



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Reducción de la concentración de boro en agua con agentes  
espumantes, Los Olivos-2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Marquina Luciano, Janina Lucia ([orcid.org/0000-0003-3785-861X](https://orcid.org/0000-0003-3785-861X))

Paredes Torres, Cristina Janeth ([orcid.org/0000-0002-2764-8670](https://orcid.org/0000-0002-2764-8670))

**ASESOR:**

Dr. Valdiviezo Gonzales Lorgio Gilberto ([orcid.org/0000-0002-8200-4640](https://orcid.org/0000-0002-8200-4640))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

## DEDICATORIA

A nuestra familia por la confianza depositada y a todos los que siguen motivándonos en nuestro desarrollo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros padres y hermanos por el apoyo económico, moral e intelectual para concluir con el desarrollo de tesis. A la Universidad César Vallejo por los conocimientos brindados a través de los docentes durante toda la etapa académica, en especial al Mg. Lorgio Valdiviezo Gonzales por las críticas constructivas, sugerencias y seguimiento durante el desarrollo de tesis.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, VALDIVIEZO GONZALES LORGIO GILBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023", cuyos autores son MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA, PAREDES TORRES CRISTINA JANETH, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 21 de Diciembre del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
VALDIVIEZO GONZALES LORGIO GILBERTO <b>DNI:</b> 40323063 <b>ORCID:</b> 0000-0002-8200-4640	Firmado electrónicamente por: LVALDIVIEZOG el 23-12-2023 11:51:15

Código documento Trilce: TRI - 0704976



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA, PAREDES TORRES CRISTINA JANETH estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
CRISTINA JANETH PAREDES TORRES <b>DNI:</b> 77015112 <b>ORCID:</b> 0000-0002-2764-8670	Firmado electrónicamente por: CPAREDESTO el 21-12-2023 11:34:24
JANINA LUCIA MARQUINA LUCIANO <b>DNI:</b> 73122789 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3785-861X	Firmado electrónicamente por: JMARQUINAL el 21-12-2023 11:24:41

Código documento Trilce: TRI - 0704977

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>10</b>
3.1.1. Tipo de investigación .....	10
3.1.2. Diseño de investigación .....	10
<b>3.2. Variable y Operacionalización .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3. Población, muestra y muestreo .....</b>	<b>12</b>
3.3.1. Población .....	12
3.3.2. Muestra .....	12
3.3.3. Muestreo .....	12
3.3.4. Unidad de análisis .....	13
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.5. Procedimientos .....</b>	<b>14</b>
3.5.1. Pre-tratamiento .....	14
3.5.2. Tratamiento .....	16
3.5.3. Post-Tratamiento .....	17
<b>3.6. Método de análisis de datos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.7. Aspectos éticos .....</b>	<b>18</b>
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Tratamiento con Texapon .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Tratamiento con Quitosano .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Análisis Estadístico .....</b>	<b>20</b>
4.3.1. Procesamiento de los Resultados - Texapon: .....	20
4.3.2. Procesamiento de los Resultados - Quitosano: .....	21

<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	23
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	27
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	28
<b>REFERENCIAS</b>	29
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del espumante Texapon .....	11
Tabla 2. Valores del espumante Quitosano .....	11
Tabla 3. técnica e instrumento de recolección de datos .....	13
Tabla 4. Resultados con el tratamiento de Texapon, tiempo de operación 10min, 110L/min, concentración inicial de boro 68.7 mg/L .....	19
Tabla 5. Resultados con el tratamiento de Quitosano, tiempo de operación 30min, 110L/min, concentración inicial de boro 68.7 mg/L .....	20
Tabla 6. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - Resumen .....	21
Tabla 7. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - ANOVA .....	21
Tabla 8. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - Valores.....	21
Tabla 9. Análisis de ANOVA para el modelo de Quitosano - Resumen .....	21
Tabla 10. Análisis de ANOVA para el modelo de Quitosano - ANOVA.....	22
Tabla 11. Análisis de ANOVA para el modelo de Quitosano - Valores .....	22

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fórmula de molécula de ácido bórico.....	8
Figura 2. Diseño experimental factorial de tipo 2 <sup>k</sup> .....	10
Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos .....	14
Figura 4. Diagrama de flujo del pre-tratamiento de agua .....	14
Figura 5. Montaje del sistema de tratamiento.....	16
Figura 6. Diagrama de flujo del tratamiento de agua.....	16
Figura 7. Diagrama de flujo del post-tratamiento de agua.....	17



## RESUMEN

La incorporación de cantidades elevadas de elementos químicos como el boro al agua produce perjuicio a la fertilidad de los cultivos y toxicidad en animales y seres humanos. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue reducir el contenido de boro en el agua mediante el uso de agentes espumantes como Texapon y Quitosano. Para el desarrollo experimental, se utilizó el diseño factorial de tipo 2k donde se determinó la evaluación de 9 ensayos por cada espumante que incluían pH y dosis. Los resultados mostraron que el texapon alcanzó una remoción de 35.52% con una dosis de 1g/L y pH 6.4. El quitosano alcanzó una remoción de 12.52% con dosis de 2.75 g/L y pH de 3.37. En conclusión, la separación de boro por flotación con agentes espumantes, lograron mayor reducción con la aplicación de menores dosis porque el uso de mayores cantidades de espumante satura la solución limitando el proceso de flotación del boro y con pH ácidos cercanos a 7, porque el boro mantiene sus características bajo ese nivel de acidez. Por ello, el texapon alcanzó mayor eficiencia de remoción de boro que el quitosano.

**Palabras Clave:** Agentes espumantes, quitosano, texapon, reducción de boro.

## ABSTRACT

The incorporation of high amounts of chemical elements such as boron into water causes damage to the fertility of crops and toxicity in animals and humans. Therefore, the objective of the research was to reduce the boron content in water by using foaming agents such as Texapon and Chitosan. For the experimental development, the 2k type factorial design was used where the evaluation of 9 trials for each foaming agent that included pH and dose was determined. The results showed that texapon achieved a removal of 35.52% with a dose of 1g/L and pH 6.4. Chitosan achieved a removal of 12.52% with a dose of 2.75 g/L and pH of 3.37. In conclusion, the separation of boron by flotation with foaming agents achieved greater reduction with the application of minimum doses because the use of greater quantities of foaming agent saturates the solution, limiting the boron flotation process and with acidic pH close to 7, because the boron maintains its characteristics under that level of acidity. Therefore, texapon achieved higher boron removal efficiency than chitosan.

**Keywords:** Foaming agents, chitosan, texapon, boron reduction.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso del agua para fines agrícolas a nivel mundial representa el 70% del agua dulce que se utiliza; alguno de los problemas de la agricultura es la falta de agua y la mala calidad de ella, estos factores son importantes para el crecimiento adecuado y óptimo del cultivo (Banco Mundial 2022). La incorporación de cantidades elevadas de elementos químicos como el boro al agua produce perjuicio a la fertilidad de los cultivos y toxicidad en animales y seres humanos (Flores 2020).

Los espumantes fueron químicamente diseñados para operar en limpiezas bajo un pH básico cercano a 9. La demanda industrial de espumantes para operar a pH ácidos y neutros fueron establecidas luego de hacer estudios de control microbiano en las limpiezas; el espumante lauril éter sulfato de sodio (Texapon) fue evaluado satisfactoriamente para operar como espumante entre pH de 4 a 7. Se demostró que en este rango de pH en periodos relativamente extendido de tiempo (100 horas) la estabilidad del espumante es reducida ya que la masa del agente activo se reduce aproximadamente a un 95% de la masa original alimentada a la solución para formar la espuma (Prasanthan 2015).

En la naturaleza el boro se encuentra en forma de ácido bórico o sales de boro (Taşçı *et al.* 2022), adquiriendo una concentración de 0.5 a 9.6 ppm en aguas marinas, 15 ppm en industrias, 75 ppm en lixiviados de vertederos y 300 ppm en aguas residuales de fábricas (Almustafa *et al.* 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció como estándar para el control del agua potable una concentración máxima de 2.4 mg/L de boro (Arriaza *et al.* 2022).

En América Latina, países como Argentina, Chile y Perú vienen atravesando con mayor frecuencia sucesos de contaminación por boro en sus medios acuáticos. En Argentina, se registró contaminación por boro en aguas de riego, fluctuando entre 1 a 3.63 mg/L, limitando la posibilidad de cultivar (Walter, 2020). Al norte de Chile y sur de Perú, la mayor concentración de Boro (78 mg/L) se registró en la zona norte del país (Ministerio de Salud de Chile 2020).

En el Perú, el valle Tambo en Arequipa, conecta regiones volcánicas (44 géisers) y diversos proyectos mineros que vienen contaminando el agua del cauce con Boro alcanzando concentraciones de 0.8 a 48 mg/L (Tovar 2018). En Tacna, la calidad de agua del río Locumba, presenta concentraciones de Boro y Arsénico de 8.0 y 0.8 mg/L respectivamente, lo que limita las posibilidades de producción frutícola, productos de mayor rentabilidad y para el consumo humano (Municipalidad Provincial Jorge Basadre 2023).

En este trabajo se propone reducir la concentración de boro en el agua usando agentes espumantes como texapon y quitosano mediante un proceso de flotación realizado a nivel de laboratorio a partir de una muestra sintética de agua con boro obtenido del compuesto bórax con 100%.

En el estudio se planteó como problema general: ¿Cuál es la reducción de la concentración de boro en el agua con agentes espumantes?, y como problemas específicos: ¿Cuáles son las dosificaciones de espumantes que reducen la concentración de boro en el agua?, y ¿Cuál es el pH en el agua que reduce la concentración de boro?

El estudio tiene tres justificaciones: (1) justificación ambiental, proponer la alternativa de flotación de boro para separarlo del agua; (2) justificación social, el agua conteniendo niveles bajos de concentraciones de boro estaría disponible para uso de las comunidades que dependen de actividad agrícola particularmente en regiones con actividad volcánica, donde el boro es liberado del subsuelo; (3) justificación técnica, actualmente no existe un proceso eficiente para eliminar el boro presente en agua; el proceso más utilizado es el intercambio iónico y que no ha sido adoptado porque se requieren grandes volúmenes de agua para tratamiento haciendo del intercambio iónico no técnicamente adecuado.

Conforme a la formulación del problema, se estableció como objetivo general: Reducir la concentración de boro en el agua con agentes espumantes, y como objetivos específicos: Determinar las dosificaciones de espumantes para

reducir la concentración de boro en el agua, y determinar el pH para reducir la concentración de boro en el agua.

Asimismo, como hipótesis general: La concentración del boro en el agua se reduce al aplicar agentes espumantes, y como hipótesis específicas: La dosis más alta de espumantes permiten reducir la concentración de boro en el agua; El pH más alto permite reducir la concentración de boro en el agua.

## II. MARCO TEÓRICO

Kluczka *et al.* (2021), aplicaron quitosano que eliminó eficazmente el ácido bórico del medio acuoso a pH neutro durante un tiempo de sorción de 2 h y la relación líquida/hidrogel de 20 mg/L, logrando una capacidad máxima de sorción cercana a 190 mg/L (60%). Asimismo, durante su investigación determinaron que el rango de pH es importante para la presencia del boro en diferentes estados, según su análisis las moléculas del ácido bórico se encuentran presentes a un pH de 7, dado que al aumentar este valor de pH se pierde la presencia del ácido bórico.

Taşçı *et al.* (2022), utilizaron quitosano sintetizado para separar boro (como ácido bórico) de soluciones acuosas. Para ello, utilizaron el método de superficie de respuesta (RSM) que maximiza la capacidad de adsorción alcanzando 62.16mg/L (70%) en las condiciones óptimas (3.5 g/L de quitosano, pH de 5.46 y 76 min), dado que al aumentar el rango de pH el proceso de remoción disminuía.

Hu *et al.* (2011), Estudiaron la adsorción de iones de una solución acuosa mediante enlaces cruzados modificados con etilendiamina. Se utilizó la resina de quitosano magnético (EMCMCR) en un sistema de adsorción discontinua. La reducción de la concentración dependió del pH y la adsorción óptima se observó a pH 2. La tasa de adsorción fue extremadamente rápido y el equilibrio se estableció en 6 a 10 min. El proceso de adsorción podría describirse mediante un modelo cinético de pseudo segundo orden. El estudio de difusión intrapartícula reveló que la difusión de la película podría estar implicada en el presente caso. Parámetros termodinámicos reveló la viabilidad, espontaneidad y naturaleza exotérmica de la adsorción. Los sorbentes fueron exitosos Se regeneró utilizando soluciones de NaOH 0,1 N

El tratamiento mediante ósmosis inversa convencional sólo se reduce el boro en un 60%. Este artículo analiza la posibilidad de reducir el agua permeada de manera que aumenta el pH, de acuerdo a su evaluación determinaron que las características del ácido bórico se mantienen a un pH de 6.5. (Rodríguez *et al.* 2001).

