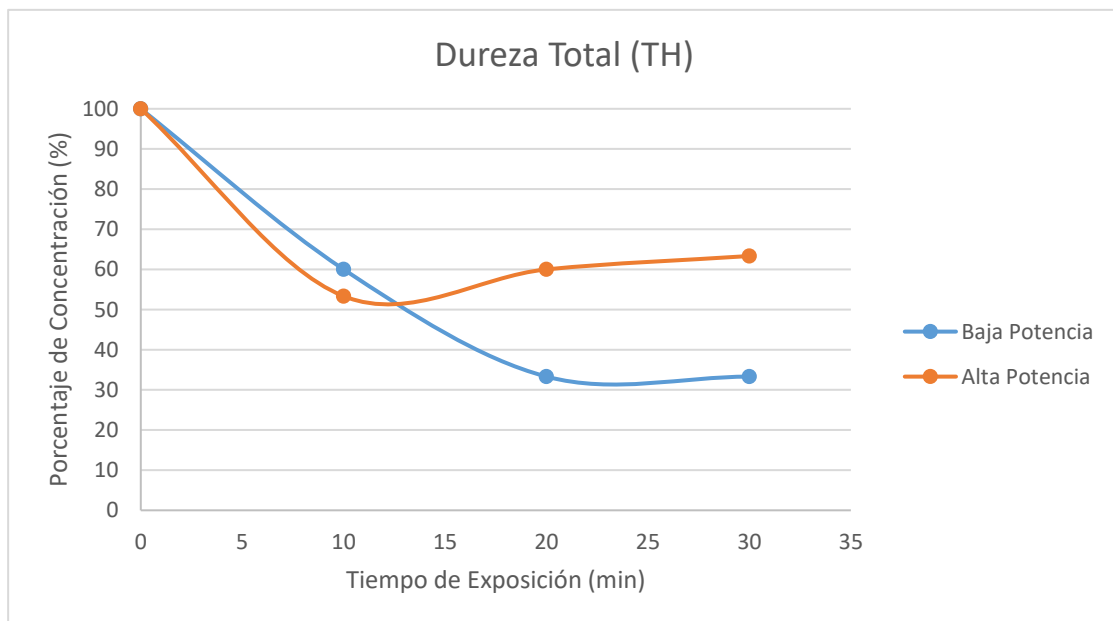
Eje horizontal: 1) Dureza Total, 2) Nitrito 2, 3) Nitrato 50, 4) Amonio, 5) Calcio, 6) DQO.





**Figura 43.** Análisis descriptivo del comportamiento de variación entre el Blanco y los 30 minutos de exposición para potencia alta en la segunda etapa.

Eje horizontal: 1) Dureza Total, 2) Nitrito 2, 3) Nitrato 50, 4) Amonio, 5) Calcio, 6) DQO.



**Figura 44.** Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración de la Dureza Total en alta y baja potencia en la segunda etapa.

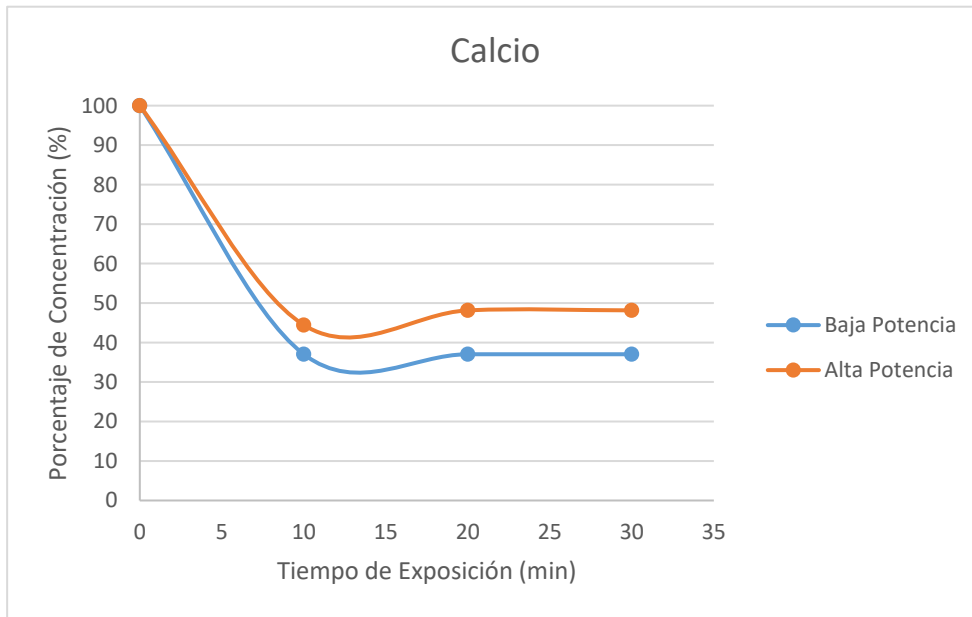


Figura 45. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Calcio en alta y baja potencia en la segunda etapa.