Bai *et al.* (2018), han desarrollado un método de flotación original y ecológico para separar pequeñas cantidades de boro de una solución acuosa. desarrollado utilizando dodecyl-bencen-sulfonato (DDBS) como tensioactivo. En este estudio, las eficiencias de eliminación de boro de diferentes combinaciones de tensioactivos y compuestos de hidroxilo se investigaron mediante la metodología de prueba ortogonal. Los compuestos incluían colectores adicionales como D-manitol. Luego se optimizaron las condiciones de flotación incluyendo pH, dosis relativa de D-manitol, dosis relativa de dodecilbencenosulfonato de sodio (SDBS), velocidad de burbujeo, agitación velocidad y tiempo de agitación. En su experimentación determinaron que usando el espumante convencional dodecyl-bencen-sulfonato (DDBS) mezclado con d-mannitol empleando 2g por 600ml (3.33g/L) del espumante a un pH de 6 lograron una remoción del 45%, durante su investigación evidenciaron que, al aumentar la dosis, disminuye la remoción del boro en la solución, generando una saturación en su sistema, y evidenciando la caída de los valores de la remoción.

Esta revisión se centra en las aplicaciones de la flotación iónica en tratamiento de aguas residuales, beneficio de minerales, como recuperación de metales preciosos raros e hidrometalurgia, como la preconcentración de elementos de tierras raras y la separación selectiva de iones multicomponentes. También se analizan las perspectivas de la flotación de iones, durante su investigación determinaron que para el proceso de flotación se debe tener en cuenta la dosis adecuada de espumante ya que esto está relacionado con el aumento en las características del proceso, como la velocidad del burbujeo y el tiempo. (Chang *et al.* 2019).

Shakir *et al.* (2010), Desarrollaron una investigación sobre flotación iónica, para la eliminación de dos colorantes: un colorante básico (rodaminaB (RB)) y uno ácido (torón (TH)) a partir de soluciones acuosas diluidas y simuladas. aguas residuales. Flotación de iones de estos tintes se han investigado en un amplio rango de pH utilizando el tensioactivo aniónico, lauril sulfato de sodio (NaLS- Texapon) y el tensioactivo catiónico cetiltrimetilamonio bromuro (CTAB) como recolectores. Los resultados obtenidos durante la flotación con el espumante NaLS- Texapon,

mostraron que al regular el pH las características y comportamiento del espumante variaban en cuanto a su estabilidad como la estabilidad de las burbujas, el mejor resultado fue obtenido cuando regularon el pH a 5.9.

Randriamamonjy *et al.* (2022), mencionaron que las propiedades y la estabilidad de las espumas son similares entre las saponinas. Estos hallazgos muestran que las fibras de *Furcraea foetida* es una nueva fuente de saponinas que puede usarse como emulsionante y agente espumante con propiedades equivalentes a las cuantificadas para las saponinas comerciales disponible, y resultados mejores que los tensioactivos de referencia típicos como el laureth sulfato de sodio como agente espumante, el nombre comercial con este contenido químico se conoce como Texapon.

La flotabilidad de un mineral de boro típico, la colemanita depende de tensioactivos tanto aniónicos como catiónicos a su pH natural de 9,3. Mientras que la flotabilidad de la colemanita con tensioactivos aniónicos disminuye al aumentar el pH, la de un tensioactivo catiónico exhibe un máximo a pH 10,2, lo que indica el papel principal de las interacciones electrostáticas en el sistema (Hancer & Celik 1993).

La aplicación de la flotación de espuma en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes depende en gran medida de las propiedades de la espuma, como la velocidad de formación de espuma, la estabilidad de la espuma y la interacción de las partículas contaminantes con la interfaz gas/agua de las burbujas. Un tensioactivo bien seleccionado debería poder producir abundante cantidad de espuma en el dispositivo de flotación para generar suficiente superficie para la adsorción de contaminantes en las burbujas de gas. Las espumas deben tener una estabilidad limitada, es decir, no demasiado estables para una posterior separación. Además, la fuerza de adhesión del contaminante a las superficies de las burbujas y el contenido de agua de la espuma (su densidad) son parámetros importantes para la eliminación de contaminantes (Shojaeimehr *et al.* 2022).



Los iones peligrosos, como los del boro, causan importantes problemas ambientales y de salud cuando se vierten en los recursos hídricos de forma natural o mediante diversos procesos industriales. Este trabajo analiza las técnicas actuales para la eliminación de iones de metales pesados de soluciones acuosas mediante absorción, particularmente el uso de tensioactivos biodegradables en flotación. La alta eficiencia de los tensioactivos basados en un aminoácido (L-cisteína) para eliminar una variedad de iones de metales pesados en un proceso simple de flotación de iones de una sola etapa. La alta capacidad de formación de espuma, la capacidad de operar en diversas temperaturas y pH, descomponerse en productos naturales y la alta afinidad de unión por iones de metales pesados hacen de los tensioactivos a base de cisteína un compuesto muy adecuado para reemplazar a los tensioactivos comerciales actuales en los procesos de flotación de iones y espuma (Wan & Taseidifar 2022).

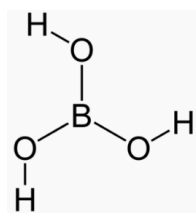
El boro se ha utilizado ampliamente en diversas industrias manufactureras y el nivel de boro en la industria puede variar desde unos pocos gramos por litro hasta unos pocos microgramos por litro. Debido al posible efecto adverso para la salud del boro en los seres humanos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha proporcionado una pauta para que la concentración de boro en el agua potable sea inferior a 0,5 mg/l. Por lo tanto, los efluentes o soluciones que contienen boro deben ser tratados antes de que puedan ser vertidos en cuerpos de agua naturales. Este artículo revisa críticamente varias tecnologías utilizadas para la eliminación de boro. Se ha demostrado que los procesos de compuestos de electrocoagulación (EC) y hidróxido de doble capa (DLH) son altamente eficaces para la eliminación de boro de soluciones con una alta concentración de boro. Sin embargo, es necesario realizar pruebas piloto y a gran escala para implementar Compuestos EC y DLH para la eliminación de boro a gran escala (Xu y Jiang 2008)

Entre las técnicas más utilizadas para la reducción de la concentración de boro en el agua se encuentra el intercambio catiónico y la osmosis inversa (Sana *et al.* 2021); sin embargo, optando por la innovación este estudio reducirá la

concentración de boro en agua tratada con agentes espumantes (Quitosano y texapon).

El boro químicamente pertenece al grupo III, y se puede localizar en el medio natural como boratos en cantidades considerables en fuentes superficiales de agua; sin embargo, se encuentran concentraciones de borato en agua y es común 4.5 mg/kg (Chillón 2009)

El boro es considerado un micronutriente vital para los seres vivos, y se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente, en concentraciones que fluctúan desde los 5 mg/L en aguas marinas y 10 mg/L en suelos. En el contexto del agua de mar el boro presenta concentraciones entre 4 y 5 mg/L, la cual debe reducirse a 0,5 mg/L para su uso en agricultura y agua potable de acuerdo al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (Hidalgo 2022).



*Figura 1. Formula de molécula de ácido bórico*

La *Figura 1* muestra que el boro químicamente en solución acuosa está en forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ). Éste se comporta como un ácido de Lewis. El ión hidróxilo reacciona con el ión hidrógeno con una constante de disociación,  $pK_a$ , de 9,15. En tanto, el ácido bórico actúa a través de la aceptación de dos electrones de un ión  $OH^-$  entrante más que por transferencia de un protón al hidróxido. En esta reacción el boro pasa de hibridación  $sp^2$  a  $sp^3$  en el producto final. Este arreglo estructural del boro permite proponer agentes con terminales hidroxilo ( $-OH$ ) para enlazarse en un mecanismo de flotación (Malavé 2005).

El potencial de hidrógeno (pH) influye en la flotación de iones de compuestos ácidos o básicos, en aguas contaminadas por metales, esto corresponde a que los hidroxilos ( $OH^-$ ) separan en gran cantidad los iones de otros metales. Además, el pH es un factor determinante en la flotación (Ravelo 2012).

La flotación de iones debería merecer una mayor atención porque puede combinar tanto la necesidad de tratamiento de efluentes como la recuperación de iones metálicos e inorgánicos. La flotación iónica resulta beneficiosa en el tratamiento convencional de agua y aguas residuales, cuando no se añaden reactivos químicos tóxicos para la separación de contaminantes (Peng *et al.* 2019).

La flotación se logra mediante colectores aniónicos y catiónicos. Por lo tanto, los minerales puros de boro y arcilla y sus mezclas han sido sometidos a una serie de estudios de microscopía de microflotación, electrocinética, adsorción y fuerza atómica con colectores catiónicos y aniónicos. Se presenta el efecto de los iones mono y multivalentes en ausencia y presencia de arcilla para dilucidar su efecto como activadores en ciertas regiones de pH (Celik, Hancer y Miller 2002).

Las espumas son estructuras bifásicas y es una dispersión de burbujas gaseosas bajo un sistema líquido. Mediante la adición de agentes químicos estables (surfactantes o tensoactivos), se logra la mencionada estructura; ya que los agentes disminuyen el efecto del colapso de la espuma (Marcela 2021).

La formación de burbujas está relacionada a la presencia de tensioactivos (sal metálica con una larga estructura de ácido graso adherida), que, al mezclarse con agua, la sal se ioniza, dejando la estructura de ácido unida a iones de la misma carga. Estos iones experimentan la fuerza hacia la superficie del líquido ya que los ácidos grasos son hidrófobos, provocando una interacción química en la superficie que dan lugar a una gran tensión superficial. Adicionalmente, la tensión superficial es la atracción que surge de la interacción de átomos presentes en la superficie del material, ya sea líquida, sólida o gaseosa, donde existe diferencia de presiones (Zhang 2016).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

El estudio es de tipo aplicado, porque permite someter a prueba la influencia de una variable independiente a una dependiente en la búsqueda de una alternativa de solución a un problema, para ello se utiliza una serie de procedimientos y técnicas que se dirigen a un método científico, generando conocimiento (Escudero Liliana y Cortez Suárez 2018).

El enfoque del estudio fue cuantitativo, porque se obtienen datos numéricos medibles que nos dirigen a un escenario donde se puede reconocer el comportamiento de las variables y aceptar o rechazar hipótesis de la investigación (Hernández & Duana 2020).

##### 3.1.2. Diseño de investigación

El diseño aplicado en el estudio fue experimental, porque se somete a pruebas diversas condiciones de operación de las variables (Ramos 2021). Bajo ese concepto, el estudio evaluó el efecto de la variable independiente (Agentes espumantes) sobre la variable dependiente (Concentración de Boro en agua). Además, el diseño experimental que se utilizó para este estudio fue factorial de tipo  $2^k$ , tal como se representa a continuación:

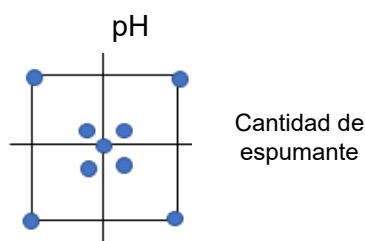


Figura 2. Diseño experimental factorial de tipo  $2^k$

El diseño experimental factorial  $2^k$  utilizado para la presente investigación, se considera como 2 el número de variables (dosis de espumante y pH),  $k = 2$  es el número de niveles de medición de la magnitud de las variables (máximos y mínimos). Adicionalmente, se ha visto conveniente agregar 5 mediciones con

valores intermedios de la magnitud de las variables, permitiendo en análisis de valores promedios.

Considerando las magnitudes de las variables máximas y mínimas se realizarán 4 ensayos por cada tipo de espumante a utilizar, y se considera una repetición de 5 ensayos adicionales para el valor intermedio de cada espumante, teniendo un total de 9 ensayos por espumante. A continuación, se describen las tablas de magnitudes de las variables por espumante:

#### A. Espumante: Texapon

*Tabla 1. Valores del espumante Texapon*

Nº Muestra	pH	Cantidad de Texapon (g)
1	5	0.5
2	7	0.5
3	5	1.5
4	7	1.5
5	6	1
6	6	1
7	6	1
8	6	1
9	6	1

#### B. Espumante: Quitosano

*Tabla 2. Valores del espumante Quitosano*

Nº Muestra	pH	Cantidad de Quitosano (g)
1	3	2.25
2	4	2.25
3	3	2.75
4	4	2.75
5	3.5	2.5
6	3.5	2.5
7	3.5	2.5
8	3.5	2.5
9	3.5	2.5

### 3.2. Variable y Operacionalización

El estudio trabajó con dos variables (independiente y dependiente), que son descritos de la siguiente manera:

### **Variable independiente**

**X:** Agentes espumantes

### **Dimensiones**

**X1:** pH

**X2:** Dosis de espumantes

### **Variable dependiente**

**Y:** Concentración de boro en agua

### **Dimensiones**

**Y1:** Reducción de la concentración boro en el agua

## **3.3. Población, muestra y muestreo**

### **3.3.1. Población**

La población representa "la totalidad de fenómenos a estudiar y que tienen una función común, que se estudia y ofrece información sobre la investigación" (Hernández Mendoza y Duana Avila 2020). Por lo tanto, la población fue compuesta por 40 Litros de agua con boro.