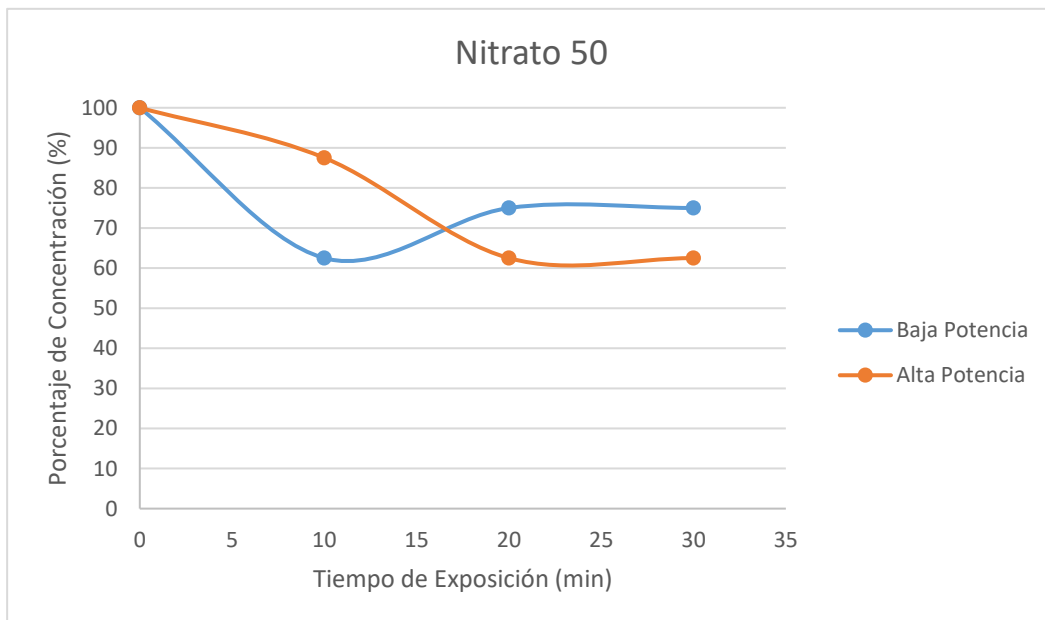


Figura 46. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrato en alta y baja potencia en la segunda etapa.

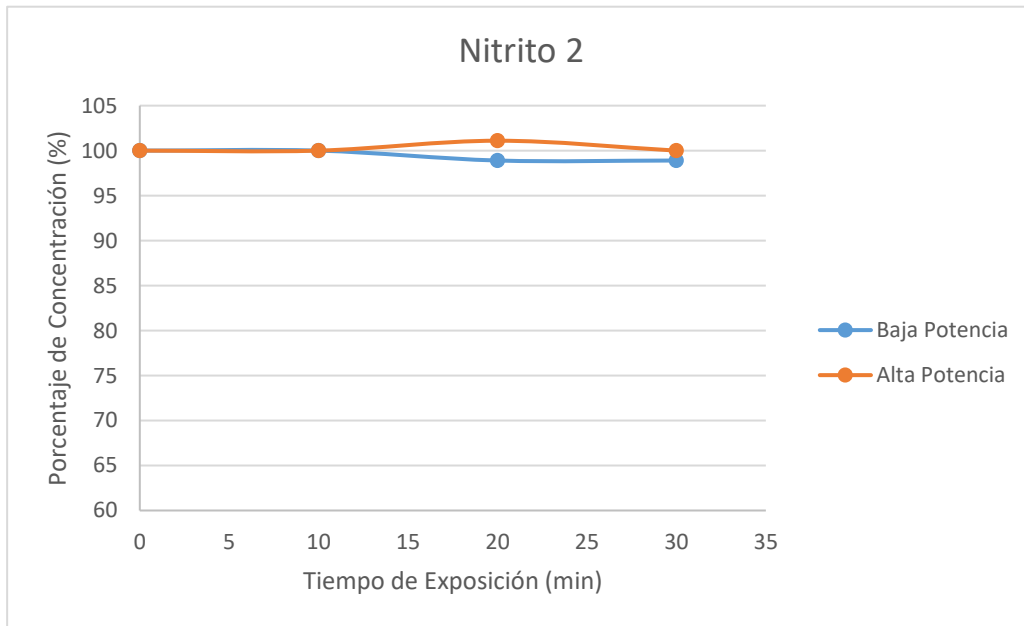


Figura 47. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Nitrito en alta y baja potencia en la segunda etapa.