### **3.3.2. Muestra**

La muestra es considerada una parte representativa de la población; que reúne una serie de características resaltantes de la población que se encuentra ligada a la finalidad del estudio (McCombes 2023). Por lo tanto, la muestra fue de 19 litros de agua con boro, conformada por 9 muestras de un litro por cada espumante, más un litro de la prueba inicial del boro.

### **3.3.3. Muestreo**

El muestreo realizado fue no probabilístico por conveniencia, porque es el método no aleatorio, donde se considera un conjunto de puntos relevantes para el investigador basados en su criterio y experiencia para realizar sus procedimientos en campos para la adquisición de muestra (Nikolopoulou 2019)

### 3.3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis es la parte más pequeña y relevante de una investigación, ya que determina el objeto del estudio (Damşa & Jornet 2021). Por lo tanto, la unidad de análisis corresponde a un litro de agua con boro.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de observación es frecuentemente utilizada porque puede ser aplicada de forma libre o basada en una guía donde se considere los objetivos del estudio (Galindo, 2019). Bajo esa premisa, la técnica empleada en la investigación fue la observación y se registró los datos cuantitativos en instrumentos. Los instrumentos utilizados en la adquisición de información en el estudio deben ser fiables, objetivos y válidos. En ese sentido, si alguno de estos elementos falla, el instrumento no será el apropiado y los resultados serán ineficaces (Hernández & Duana 2020). En el estudio, los instrumentos consisten en cuatro fichas de recolección de datos que se observan en el Anexo 3.

La validez de los instrumentos se vincula con la aprobación de un experto, donde se pueda reconocer que los resultados obtenidos después de la parte experimental estén adecuadamente registrados y exento de errores (Villasís-Keever *et al.* 2018).

*Tabla 3. técnica e instrumento de recolección de datos*

<b>Etapa</b>	<b>Fuente</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Resultados</b>
Pre-Tratamiento	Laboratorio HIDROLAB S.A.C. UCV Lima Norte	Observación científica Manejo de la muestra	Ficha de Registro Cadena de Custodia	Concentración de boro
Tratamiento: Dosis de espumante	Laboratorio de Química de UCV Lima Norte	Observación científica	Ficha de Registro	Dosis de espumante
Tratamiento: Magnitud de pH	Laboratorio de Química de UCV Lima Norte	Observación científica	Ficha de Registro	Magnitud de pH
Post-Tratamiento: Medición de la concentración de boro	Laboratorio HIDROLAB S.A.C.	Manejo de la muestra	Cadena de custodia	Concentración de boro en el agua tratada

La confiabilidad de un instrumento se refleja cuando los resultados obtenidos son de conducto regular en diversos sucesos, escenarios y poblaciones (Manterola, *et al.* 2018). Por ello, en el estudio para la confiabilidad de los resultados, los análisis físicos y químicos se realizaron en el laboratorio debidamente acreditado por INACAL.

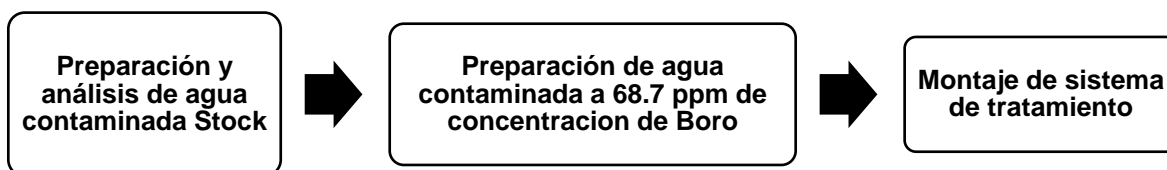
### 3.5. Procedimientos



*Figura 3. Diagrama de flujo de los procedimientos*

La *Figura 3*, mostró las etapas del desarrollo de la investigación, que se dividió en: Pre-tratamiento, tratamiento y post-tratamiento. Los procesos internos de cada etapa son expuestos mediante diagramas de flujo.

#### 3.5.1. Pre-tratamiento



*Figura 4. Diagrama de flujo del pre-tratamiento de agua*

#### a. Materiales, insumos y equipos

Los materiales usados para la investigación fueron 5 tubo de PVC trasparente de 2" de diámetro y 60 cm de alto, los cuales fueron ensamblados con 5 reducciones de agua de 1/2", adaptadas a 5 llaves compuerta de 1/2 para recolectar las muestras. En la parte superior contó con un captador de espuma por tubería en forma de codo. Como parte del funcionamiento del equipo se conectaron 5 manguerillas 1.5 m cada 1, que trasladarían aire y saldría por 5 piedras difusoras para aumentar las burbujas.

Para la investigación se realizó la adquisición de insumos necesarios para todos los tratamientos, empezando por 60L agua destilada y 20g Bórax al 100%.



Para el tratamiento con agentes espumantes se utilizó, 20g de Texapon, 50g de Quitosano. Como parte del proceso se utilizaron 100ml ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) glacial al 99%.

Durante el proceso del tratamiento se utilizaron los siguientes equipos: Bomba de aire de 110L/min para el tratamiento, adicionalmente del laboratorio de química se utilizaron balanza analítica, agitador magnético y Multiparámetro.

#### **b. Preparación y análisis de muestra stock**

Para la investigación de vio conveniente utilizar una muestra stock de agua con boro en una concentración inicial, esto con la finalidad de tener una sola población a tratar, y tener unificado el agua con boro para cada tratamiento, la fórmula para el cálculo de la muestra stock se presenta en el anexo 4. La muestra stock fue enviada a laboratorio acreditado por INACAL con la finalidad de corroborar la fórmula utilizada, dando como resultado de concentración de boro de la muestra stock de 229 ppm.

#### **c. Preparación de muestra para el tratamiento con espumantes**

Luego de la preparación de la muestra stock, se procedió a preparar la muestra para cada tratamiento de agua con boro, esta muestra fue enviada al laboratorio dando como resultado una concentración de 68.7ppm, la fórmula para el cálculo de la muestra se presenta en el Anexo 4.

#### **d. Montaje de sistema de tratamiento**

Se realizó el montaje del sistema de tratamiento, instalando los 5 tubos de PVC de forma paralela conectándolos con las manguerillas para abastecer el aire al tratamiento.

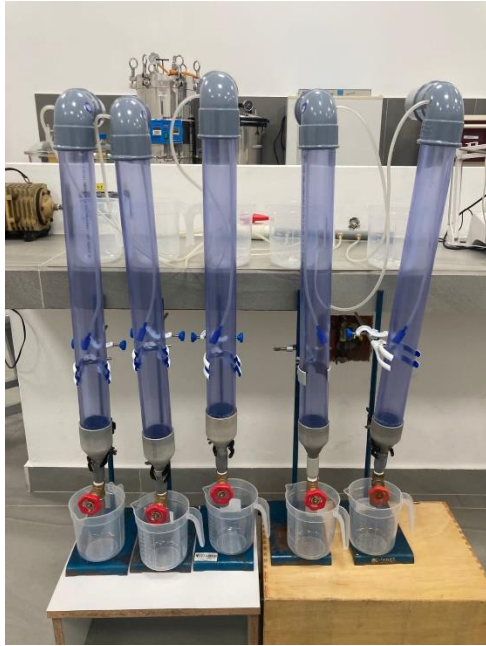


Figura 5. Montaje del sistema de tratamiento

### 3.5.2. Tratamiento

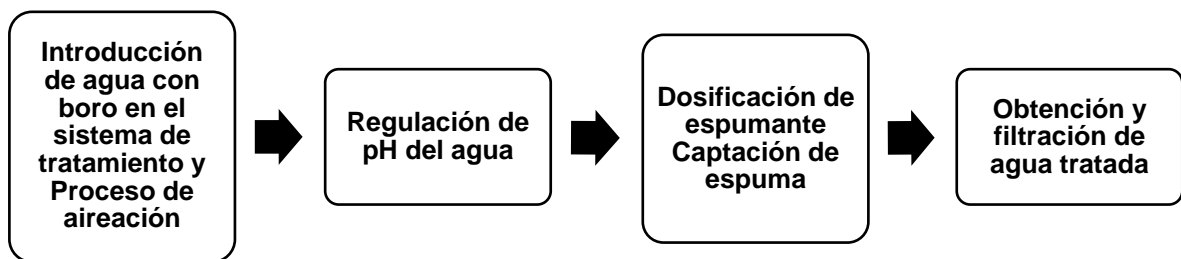


Figura 6. Diagrama de flujo del tratamiento de agua

#### a. Introducción de agua contaminada en el sistema de tratamiento y Proceso de aireación

Se ingresó 1L de muestra contaminada (agua destilada mezclada con boro) en cada tubo del sistema de tratamiento. Se desarrolló por medio de conexión de mangueras y piedras difusoras de 10 a 30 minutos hasta la obtención de burbujas.

#### b. Regulación de pH del agua, dosificación de espumante y captación de la espuma

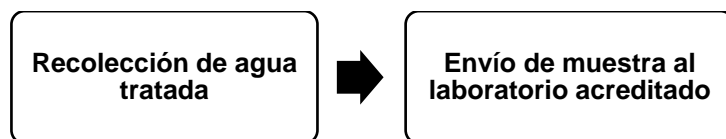
Se reguló el pH del agua contaminada agregando ácido acético, llevándolo hasta un medio ácido para el óptimo desempeño del sistema de tratamiento. Para el tratamiento con Texapon se realizó la regulación de pH en 4, 6 y 7. Para el tratamiento con Quitosano se realizó la regulación de pH en 3, 3.5 y 4.

Se realizó el pesaje de las cantidades de espumante seleccionadas para someter a prueba y se añadieron al sistema de tratamiento. Para el tratamiento con Texapon; se pesó en la balanza analítica las cantidades de texapon siguiendo el diseño experimental con los siguientes valores 0.5g, 1g y 1.5g. Luego de pesado el Texapon fue diluido en el agitador magnético en 300ml de agua destilada. Se pasó a agregar 200ml de la dilución en los tubos del sistema de tratamiento. Para el tratamiento con Quitosano; se pesó las cantidades de Quitosano siguiendo el diseño experimental con los siguientes valores 2.25g, 2.5g y 2.75g, luego de se pasó a agregar en los tubos del sistema de tratamiento.

### c. Obtención de agua tratada

El agua tratada fue retirada por la parte inferior del sistema de tratamiento a través de una compuerta de tubería reducida de  $\frac{1}{2}$ " y depositada de una jarra de plástico esterilizado de 500 mL.

### 3.5.3. Post-Tratamiento



*Figura 7. Diagrama de flujo del post-tratamiento de agua*

### a. Recolección de agua tratada y envío de muestra al laboratorio acreditado

Se colocó la muestra de agua tratada en recipientes acondicionados según el protocolo de monitoreo de calidad de agua, agregando 2ml de ácido nítrico para la conservación de las muestras para su posterior análisis, las muestras fueron enviadas al laboratorio HIDROLAB, en el Anexo 5 se adjuntan las cadenas de custodia.

### 3.6. Método de análisis de datos

Los datos recopilados de los instrumentos son trasladados a una base de datos en el programa Excel. A partir de la base de datos se ejecutará el análisis descriptivos e inferenciales. Los datos descriptivos serán analizados y presentados a través de gráficos o tablas derivadas de Excel y serán presentadas según los

objetivos del estudio. En tanto, los datos inferenciales serán analizados a través del programa estadístico IBM SPSS versión 25, donde se aplicarán pruebas de normalidad y de contraste que exportarán tablas con valores significativos para aceptar o rechazar las hipótesis de la investigación.

### **3.7. Aspectos éticos**

El estudio cumplirá lo estipulado en la resolución de Vicerrectorado de Investigación N°062-2023-VI-UCV, que es la guía de elaboración de trabajos para obtención de grados y títulos. Asimismo, respetará la resolución universitaria N°0126-2017/UCV, donde se encuentra el código de ética y el reglamento institucional. Además, toda información insertada en el estudio para describir, conceptualizar o sustentar teóricamente una idea será referenciada y citada, a fin de mostrar respeto a la autoría de los investigadores. Finalmente, el estudio será filtrado en el software antiplagio TURNITIN, para verificar que se cumpla con niveles inferiores al 20% de similitud, con la intención de brindar un estudio original.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Tratamiento con Texapon

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la concentración de boro inicial y final (en el líquido) para el tratamiento con Texapon, considerando las variaciones de pH y cantidad de espumante.

*Tabla 4. Resultados con el tratamiento de Texapon, tiempo de operación 10min, 110L/min, concentración inicial de boro 68.7 mg/L*

Código	pH	Cantidad de espumante (g/L)	Concentración Final [B] (mg/L)	Remoción (mg/L)	Remoción (%)
BT-01	5.35	0.5	68	0.7	1.02
BT-02	7.3	0.5	50.7	18	26.20
BT-03	5.42	1.5	64.1	4.6	6.69
BT-04	7.4	1.5	55.6	13.1	19.07
BT-05	6.39	1	48.2	20.5	29.84
BT-06	<b>6.4</b>	<b>1</b>	<b>44.3</b>	<b>24.4</b>	<b>35.52</b>
BT-07	6.35	1	56.4	12.3	17.90
BT-08	6.39	1	61.6	7.1	10.34
BT-09	6.41	1	64.1	4.6	6.69

El máximo valor de remoción fue de 35.52 % y se dio a un pH 6.4, y cuando la cantidad espumante Texapon fue 1g/L.

### 4.2. Tratamiento con Quitosano

Todos los experimentos realizados con Quitosano tuvieron 22.2 °C de temperatura. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de la concentración de boro inicial y final para el tratamiento con Quitosano, considerando las variaciones de pH y cantidad de espumante.

Tabla 5. Resultados con el tratamiento de Quitosano, tiempo de operación 30min, 110L/min, concentración inicial de boro 68.7 mg/L

Código	pH	Cantidad de espumante (g/L)	Concentración Final [B] (mg/L)	Remoción (mg/L)	Remoción (%)
BQ-01	3.28	2.25	62	6.7	9.75
BQ-02	4.14	2.25	62.2	6.5	9.46
BQ-03	<b>3.37</b>	<b>2.75</b>	<b>60.1</b>	<b>8.6</b>	<b>12.52</b>
BQ-04	4.2	2.75	62.2	6.5	9.46
BQ-05	3.55	2.5	63	5.7	8.29
BQ-06	3.58	2.5	63.1	5.6	8.15
BQ-07	3.59	2.5	63	5.7	8.30
BQ-08	3.55	2.5	63	5.7	8.30
BQ-09	3.54	2.5	63.2	5.5	8.01

El máximo valor de remoción fue de 12.52% y se dio a un pH 3.37, y cuando la cantidad espumante quitosano fue 2.75g/L.

### 4.3. Análisis Estadístico

#### 4.3.1. Procesamiento de los Resultados - Texapon:

Luego del análisis de varianza para el modelo de regresión múltiple reportado en el Anexo 5, en la cual estadísticamente se indica que la remoción del boro solo depende de la cantidad de espumante en la región de exploración, el ANOVA para el modelo de segundo orden que incluye solamente la cantidad de espumante adicionada al agua conteniendo boro, es el siguiente:

$$Remocion = k_0 + k_1 espum + k_2 espum^2 \quad (1)$$

Donde:

$espum$ , es la concentración de Texapon en g/L

$k_0, k_1, y k_2$  son los coeficientes del modelo calculado con el criterio de mínimos cuadrados basado en los datos experimentales Chapra (2010) y resuelto en el Anexo 5. Los parámetros del modelo se integran en el vector  $k$ :

$$k = \begin{pmatrix} -28.11 \\ 100 \\ -50.18 \end{pmatrix} \quad (2)$$

El modelo resulta en:

$$Remocion = -28.11 + 100(espum) - 50.18(espum)^2 \quad (3)$$

El análisis de varianza para este modelo esta reportad en la Tabla 6.

**Tabla 6. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - Resumen**

Estadísticas de regresión	
Múltiple R	0.783791
R Cuadrado	0.614329
Estándar Error	6.050248
Observaciones	9

**Tabla 7. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - ANOVA**

	Df	SS	MS	F	Significancia F
Regresión	2	349.849	174.9246	4.778643	0.057366
Residual	5	219.633	36.6055		
Total	8	569.4822			

**Tabla 8. Análisis de ANOVA para el modelo de Texapon - Valores**

	Coefficientes	Estándar Error	t Estadística	Valor P	Bajo 95%	Superior 95%	Bajo 95.0%	Superior 95.0%
Intercepta	-28.11	15.77712	-1.78169	0.125083	-66.7152	10.49521	-66.7152	10.49521
V. espum	100.01	33.027936	3.028044	0.023156	19.19358	180.8264	19.19358	180.8264
V. espum <sup>2</sup>	-50.18	16.23452	-3.09094	0.021362	-89.9044	-10.4556	-89.9044	-10.4556

Estadístico-F para significancia de ambas variables  $k_1, k_2$

Hipótesis Nula  $H_0: k_1 = k_2 = 0$  la reducción de la concentración de boro no depende de la masa de espumante.

Hipótesis Alterna  $H_1: k_1 \neq 0$  y  $k_2 \neq 0$  la reducción de la concentración de boro depende de la masa de espumante

Según el estadístico descrito en la Tabla 7 rechazamos la  $H_0$  y aceptamos  $H_1$ , donde la reducción de la concentración de boro depende de la masa de espumante con 94.3% del nivel de confianza.

#### 4.3.2. Procesamiento de los Resultados - Qitosano:

Luego del análisis de varianza para el modelo de regresión múltiple reportado en el Anexo 5. A continuación, se presentan las tablas del análisis ANOVA.

**Tabla 9. Análisis de ANOVA para el modelo de Qitosano - Resumen**

Estadísticas de regresión	
Múltiple R	0.997326
R cuadrado	0.994658
Ajuste R	0.989317
Estándar Error	0.101636
Observaciones	9

**Tabla 10. Análisis de ANOVA para el modelo de Quitosano - ANOVA**

	Df	SS	MS	F	Significancia F
Regresión	4	7.69423	1.9235	186.21	8.53E-05
Residual	4	0.04132	0.0103		
Total	8	7.73555			

**Tabla 11. Análisis de ANOVA para el modelo de Quitosano - Valores**

	Coefficientes	Estándar Error	t Estadística	Valor P	Bajo 95%	Superior 95%	Bajo 95%	Superior 95%
Intercepta	183.0621	7.36	24.871	1.55E-5	162.6	203.497	162.626	203.497
V. quito	-306.46	19.09	-16.048	8.82E-5	-359.4	-253.441	359.479	253.441
V. pH	110.126	11.67	9.4366	0.0007	77.7	142.527	77.7248	142.527
V. quito <sup>2</sup>	61.63816	3.811	16.169	8.56E-5	51.05	72.221	51.0544	72.2218
V. pH <sup>2</sup>	-14.8783	1.557	-9.5514	0.0007	-19.20	-10.55	19.2032	10.5534

Los valores de p son todos menores a 0.05, indicando que los coeficientes del modelo no pueden ser ceros. En el rango de experimentación la remoción de boro depende del segundo orden de las variables cantidad de espumante y del pH.

El modelo para la extracción del boro del agua usando Quitosano y regulando el pH está basado en el ANOVA reportada en la tabla anterior, con coeficiente de regresión de 0.9:

$$remocion = 183 - 306.5(quito) + 110(pH) + 61.6(quito)^2 - 14.88(pH)^2 \quad (4)$$

En la ecuación 4 los coeficientes cuadráticos son de signos opuestos, por lo que en la región de exploración no hay un máximo y tampoco un mínimo, matemáticamente esto representa una línea de inflexión la cual es una transición de pendientes de positivo a negativo.

La hipótesis Nula H0: La reducción de la concentración de boro no depende de la cantidad de quitosano y del pH

La hipótesis Alterna H1: La reducción de la concentración de boro depende de la cantidad de quitosano y del pH

Como el estadístico F(186) es mayor que Fcrítico ( $8.5 \times 10^{-5}$ ) se rechaza H0.



## V. DISCUSIÓN

Los resultados respecto a la remoción de boro usando texapon descritos en la Tabla 4, indican que el mayor valor obtenido es de 35% de remoción de boro en el agua. Sin embargo, Bai *et al.* (2018), reportaron una remoción de 45% del boro inicialmente en el agua, usando el espumante convencional dodecyl-bencen-sulfonato (DDBS) mezclado con d-mannitol como colector para separar el boro del agua. Esta diferencia en los resultados de remoción se puede deber al uso de un colector adicional, el cual potencia la separación de boro en el proceso de flotación.

Respecto a la dosis aplicada de Texapon en estos experimentos mostrados en la Tabla 4; la dosis de 1g/L obtuvo la mejor remoción (35%) de boro en la solución. Esta dosis considerada estuvo relacionada a la media de la dosis utilizada por Bai *et al.* (2018), quienes emplearon 2g por 600ml (3.33g/L) de DDBS más un colector d-mannitol que facilitaba la disolución y mejor manejo del espumante, logrando una remoción de 45% de boro, durante su investigación evidenciaron que, al aumentar la dosis, disminuye la remoción del boro en la solución, esto se debe a que al aumentar dosis de espumante genera una saturación en su sistema, evidenciando la caída de los valores de la remoción. La dosis que obtuvo un mejor resultado en la presente investigación fue la dosis intermedia esto relacionado con Chang *et al.* (2019), quienes indican que para el proceso de flotación se debe tener en cuenta la dosis adecuada de espumante ya que esto está relacionado con el aumento en las características del proceso, como la velocidad del burbujeo y el tiempo, y si no se tiene un buen manejo de la cantidad adecuada se puede evidenciar la afectación en el proceso.

Respecto a los valores de pH utilizados para la remoción de boro en el agua mostrados en la Tabla 4, el mejor resultado se obtuvo en un pH de 6.4. Según los hallazgos de estudios similares, tales como Bai *et al.* (2018), indicaron que para el proceso de flotación de iones usando espumantes como el DDBS, se logra una separación favorable del boro a un pH de 6, demostrando que al acercarse a un pH neutro el proceso de remoción empezó a descender ya que a mayor pH disminuye la presencia del ácido bórico en la solución. Así como, Shakir *et al.* (2010), que

durante su proceso de flotación con el espumante Texapon, mostraron que la regulación del pH está relacionada a su comportamiento, en su investigación tuvieron un mejor resultado cuando regularon el pH a 5.9, ya que al disminuir este valor el Texapon formó burbujas más grandes y se volvió inestable. Asimismo, En la presente investigación se evaluó la cantidad de boro en su estado natural en el agua como ácido bórico, en línea con lo mencionado por Rodríguez *et al.* (2001), quienes sostienen que las características del ácido bórico se mantienen en pH de 6.5. Asimismo, de acuerdo a Kluczka *et al.* (2021) sostiene que las moléculas de ácido bórico se encuentran presentes en pH de 7 y que al aumentar el pH la presencia del boro como ácido bórico cambia.

Para el caso de Quitosano, tal como muestra en la Tabla 5 la mayor remoción de boro en el agua fue de 12%. A diferencia de Taşçı *et al.* (2022), quienes utilizaron Quitosano sintetizado, logrando separar 70% de boro. Asimismo, Kluczka *et al.* (2021), aplicaron quitosano en estado hidrogel logrando separar el 60% del ácido bórico en el agua. Por lo cual, encontramos que la diferencia en los niveles de remoción entre los estudios depende del tipo de proceso utilizado, el presente trabajo uso un proceso de flotación mientras que los otros autores utilizaron un mecanismo de adsorción para la separación de boro. Asimismo, la diferencia entre ambos resultados puede atribuirse a la calidad del adsorbente Quitosano en nuestro experimento se usó Quitosano de grado comercial, mientras que los otros autores utilizaron Quitosano sintetizado producido en su laboratorio y Quitosano como hidrogel.

Respecto a la dosis del Quitosano, tal como muestra en la Tabla 5, la mayor remoción de boro se obtuvo con la mayor dosis (2.75g/L) en un tiempo de 30 min. La dosis utilizada fue similar las dosis consideradas en las investigaciones de Taşçı *et al.* (2022), quienes usaron dosis de 3.5g/L de Quitosano sintetizado para tratar el agua con boro en el proceso de adsorción en un tiempo de 60 min, así como en la investigación de Kluczka *et al.* (2021), que aplicaron Quitosano en estado hidrogel con una dosis de 3 g/L que eliminó el ácido bórico del medio acuoso durante un tiempo de adsorción de 2 h. Esta diferencia de dosis se debe a que los autores en mención emplearon el proceso de adsorción para la separación de boro

en el agua, mientras que en la presente investigación se utiliza el proceso de flotación donde se fomenta la generación de espumas mediante el ingreso de aire al sistema, teniendo en cuenta que la dosis de Quitosano debe ser limitada, de lo contrario el funcionamiento del sistema se podría ver afectado.

Respecto al pH utilizado para el proceso con Quitosano, la mayor remoción de boro obtenida fue luego de ajustar el pH a 3.4. Estos resultados coinciden con valores de la investigación de Taşçı *et al.* (2022), quienes utilizaron un rango de pH de 2 a 12 en el proceso de adsorción mediante Quitosano sintetizado, logrando la mayor remoción a pH de 2 a 5.4, evidenciado un descenso en la remoción a pH mayores a 5.4. Asimismo, Hu *et al.* (2011), utilizaron un rango de pH de 1 a 8 para la adsorción de iones metálicos en una solución acuosa empleando resina de Quitosano, cuya mejor remoción se obtuvo a un pH de 2. Este análisis apoya la teoría que la mayoría de elementos se adsorben mejor en medio ácido, considerando que el ácido bórico es una de las principales formas químicas en el agua natural, y para mantener la estabilidad del ácido bórico en el sistema se debe ajustar el pH en un rango ácido. Adicionalmente, la solución en un pH ácido fomenta la disolución del Quitosano, facilitando de esa manera el proceso de flotación del boro en el agua.