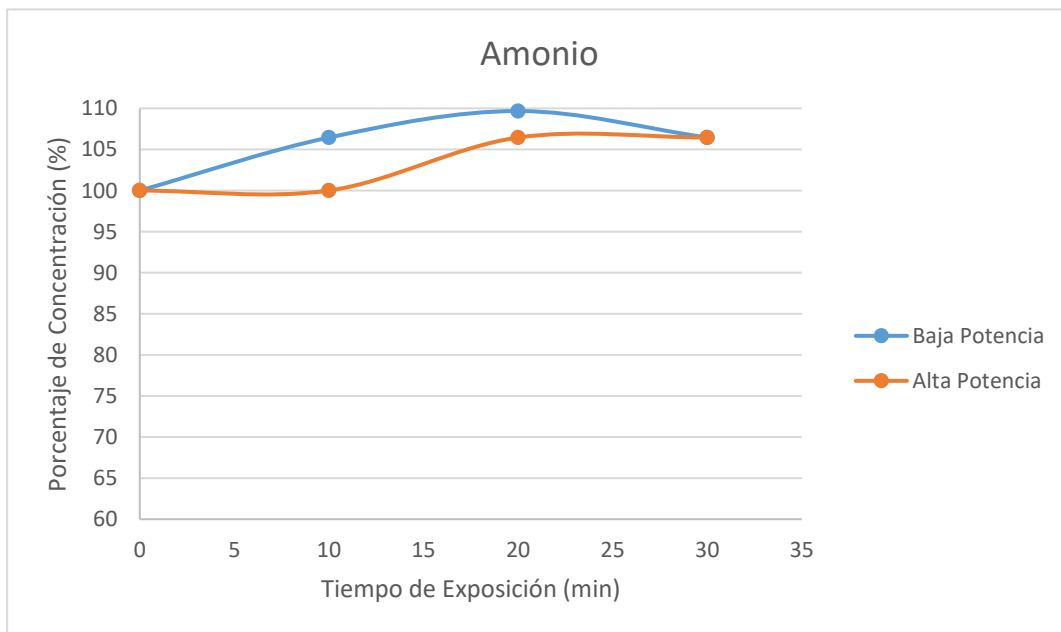


Figura 48. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del Amonio en alta y baja potencia en la segunda etapa.

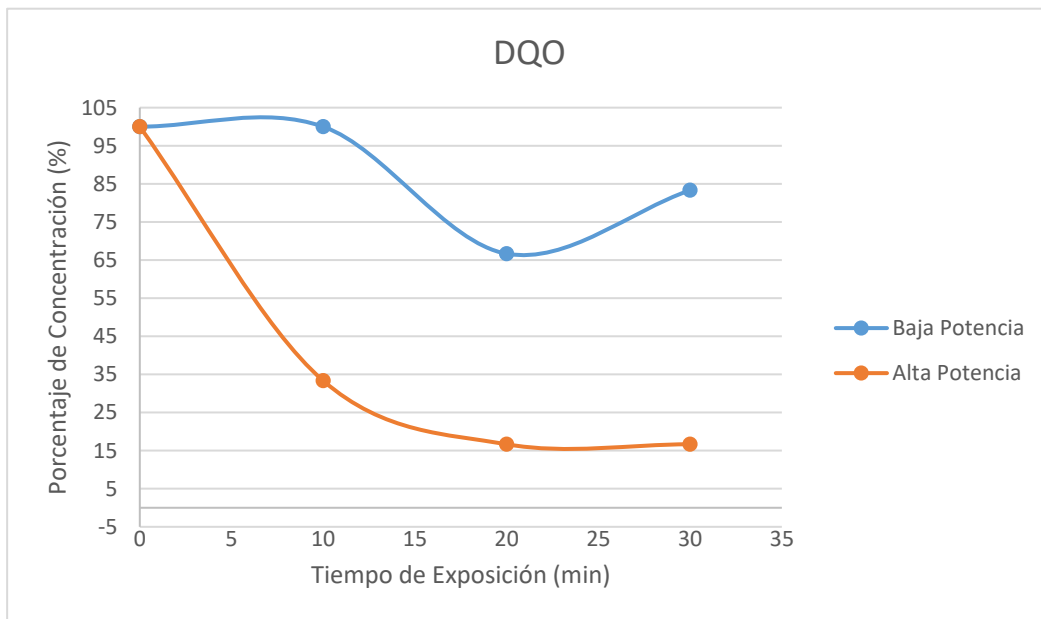


Figura 49. Relación entre el tiempo de exposición y el porcentaje de concentración del DQO en alta y baja potencia en la segunda etapa.