Respecto al análisis estadístico, tenemos que, para el texapon el rango utilizado de pH en esta experimentación no se considera significativo para el proceso, sin embargo, si se considera significativo la relación de la cantidad de espumante utilizado. A diferencia del análisis del quitosano, que la variación de pH y cantidad de espumante son significativos y mantienen una relación durante el proceso. Tal como Bai *et al.* (2018), quienes durante su análisis ANOVA determinaron que el pH son factores operativo más incluyentes durante su estudio.

De acuerdo a nuestros resultados podemos establecer que el Texapon es más eficiente separando al boro por flotación en agua respecto a la flotación de boro con Quitosano la máxima separación obtenida con Texapon fue de 35% mientras que la separación del boro con Quitosano por flotación fue de 12.5%, esto se atribuye al efecto combinado de las variables pH y cantidad de espumante. El

proceso de flotación utilizando los espumantes de la presente investigación, podrían mejorarse planteando un tratamiento secuencial en más columnas que podría concluir en una remoción total mayor a la obtenida. Asimismo, la calidad de ambos espumantes utilizados en este estudio podría ser mejorada lo que permitiría una mejor recien, además se sugiere agregar un colector adicional favorecer y mejorar el proceso.

## VI. CONCLUSIONES

1. La dosis de 1g de texapon y 2.75g de quitosano, lograron las mayores remociones de boro que fueron 35.52 y 12.52% respectivamente. Para el caso de texapon el aumento de la dosis no reflejó una mejora en la remoción de boro, porque aplicar una mayor dosis de espumante limitó el proceso de flotación del boro, que es lo que sucedió con el caso del quitosano, que al aplicarse en dosis superiores al texapon, su nivel de remoción de boro fue inferior.
2. Los pH ácidos de 6.4 en texapon y 3.37 en quitosano, lograron las mayores remociones de boro que fueron 35.52 y 12.52% respectivamente, porque el ácido bórico es una de las principales formas químicas del boro en el agua natural, y para mantener la estabilidad del ácido bórico en el sistema se debe ajustar el pH en un rango ácido. Adicionalmente, la solución en un pH ácido fomenta la disolución del Quitosano, facilitando de esa manera el proceso de flotación del boro en el agua.
3. Los experimentos de separación de boro por flotación con agentes espumantes, lograron mayores remociones con la aplicación de mínimas dosis porque el uso de mayores cantidades de espumante satura la solución limitando el proceso de flotación del boro. Además, se evaluó la cantidad de boro en su estado natural en el agua como ácido bórico el cual mantiene sus características en rangos de pH de 6.5 a 7. Por ello, el texapon alcanzó mayor eficiencia de remoción de boro que el quitosano.

## VII. RECOMENDACIONES

Evaluar para futuros trabajos realizar un tratamiento por flotación mediante un sistema secuencial, con la finalidad de maximizar el proceso de remoción de boro. La alternativa para mejorar la separación del boro es interconectar la parte baja de una columna con otras de modo que el proceso de tratamiento se transforme de lotes a proceso continuo.

Se sugiere se puede adicionar un tratamiento como la adsorción al proceso, esto mejoraría en el tratamiento de agua para la reducción de la concentración de boro. Asimismo, puede considerarse otros aditivos como el dodecyl-bencen-sulfonato (DDBS) y el Ácido Laurico.

Profundizar los estudios respecto al rango de pH utilizando en una solución con pH ácido; sin embargo, se puede realizar la experimentación para futuros proyectos regulando el pH a un rango básico usando como espumante Texapon, y evaluando la estabilidad de la espuma durante el proceso de remoción.

## REFERENCIAS

- ALMUSTAFA, G., SULAIMAN, R., KUMAR, M., ADEYEMI, I., ARAFAT, H.A. y ALNASHEF, I., 2020. Boron extraction from aqueous medium using novel hydrophobic deep eutectic solvents. *AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings* [en línea]. S.I.: American Institute of Chemical Engineers, [consulta: 3 diciembre 2023]. vol. 2020-November. ISBN 9780816911141. DOI 10.1016/j.cej.2020.125173. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720311657?via%3Dihub>.
- ARRIAZA, B., FIGUEROA TAGLE, L., STANDEN, V., ARAVENA SÁNCHEZ, N., VIZCARRA ROJAS, A. y CONTRERAS CARMONA, C., 2022. Sobreingesta de boro durante la época precolombina en las poblaciones de Arica: implicancias biológicas y culturales. *Estudios Atacameños* [en línea], vol. 68, [consulta: 3 diciembre 2023]. DOI 10.22199/issn.0718-1043-2022-0024. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/eatacam/v68/0718-1043-eatacam-68-24.pdf>.
- BAI, C., GUO, M., LIU, Z., WU, Z. y LI, Q., 2018. A novel method for removal of boron from aqueous solution using sodium dodecyl benzene sulfonate and D-mannitol as the collector. *Desalination* [en línea], vol. 431, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2017.12.028. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916417318180>.
- BAI, C., ZHANG, H., LUO, Q., YE, X., LIU, H., LI, Q., LI, J., & WU, Z., 2023. Boron separation by adsorption and flotation with Mg–Al-LDHs and SDBS from aqueous solution. *Chinese Journal of Chemical Engineering, Desalination* [en línea], 61. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2023.02.009>
- BANCO MUNDIAL, 2022. El agua en la agricultura. [en línea]. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>.
- CELIK, M.S., HANCER, M. y MILLER, J.D., 2002. Flotation chemistry of boron minerals. *Journal of Colloid and Interface Science* [en línea], vol. 256, no. 1,

- [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 00219797. DOI 10.1006/jcis.2001.8138. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002197970198138X>.
- CHANG, L., CAO, Y., FAN, G., LI, C. y PENG, W., 2019. A review of the applications of ion floatation: Wastewater treatment, mineral beneficiation and hydrometallurgy. *RSC Advances* [en línea], vol. 9, no. 35, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 20462069. DOI 10.1039/c9ra02905b. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9065568/>.
- CHILLÓN, M., 2009. Reducción de boro en aguas procedentes de la desalación. [en línea], [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13838/1/Tesis\\_Chillon.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13838/1/Tesis_Chillon.pdf).
- DAMŞA, C. y JORNET, A., 2021. The unit of analysis in learning research: Approaches for imagining a transformative agenda. *Learning, Culture and Social Interaction* [en línea], vol. 31, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 2210657X. DOI 10.1016/j.lcsi.2020.100407. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210656120300775>.
- ESCUADERO, C.L., LILIANA, S. y CORTEZ SUÁREZ, A., 2018. Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. . S.l.:
- FLORES, T., 2020. *Propuesta para el manejo y tratamiento de aguas de uso agrícola: Aplicación en la zona norte de Chile* [en línea]. Chile: Universidad de Chile. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176232/Propuesta-para-el-manejo-y-tratamiento-de-aguas-de-uso-agr%C3%ADCOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- GALINDO, G., 2019. El Design Thinking: una técnica que conquista nuevos mercados Desing Thinking: a technique that conquers new markets. *Grado Cero* [en línea], [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 2683-9784. Disponible en: [http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/4817/Galindo\\_El\\_Design\\_Thinking.pdf?sequence=1](http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/4817/Galindo_El_Design_Thinking.pdf?sequence=1).



- HANCER, M. y CELIK, M.S., 1993. Flotation Mechanisms of Boron Minerals. *Separation Science and Technology* [en línea], vol. 28, no. 9, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 15205754. DOI 10.1080/01496399308019037. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/01496399308019037?needAccess=true>.
- HERNÁNDEZ MENDOZA, S. y DUANA AVILA, D., 2020. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* [en línea], vol. 9, no. 17, ISSN 2007-4913. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/issue/archive>.
- HIDALGO, C., 2022. Análisis de tecnologías de remoción de ácido bórico en el proceso de desalación de agua de mar. [en línea]. S.l.: [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.atalca.cl/handle/1950/12984>.
- HU, X. JIANG, WANG, J. SONG, LIU, Y. GUO, LI, X., ZENG, G. MING, BAO, Z. LEI, ZENG, X. XIA, CHEN, A. WEI Y LONG, F., 2011. Adsorption of chromium (VI) by ethylenediamine-modified cross-linked magnetic chitosan resin: Isotherms, kinetics and thermodynamics. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 185, no. 1, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2010.09.034. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410011933>.
- KLUCZKA, J., DUDEK, G., PUDŁO, W., KAZEK-KĘSIK, A. y TURCZYN, R., 2021. Boron removal by sorption on modified chitosan hydrogel beads. *Materials* [en línea], vol. 14, no. 19, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 19961944. DOI 10.3390/ma14195646. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34640049/>.
- LOPALCO, A., LOPEDOTA, A. A., LAQUINTANA, V., DENORA, N., & STELLA, V. J., 2020. Boric Acid, a Lewis Acid With Unique and Unusual Properties: Formulation Implications. In *Journal of Pharmaceutical Sciences. Materials* [en línea], Vol. 109, Issue 8, pp. 2375–2386. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2020.04.015>

- MALAVÉ ACUÑA, A., 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas Soils as boron source for plants. *Revista UDO Agrícola* [en línea], vol. 5, no. 1, [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221579>.
- MARCELA, C., 2021. Física y fisicoquímica de espumas líquidas. Espumas inteligentes. [en línea]. S.l.: [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5863/DOMINGUEZ%20C.M.-TESIS.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- MCCOMBES, S., 2023. Métodos de muestreo, tipos, técnicas y ejemplos. [en línea]. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.scribbr.com/methodology/sampling-methods/#:~:text=A%20sample%20is%20a%20subset,a%20sample%20of%20100%20students>.
- MINISTERIO DE SALUD DE CHILE, 2020. Boro Antecedentes. [en línea]. Chile: [consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=55688&prmTIPO=DOCUMENTO> COMISION.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL JORGE BASADRE, 2023. Estudio de Hidrología. [en línea]. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: [http://www.munijorgebasadre.gob.pe/pagina/web\\_inst/prov\\_hid\\_hidrologia.php](http://www.munijorgebasadre.gob.pe/pagina/web_inst/prov_hid_hidrologia.php) p.
- NIKOLOPOULOU, K., 2019. Métodos de muestreo | Tipos, técnicas y ejemplos. [en línea]. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.scribbr.com/methodology/non-probability-sampling/>.
- PENG, W., CHANG, L., LI, P., HAN, G., HUANG, Y. y CAO, Y., 2019. *An overview on the surfactants used in ion flotation* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732219313960>.

- POWALE, R. S., & BHAGWAT, S. S., 2006. Influence of electrolytes on foaming of sodium lauryl sulfate. *Journal of Dispersion Science and Technology* [en línea], 27(8), 1181–1186. <https://doi.org/10.1080/01932690600859804>
- PRASANTHAN, P., 2015. Study on acidic degradation of SLES and its impact on phase behavior. A thesis submitted towards partial fulfillment of BS-MS Dual Degree Programme. [en línea]. S.I.: [consulta: 4 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dr.iiserpune.ac.in:8080/xmlui/handle/123456789/499>.
- RANDRIAMAMONJY, T.H., ONTIVEROS, J.F., ANDRIANJAFY, M.T., SAMIEZ, P., BERLIOZ-BARBIER, A., NARDELLO-RATAJ, V., AUBRY, J.M., RAMANANDRAIBE, V. y LEMAIRE, M., 2022. Comparative study on the amphiphilicity, emulsifying and foaming properties of saponins extracted from *Furcraea foetida*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [en línea], vol. 653, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 18734359. DOI 10.1016/j.colsurfa.2022.129923. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775722016788>.
- RAVELO, B., 2012. *Adsorción de boro del agua* [en línea]. S.I.: Universidad Politécnica de Catalunya. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16358/Mem%C3%B2ria.pdf>.
- RODRIGUEZ PASTOR, M., FERRHNDIZ RUIZ, A., CHILL, M. y PRATS RICO, D., 2001. Influence of pH in the elimination of boron by means of reverse osmosis. *Desalination* [en línea]. S.I.: Disponible en: [www.elsevier.com/locate/desal](http://www.elsevier.com/locate/desal).
- SANA, S., QADIR, A., MUMTAZ, M., EVANS, N.P. y AHMAD, S.R., 2021. Spatial trends and human health risks of organochlorinated pesticides from bovine milk; a case study from a developing country, Pakistan. *Chemosphere* [en línea], vol. 276, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.130110. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521005798>.
- SHAKIR, K., ELKAFRAWY, A.F., GHONEIMY, H.F., ELRAB BEHEIR, S.G. y REFAAT, M., 2010. Removal of rhodamine B (a basic dye) and thoron (an acidic dye) from dilute aqueous solutions and wastewater simulants by ion flotation.