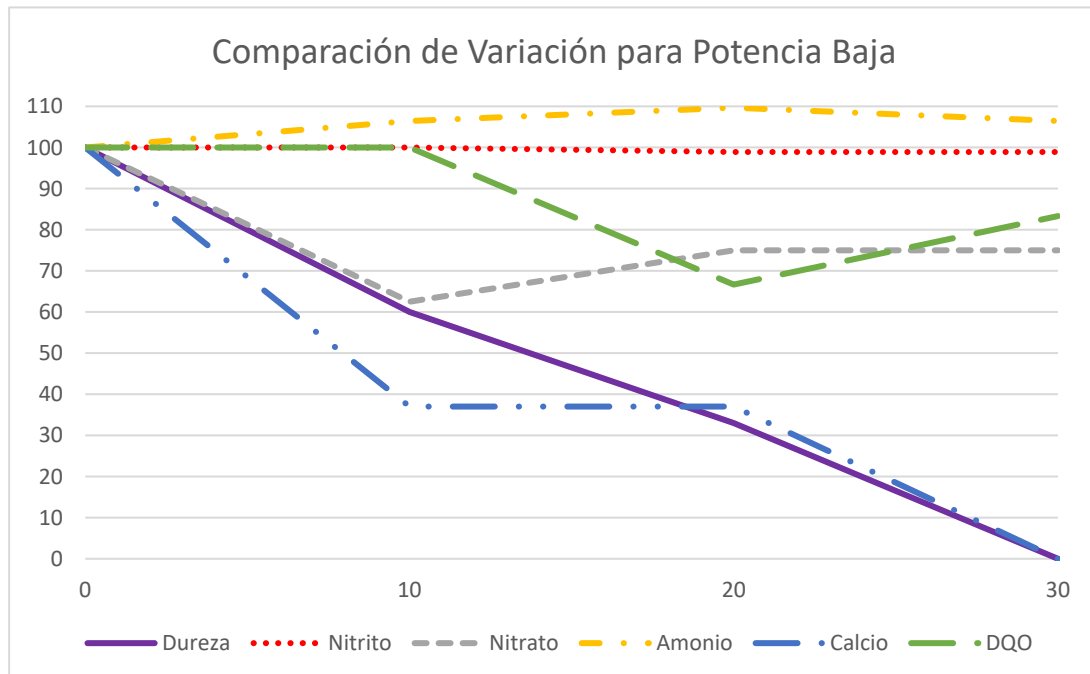


Figura 50. Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de potencia baja (segunda etapa).

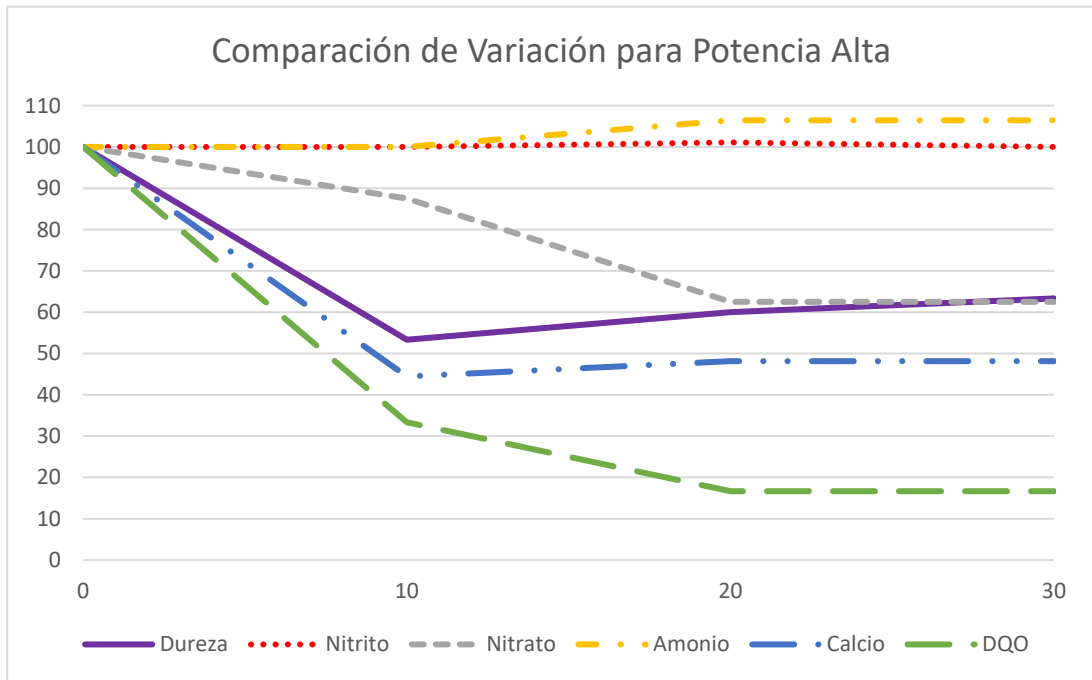


Figura 51. Comparación de variaciones presentes en los parámetros medidos en el caso de potencia alta (segunda etapa).