- Water Research* [en línea], vol. 44, no. 5, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 00431354. DOI 10.1016/j.watres.2009.10.029. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135409007027>.
- SHOJAEIMEHR, T., SCHWARZE, M., LIMA, M.T. y SCHOMÄCKER, R., 2022. Correlation of performance data of silica particle flotations and foaming properties of cationic and nonionic surfactants for the development of selection criteria for flotation auxiliaries. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [en línea], vol. 649, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 18734359. DOI 10.1016/j.colsurfa.2022.129159. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775722009141>.
- SKORZEWSKA, K., JONCHÈRE, A., PASQUIER, C., GIRARD, L., & BAUDUIN, P., 2023. Superchaotropic ion flotation: A new concept for the extraction and separation of nanometer-sized ions by non-ionic surfactant-based foams. *Separation and Purification Technology*, [en línea], 323. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124284>
- TAŞÇI, T., KÜÇÜKYILDIZ, G., HEPYALÇIN, S., CİĞEROĞLU, Z., ŞAHİN, S. y VASSEGHIAN, Y., 2022. Boron removal from aqueous solutions by chitosan/functionalized-SWCNT-COOH: Development of optimization study using response surface methodology and simulated annealing. *Chemosphere*, vol. 288, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.132554.
- TOVAR, O., 2018. Arsénico y boro en el río Tambo. *Revista Energiminas* [en línea], [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <https://energiminas.com/arsenico-y-boro-en-el-rio-tambo-a-proposito-de-lo-que-dijo-la-ministra-munoz/>.
- VILLASÍS-KEEVER, M.Á., MÁRQUEZ-GONZÁLEZ, H., ZURITA-CRUZ, J.N., MIRANDA-NOVALES, G. y ESCAMILLA-NÚÑEZ, A., 2018. Research protocol VII. Validity and reliability of the measurements. *Revista Alergia Mexico* [en línea], vol. 65, no. 4, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 24489190. DOI 10.29262/ram.v65i4.560. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/ram/v65n4/2448-9190-ram-65-04-414.pdf>.
- WAN NAFI, A. y TASEIDIFAR, M., 2022. *Removal of hazardous ions from aqueous solutions: Current methods, with a focus on green ion flotation* [en línea]. 2022.

S.I.: s.n. [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722012397>.

XU, Y. y JIANG, J.Q., 2008. Technologies for boron removal. *Industrial and Engineering Chemistry Research* [en línea], vol. 47, no. 1, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 08885885. DOI 10.1021/ie0708982. Disponible en:  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie0708982>.

ZHANG, W., 2016. The Effects of Frothers and Particles on the Characteristics of Pulp and Froth Properties in Flotation—A Critical Review. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* [en línea], vol. 04, no. 04, [consulta: 3 diciembre 2023]. ISSN 2327-4077. DOI 10.4236/jmmce.2016.44023. Disponible en:  
[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=68097](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/journal/paperinformation.aspx?paperid=68097).

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz Operacional

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medición
<b>Variable Independiente:</b> Agentes espumantes	Los espumantes son agentes químicos que permite estabilizar burbujas de gas en un líquido, usualmente tiene grupos funcionales hidroxilo-OH los cuales juegan un rol importante para retener diversos componentes afines polares.	El Texapon y el Quitosano son agentes espumantes, que son caracterizados respecto a su densidad y su nivel de pH que permite que la solución esté disponible para estabilizar burbujas provenientes de la profundidad del líquido. Posteriormente se evaluó los tratamientos con espumantes que tienen grupos hidroxilos para retener selectivamente al boro.	pH	Acidez del Agua	Adimensional
			Dosis de espumantes	T1 Cantidad de Texapon	g/L
<b>Variable Dependiente:</b> Concentración de Boro en agua	La concentración de boro en agua superficial alcanza valores dramáticos en algunos casos los valores se aproximan a 8ppm, las normas nacionales establecidas para agua Categoría 3 D1, utilizado para riego de vegetales recomienda el máximo de 1 ppm.	Se evaluó las propiedades fisicoquímicas y el nivel de concentración de boro en el agua antes y después del tratamiento con espumas, a fin de corroborar su capacidad de remoción.	Reducción de la concentración de boro en el agua	Boro inicial	mg/L
				Boro Final	mg/L
				$\%RB = P \left( \frac{CBi - CBf}{CBi} \right) \times 100\%$	
				Donde: %RB: Porcentaje de reducción de la concentración de boro CBi: Boro inicial CBf: Boro final	%

## Anexo 2. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Método
¿Cuál es la reducción de la concentración de boro en el agua con agentes espumantes?	Reducir la concentración de boro en el agua con agentes espumantes	La concentración del boro en el agua se reduce al aplicar agentes espumantes	Agentes espumantes	pH  Dosis de espumantes	Acidez del Agua  Cantidad de Texapon  Cantidad de quitosano	<b>Tipo:</b> Experimental-Exploratorio  <b>Diseño:</b> Factorial de tipo 2 <sup>k</sup>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Nivel:
¿Cuáles son las dosificaciones de espumantes que reducen la concentración de boro en el agua?	Determinar las dosificaciones de espumantes para reducir la concentración de boro en el agua	La dosis más alta de espumantes permiten reducir la concentración de boro en el agua	Concentración de Boro en agua	Reducción de la concentración de boro en el agua	Boro inicial  Boro Final	<b>Nivel:</b> Básica  <b>Población:</b> 40 litros de agua con boro
¿Cuál es el pH en el agua que reduce la concentración de boro?	Determinar el pH para reducir la concentración de boro en el agua	El pH más alto permite reducir la concentración de boro en el agua.			$\%RB = P \left( \frac{CBi - CBf}{CBi} \right) \times 100\%$ Donde: %RB: Porcentaje de reducción de la concentración de boro CB <sub>i</sub> : Boro inicial CB <sub>f</sub> : Boro final	<b>Muestra:</b> 19 litros de agua con boro: 9 muestras de 1 litro por cada espumante.

### Anexo 3. Instrumentos

	<b>FICHA DE REGISTRO DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA – Preparación de Stock</b>
<b>Datos Generales</b>	
<b>Título</b>	Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>Autores</b>	- Marquina Luciano, Janina Lucia - Paredes Torres, Cristina Janeth
<b>Asesor</b>	Valdiviezo Gonzales Lorgio Gilberto
<b>Datos de la muestra Stock</b>	
<b>Temperatura (°C):</b>	
<b>pH:</b>	
<b>Concentración de Boro (ppm)</b>	

	<b>FICHA DE REGISTRO DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA – Preparación de Muestra Inicial</b>
<b>Datos Generales</b>	
<b>Título</b>	Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>Autores</b>	- Marquina Luciano, Janina Lucia - Paredes Torres, Cristina Janeth
<b>Asesor</b>	Valdiviezo Gonzales Lorgio Gilberto
<b>Datos de la muestra Inicial</b>	
<b>Temperatura (°C):</b>	
<b>pH:</b>	
<b>Concentración de Boro (ppm);</b>	





## FICHA DE REGISTRO DE PROPIEDADES DEL TRATAMIENTO

### Datos Generales

<b>Título</b>	Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>Autores</b>	- Marquina Luciano, Janina Lucia - Paredes Torres, Cristina Janeth
<b>Asesor</b>	Valdiviezo Gonzales Lorgio Gilberto

### Datos del Tratamiento:

Flujo de aire (L/min):				
Tratamientos con espumantes	Repeticiones	Temperatura (°C)	pH (unidad de pH)	Cantidad de espumante (gr)
Qitosano	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
Texapon	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			



## FICHA DE REGISTRO DE PROPIEDADES DESPUES DEL TRATAMIENTO

### Datos Generales

<b>Título</b>	Reducción de la concentración de boro en agua con agentes espumantes, Los Olivos-2023
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>Autores</b>	- Marquina Luciano, Janina Lucia - Paredes Torres, Cristina Janeth
<b>Asesor</b>	Valdiviezo Gonzales Lorgio Gilberto

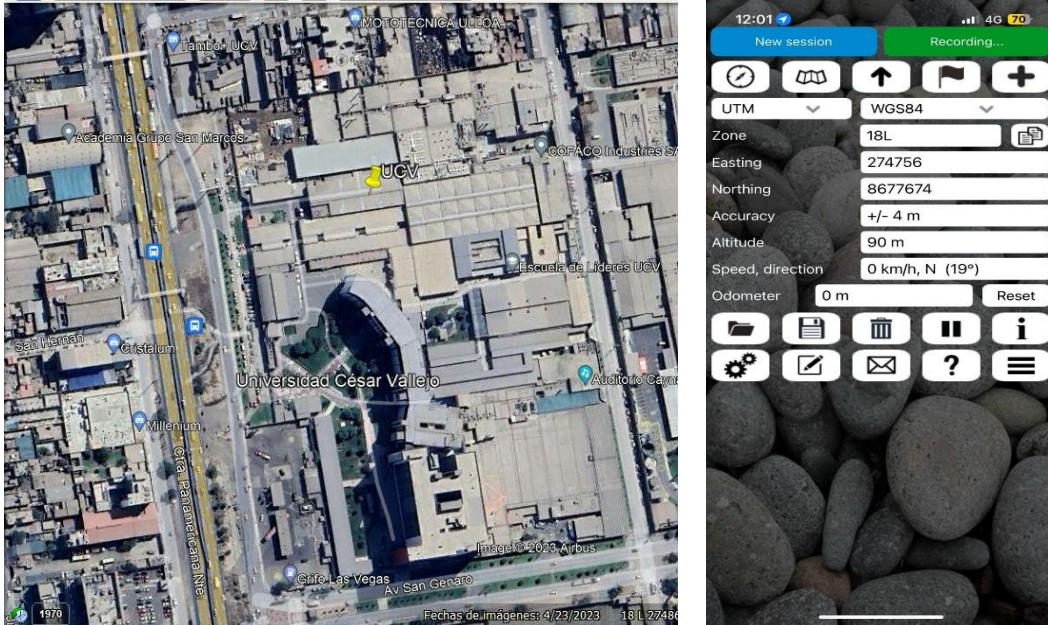
### Datos del Tratamiento:

Flujo de aire (L/min):				
Tratamientos con espumantes	Repeticiones	pH (unidad de pH)	Cantidad de espumante (gr)	Boro (mg/L)
Qitosano	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
Texapon	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			

## Anexo 4. Procedimientos

### 1. Pre-tratamiento

Este proceso de tratamiento fue realizado en el laboratorio de Química en la universidad Cesar Vallejo Sede Lima Norte.



**Ubicación**

#### a. Materiales, insumos y equipos

##### - Materiales

Los materiales usados para la investigación fueron 5 tubo de PVC transparente de 2" de diámetro y 60 cm de alto, los cuales para el tratamiento tuvieron que ser ensamblados con 5 reducciones de agua de 1/2", adaptadas a 5 llaves compuerta de 1/2 para recolectar las muestras. En la parte superior contó con un captador de espuma por tubería en ángulo de 90° (forma de codo).

Como parte del funcionamiento del equipo se conectaron 5 manguillas 1.5 m cada 1, que trasladarían aire y saldría por 5 piedra difusoras para aumentar las burbujas. Para la recolección de las muestras se utilizaron jarras de 1L de plástico y envases pavonados de 500ml.



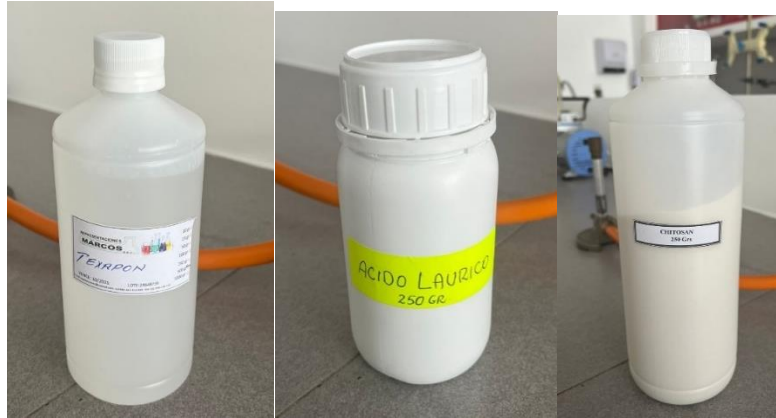
**Materiales**

**- Insumos**

Para la investigación se realizó la adquisición de insumos necesarios para todos los tratamientos, empezando por 60 litros agua destilada, que nos ayudara para el proceso de preparación de muestra stock y muestras para cada tratamiento. Nuestra muestra inicial estará elaborada utilizando 20 g Bórax al 100 %. Para el tratamiento con agentes espumantes se utilizó, 20g de Texapon, 20ml de ácido Láurico y 50g de Quitosano. Como parte del proceso se utilizará 100ml ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) glacial al 99%.

Para la preservación de las muestras antes de ser enviadas al laboratorio se usó 20ml de ácido nítrico.

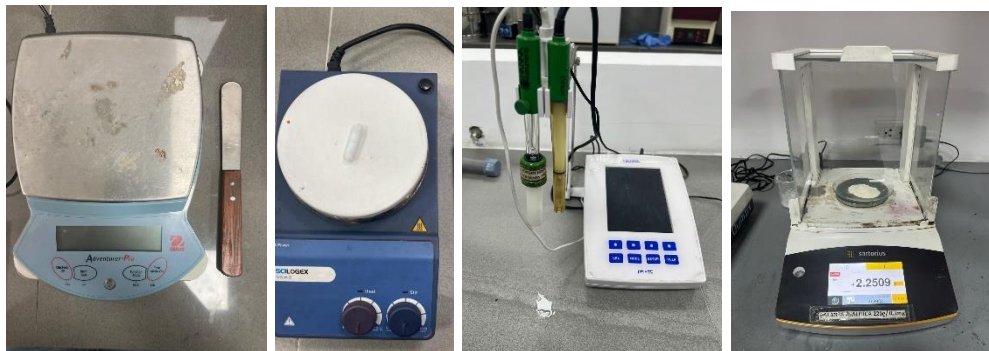




**Insumos**

### - Equipos

Durante el proceso del tratamiento se utilizó lo siguientes equipos: Bomba de aire de 110L/min para el abastecimiento de aire al tratamiento, adicionalmente del laboratorio de química se utilizaron los equipos, balanza analítica, agitador magnético, Multiparámetro e instrumentos como vasos precipitados, espátulas lunas de reloj, papel filtro goteros y soportes universales.



**Equipos**

### b. Preparación de muestra stock

Para la investigación de vio conveniente utilizar una muestra stock de agua con boro en una concentración inicial, esto con la finalidad de tener una sola población a tratar, y tener unificado el agua con boro para cada tratamiento.

Para realizar la muestra stock se utilizó la siguiente formula:

Datos:

- Bórax:  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- M Bórax: 381.37g/mol



- Masa inicial de Borax = 9.5g

Calculo de concentración de Boro de muestra stock:

1. Moles de Bórax =  $9.5g \times \frac{1 \text{ mol}}{381.37g/mol} = 0.025 \text{ mol Bórax}$

2. Moles de Boro =  $0.025 \text{ mol Borax} \times \frac{4 \text{ mol B}}{1 \text{ mol Borax}} = 0.100 \text{ mol B}$

3. Masa de Boro =  $0.100 \text{ mol B} \times \frac{10.8gB}{1 \text{ molB}} = 1.08gB$

4. Concentración de Boro en 5L de agua =  $\frac{1.08gB}{5L} = \frac{0.216g}{L} B$

5. CC en ppm de boro =  $\frac{0.216g}{L} B \times \frac{1000mgB}{1gB} = \frac{216mg}{L} = 216 \text{ ppm}$

De acuerdo a los datos anteriores, se realizó la preparación de la muestra stock pesando 9.5g de Bórax, mezclándolo en ½ L de agua destilada en el agitador magnético por 15min, esta preparación fue diluida en 4.5L de agua destilada para llegar a los 5L de muestra stock.



**Preparación muestra stock**

### **c. Preparación de muestra para el tratamiento con espumantes**

Luego de la preparación de la muestra stock, se procedió a preparar la muestra para cada tratamiento de agua con boro con concentración de 65ppm considerando lo siguiente:

Datos:

- CC de muestra stock = 216 ppm
- Cantidad de agua con boro: 5 L

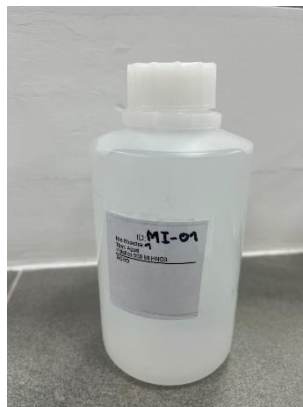
Calculo de la muestra a 65ppm de agua con boro

$$\frac{5L \times 65ppm}{216ppm} = 1.5L$$

Se extrajo 1.5L de la muestra stock y se agregó 3.5L de agua destilada para llegar a los 5 litros necesarios para el tratamiento con agentes espumantes, es necesario precisar que para cada tratamiento se realizará este procedimiento.

#### **d. Análisis de la muestra stock**

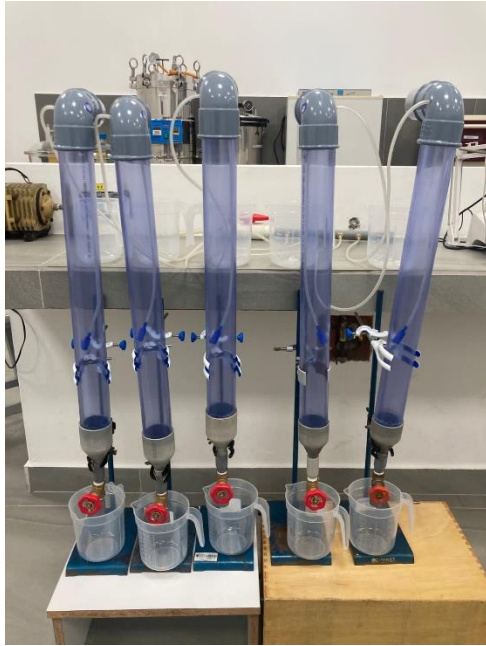
La muestra stock fue enviada a laboratorio acreditado por INACAL con la finalidad de corroborar la fórmula utilizada.



**Muestra inicial**

#### **e. Montaje de sistema de tratamiento**

Se realizó el montaje del sistema de tratamiento, instalando los 5 tubos de PVC de forma paralela conectándolos con las manguerillas para abastecer el aire al tratamiento.



## Montaje del sistema de tratamiento

### 2. Tratamiento

#### a. Introducción de agua contaminada en el sistema de tratamiento

Se ingresó 1L de muestra contaminada (agua destilada mezclada con boro) en cada tubo del sistema de tratamiento.

#### b. Proceso de aireación

Se desarrolló por medio de conexión de mangueras y piedras difusoras durante 30 minutos hasta la obtención de burbujas.



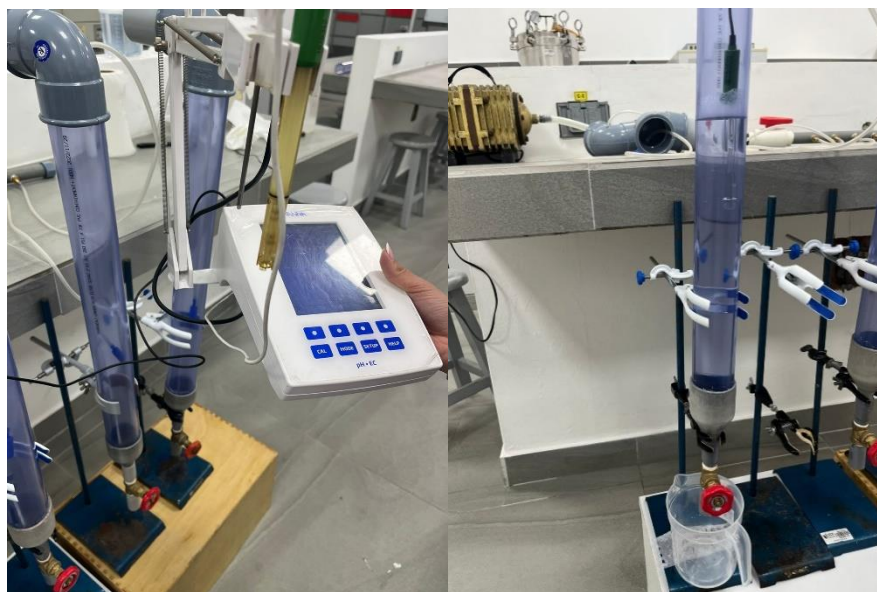


**Proceso de aireación**

### **c. Regulación de pH del agua**

Se reguló el pH del agua contaminada agregando ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), llevándolo hasta un medio ácido para el óptimo desempeño del sistema de tratamiento.

- Tratamiento con Texapon; para el tratamiento con Texapon se realizó la regulación de pH en 4, 6 y 7.
- Tratamiento con Quitosano; para el tratamiento con Quitosano se realizó la regulación de pH en 3, 3.5 y 4.



**Regulación de pH**

#### **d. Dosificación de espumante**

Se realizó el pesaje de las cantidades de espumante seleccionadas para someter a prueba y se añadieron al sistema de tratamiento.

- Tratamiento con Texapon; se pesó en una luna de reloj en la balanza analítica las cantidades de texapon siguiendo el diseño experimental con los siguientes valores 0.5g, 1g y 1.5g. Luego de pesado el Texapon fue diluido en el agitador magnético en 300ml de agua destilada. Se pasó a agregar 200ml de la dilución en los tubos del sistema de tratamiento.
- Tratamiento con Quitosano; se pesó en una luna de reloj en la balanza analítica las cantidades de Quitosano siguiendo el diseño experimental con los siguientes valores 2.25g, 2.5g y 2.75g. Luego de pesado el Quitosano se pasó a agregar 200ml de la dilución en los tubos del sistema de tratamiento



**Dosificación del espumante**

#### **e. Captación de espumas**

Una vez agregado el espumante se recolectó la espuma mediante las tuberías de PVC de 2" de diámetro con ángulo de 90° (forma de codo).



**Captación de espumas**

#### **f. Obtención de agua tratada**

El agua tratada fue retirada por la parte inferior del sistema de tratamiento a través de una compuerta de tubería reducida de  $\frac{1}{2}$ " y depositada de una jarra de plástico esterilizado de 500 mL.



**Obtención de agua tratada**

### **3. Post-Tratamiento**

#### **b. Recolección de agua tratada**

Se colocó la muestra de agua tratada en recipientes acondicionados según el protocolo de monitoreo de calidad de agua, agregando 2ml de ácido nítrico para la conservación de las muestras para su posterior análisis.



**Recolección de agua tratada**

**c. Envío de muestra al laboratorio acreditado**

Para el análisis de concentración de boro, las muestras fueron enviadas correctamente preservadas y rotuladas mediante un cooler para mantener la temperatura al laboratorio HIDROLAB para su respectivo análisis, en el Anexo 4 se adjuntan las cadenas de custodia.



Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA											
DATOS DEL CLIENTE		VERSION											
NOMBRE: <u>Salva Masera Luján</u> DIRECCIÓN: <u>Calle de la Paz con Los Pinos y Los Olivos</u> MUNICIPIO: <u>Los Olivos</u>		CORREO: <u>hidrolab@unsa.edu.pe</u> PROYECTO: <u>ANÁLISIS DE AGUA</u> CLIENTE: <u>ANÁLISIS DE AGUA</u> LABORATORIO: <u>HIDROLAB</u>											
NOMBRE DEL MUESTRO: <u>ANÁLISIS DE BORO DE LA COMUNIDAD LOCAL</u> REFERENCIA PROYECTO: <u>ANÁLISIS DE BORO</u>		FECHA DE LA MUESTRA: <u>2023-08-01</u> TIPO DE MUESTRA: <u>AGUA</u>											
OBJETIVO DEL MUESTRO: <u>ANÁLISIS DE BORO</u>													
RESULTADOS OBTENIDOS: <table border="1"> <thead> <tr> <th>PARAMETRO</th> <th>UNIDAD</th> <th>RESULTADO</th> <th>UNIDAD</th> <th>RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BORO</td> <td>mg/L</td> <td>0.05</td> <td>mg/L</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>				PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	UNIDAD	RESULTADO	BORO	mg/L	0.05	mg/L	0.05
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	UNIDAD	RESULTADO									
BORO	mg/L	0.05	mg/L	0.05									
RESPONSABLE DEL MUESTRO: <u>Salva Masera Luján</u> FIRMA: <u>[Firma]</u>		RESPONSABLE DEL LABORATORIO: <u>[Firma]</u> FIRMA: <u>[Firma]</u>											

**Envío de muestra al laboratorio acreditado**

**d. Análisis de resultados**

A partir de la obtención de resultados, se generó una base de datos según los objetivos planteados en el estudio y se procedió con el análisis descriptivo e inferencial.

## Anexo 5. Análisis Estadístico

### 1. Procesamiento de los Resultados - Texapon:

Análisis de varianza para el modelo de Segundo orden de variables múltiples con expresión dada por:

$$Remocion = k_0 + k_1 espum + k_2 pH + k_3 espum^2 + k_4 pH^2 + k_5 (espum)(pH) \quad (1)$$

Tabla 1. Análisis de ANOVA para el modelo de parámetros múltiples - Texapon

Resumen del proceso	
Estadísticas de regresión	
Múltiple R	0.959604
R Cuadrado	0.920839
R Cuadrado Ajustado	0.591678
Estándar Error	3.35711
Observaciones	9

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significancia F
Regresión	5	524.4015	104.8803	11.63249	0.03527
Residual	4	45.08076	11.27019		
Total	9	569.4822			

	Coefficientes	Estándar Error	t Estadística	Valor P	Bajo 95%	Superior 95%	Bajo 95.0%	Superior 95.0%
Intercepta	52.19086	23.14276	2.25517	0.08715	-12.0637	116.4	-12.0637	116.446
V. <i>espum</i>	60.63122	10.64546	5.69550	0.00470	31.07467	90.18	31.0747	90.1878
V. pH	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
V. <i>espum</i> <sup>2</sup>	-29.3497	8.286718	-3.54178	#NUM!	-52.3573	-6.342	-52.3573	-6.34209
V. <i>pH</i> <sup>2</sup>	2.804208	0.752117	3.72842	0.02033	0.715996	4.892	0.71600	4.8925
( <i>espum</i> )( <i>pH</i> )	-18.9553	3.119288	-6.07679	0.00371	-27.6158	-10.29	-27.6158	-10.2947

El coeficiente de pH es cero indicando que no es significativo, con valor de  $p > 0.05$ ; con una confiabilidad de 0.5 y un grado de confianza del 95%, esto indica que el modelo depende de la cantidad de espumante y no del pH en el rango establecido en la experimentación.

El ANOVA para el modelo de segundo orden que incluye solamente la cantidad de espumante adicionada al agua conteniendo boro, es el siguiente:

Por definición el modelo polinomio de segundo orden es:

$$Remocion = k_0 + k_1 espum + k_2 espum^2 \quad (2)$$

Dónde:

$espum$ , es la concentración de Texapon en g/L

$k_0, k_1, y k_2$  son los coeficientes del modelo calculado con el criterio de mínimos cuadrados basado en los datos experimentales Chapra (2010).

Definiendo  $Sr$  como la diferencia de los cuadrados de la magnitud medible y estimada como:

$$Sr = \sum_{i=1}^n (y_i - k_0 - k_1 x_i - k_2 x_i^2)^2 \quad (3)$$

Dónde:

$y_i$  es la remoción de boro del agua medido experimentalmente

$x_i$  es la concentración de espumante medido para cada experimento

Los parámetros  $k_0, k_1, y k_2$  se obtienen derivando parcialmente la Ecuación 3 respecto a cada uno de los parámetros.  $Sr$  es mínimo cuando cada derivada se iguala a cero, se obtienen tres ecuaciones linealmente independientes que pueden resolverse usando algebra matricial.

$$X1 := \begin{bmatrix} n & \sum_i x_i & \sum_i (x_i)^2 \\ \sum_i x_i & \sum_i (x_i)^2 & \sum_i (x_i)^3 \\ \sum_i (x_i)^2 & \sum_i (x_i)^3 & \sum_i (x_i)^4 \end{bmatrix} \quad Y1 := \begin{bmatrix} \sum_i y_i \\ \sum_i (x_i \cdot y_i) \\ \sum_i [(x_i)^2 \cdot y_i] \end{bmatrix} \quad (4)$$

La Ecuación 4 permite obtener los parámetros  $k_0, k_1, y k_2$  en el vector  $k$  :

$$k = (X1)^{-1}(Y1) \quad (5)$$

$$k = \begin{pmatrix} -28.11 \\ 100 \\ -50.18 \end{pmatrix} \quad (6)$$

El modelo resultante es dado por:

$$Remocion = -28.11 + 100(espum) - 50.18(espum)^2 \quad (7)$$

Las ecuaciones 4 y 5 están incorporadas en Excel, cuyo programa permite elaborar el ANOVA del modelo según:

Tabla 2. Análisis de ANOVA para el modelo

Resumen del proceso

Estadísticas de regresión	
Múltiple R	0.783791
R Cuadrado	0.614329
Ajuste R Cuadrado	0.485771
Estándar Error	6.050248
Observaciones	9

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significancia F</i>
Regresión	2	349.8492	174.9246	4.778643	0.057366
Residual	5	219.633	36.6055		
Total	8	569.4822			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Estándar Error</i>	<i>t Estadística</i>	<i>Valor P</i>	<i>Bajo 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Bajo 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepta	-28.11	15.77712	-1.78169	0.125083	-66.7152	10.49521	-66.7152	10.49521
<i>V. espum</i>	100.01	33.027936	3.028044	0.023156	19.19358	180.8264	19.19358	180.8264
<i>V. espum</i> <sup>2</sup>	-50.18	16.23452	-3.09094	0.021362	-89.9044	-10.4556	-89.9044	-10.4556

Según los valores de P obtenido menores a 0.15, los  $k_0, k_1, y k_2$  son significativos con un 94.3% de confianza y el modelo tiene un coeficiente de correlación de 0.78.

La máxima remoción se obtiene derivando la función de remoción, Ec. 7, respecto a la concentración de Texapon, espum e igualando a cero:

$$\frac{d(\text{remocion})}{d(\text{espum})} = 0 = 0 + 100 - 2(50.18)(\text{espum}) \quad (8)$$

Resolviendo la Ecuación 8,  $\text{espum} = 0.996 \text{ g/L}$

La máxima remoción se obtiene substituyendo  $\text{espum} = 0.996$  en la Ec. 7:

Máxima remoción es  $-28.11 + 100(0.996) - 50.18(0.996^2) = 21.77 \text{ mg/L}$



Según los resultados de ANOVA en la Tabla 7, el valor del estadístico Fisher (F) indica que  $F > F$  crítico  $4.7 > 0.06$ , entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna con el 95% de confianza y una confiabilidad  $\alpha = 0.05$ :

La hipótesis Nula  $H_0$ : La remoción de boro con Texapon no depende de la cantidad de espumante (*espum*)

La hipótesis Alterna  $H_1$ : La remoción de boro con Texapon depende de la cantidad de espumante. (*espum*)

Hipótesis Nula  $H_0$ :  $k_1 = k_2 = 0$  la remoción de boro no depende de la masa de espumante.

Hipótesis Alterna  $H_1$ :  $k_1 \neq 0$  y  $k_2 \neq 0$  la remoción de boro depende de la masa de espumante

Según el estadístico descrito en la Tabla 7 rechazamos la  $H_0$  y aceptamos  $H_1$ , donde la remoción de boro depende de la masa de espumante con 94.3% del nivel de confianza.

Pruebas de significancia individual usando la probabilidad estadística-p

Para  $k_0$

$$H_0: k_0 = 0$$

$$H_1: k_0 \neq 0$$

Rechazamos  $H_0$ , y aceptamos  $H_1$  con 87.5% de intervalo de confianza.

Para  $k_1$

$$H_0: k_1 = 0$$

$$H_1: k_1 \neq 0$$

Rechazamos  $H_0$  y aceptamos  $H_1$  con 97.7% de intervalo de confianza.

Para  $k_2$

$$H_0: k_2 = 0$$

$$H_0: k_2 = 0$$

$$H_1: k_2 \neq 0$$

Rechazamos  $H_0$  y aceptamos  $H_1$  con 99.7% de intervalo de confianza.

Concluyendo que la remoción de boro depende de la masa de espumante.



La dependencia de la cantidad de Texapon en la remoción de boro en el agua se observa en la figura 1

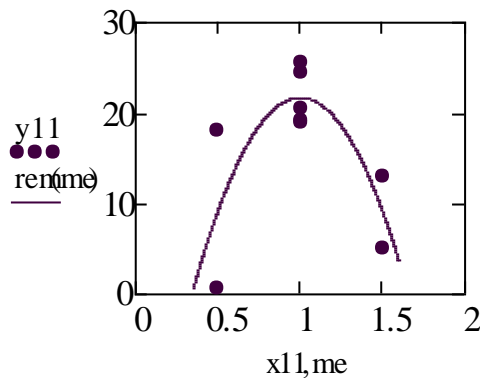
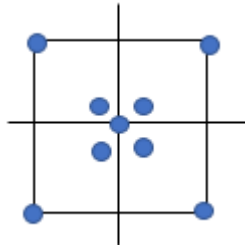


Figura 1. Efecto de la cantidad de espumante en la remoción del boro del agua, la máxima remoción alcanzada es de 21.8 mg/L

## 2. Procesamiento de los Resultados - Quitosano:

Basado en el diseño experimental factorial  $2^k$  con 2 el número de variables (espumante, pH),  $k = 2$  es el número de niveles de medición en la magnitud de las variables. Modificado con 5 experimentos en valores intermedios de las variables, de modo que se pueda comparar los valores promedio:



La hipótesis Nula  $H_0$ : Indica que no existe diferencia entre promedios de los vértices y del centro

La hipótesis Alterna  $H_1$ : indica los valores promedios son diferentes.

Se elige el estadístico t-student para aceptar o rechazar la hipótesis nula; para ello se compara el valor de t-estimado y se compara con el valor t-crítico.

$$H_0 = Prom_{vert} = Prom_{centro}$$

$$H1 = Prom_{vert} \neq Prom_{centro}$$

Si t-estimado > t-critico se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

En la siguiente tabla se muestran los datos requeridos para obtener t-estimado, provenientes de los resultados de análisis de boro en el agua y procesada con quitosano y diferentes valores de pH.

Tabla 3. Parámetros calculados basados en mediciones experimentales quitosano-pH

Parámetro	Vértice	Centro
Remoción promedio	7.075 g/L	5.64 g/L
Numero de mediciones, n	4	5
Varianza, var	1.0425	0.08
Desviación estándar, DevS	1.021	0.089

Calculo de t-estimado:

$$te = \frac{Prom_{vert} - Prom_{centro}}{stdc \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}} \quad (9)$$

*stdc* es la desviación estándar común y se calcula como:

$$stdc = \sqrt{\frac{(n1 - 1)Var1 + (n2 - 1)Var2}{n1 + n2 - 2}} \quad (10)$$

Sustituyendo los parámetros reportados en la Tabla 1 en la Ecuación 10 y luego en la Ecuación 9 se obtiene:  $te = 3.184$

El valor critico  $tc$  se obtiene de tablas considerando un intervalo de confianza de 95% y una confiabilidad  $\alpha = 0.05$  y los grados de libertad dados por

$$n1 + n2 - 2 = 7$$

$$tc\left(1 - \frac{\alpha}{2}, 7\right) = tc(0.975, 7) = 2.841$$

Como  $te > tc$  se rechaza  $H0$  y se acepta  $H1$ , indicando que las medias son diferentes. Esto indica que en la región de exploración la remoción de boro del agua no depende linealmente de la cantidad de espumante y del pH, por lo que

corresponde un análisis factorial donde se incluya el efecto cuadrático de ambas variables. Tal como muestra el ANOVA para el modelo de segundo orden.

Tabla 4. Análisis de ANOVA para el modelo de parámetros múltiples - Quitosano

Resumen del proceso	
Estadísticas de regresión	
Múltiple R	0.997326
R cuadrado	0.994658
Ajuste R	0.989317
Estándar Error	0.101636
Observaciones	9

ANOVA					
	<i>Df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significancia F</i>
Regresión	4	7.69423	1.9235	186.21	8.53E-05
Residual	4	0.04132	0.0103		
Total	8	7.73555			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Estándar Error</i>	<i>t Estadística</i>	<i>Valor P</i>	<i>Bajo 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Bajo 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepta	183.0621	7.36	24.871	1.55E-5	162.6	203.497	162.626	203.497
V. quito	-306.46	19.09	-16.048	8.82E-5	-359.4	-253.441	359.479	253.441
V. pH	110.126	11.67	9.4366	0.0007	77.7	142.527	77.7248	142.527
V. quito <sup>2</sup>	61.63816	3.811	16.169	8.56E-5	51.05	72.221	51.0544	72.2218
V. pH <sup>2</sup>	-14.8783	1.557	-9.5514	0.0007	-19.20	-10.55	19.2032	10.5534

Los valores de p son todos menores a 0.15, indicando que los coeficientes del modelo no pueden ser ceros. En el rango de experimentación la remoción de boro depende del segundo orden de las variables cantidad de espumante y del pH.

El modelo para la extracción del boro del agua usando Quitosano y regulando el pH está basado en el ANOVA reportada en la tabla anterior, con coeficiente de regresión de 0.9:

$$remocion = 183 - 306.5(quito) + 110(pH) + 61.6(quito)^2 - 14.88(pH)^2 \quad (11)$$

En la ecuación 11 los coeficientes cuadráticos son de signos opuestos, por lo que en la región de exploración no hay un máximo y tampoco un mínimo, matemáticamente esto representa una línea de inflexión la cual es una transición de pendientes de positivo a negativo.

La hipótesis Nula  $H_0$ : La remoción no depende de la cantidad de quitosano y del pH

La hipótesis Alternativa  $H_1$ : La remoción depende de la cantidad de quitosano y del pH

Como el estadístico  $F(186)$  es mayor que  $F_{\text{crítico}} (8.5 \times 10^{-5})$  se rechaza  $H_0$





# CADENA DE CUSTODIA

HIDROLAB  
 Versión 08  
 Fecha: 2005-07-13  
 Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE		ID N°:	VERSIÓN:	Fecha:
CLIENTE: JANINA MADRUGA LUCIANO		CONTACTO: JANINA MADRUGA	CORREO: jan@hidrolab.com	TELEFONO: 972414310
DIRECCION: 3 LAS HIGUERAS 345 Urb. LAS PALMERAS - LOS OLIVOS		DISTRITO: LOS OLIVOS	PROVINCIA: LIMA	DEPARTAMENTO: LIMA
DATOS DEL MUESTREO		MUESTREO HIDROLAB POR PERIGLAS	CLIENTE	N° CONTENEDOR (1)
LUGAR DE MUESTREO: LABORATORIO DE QUIMIA DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALDES		DISTRITO: LOS OLIVOS	PROVINCIA: LIMA	DEPARTAMENTO: LIMA

REFERENCIA (PROYECTO)	EQUIPO UTILIZADO	DESCRIPCION DEL MUESTREO	ENSAYO (S) SOLICITADO (S)	PARAMETRO EN CAMPO												
TESTS EVALUACION DE CONTENIDO DE BORO EN AGUA TRATADA CON ALGAS ESPUMANTES		Centro de servicio de la Asesoría (A) - Punto del Acarreo de la Asesoría (B) - Subcomando (C)														
		Fuente (Muestra con K)														
		Acido Nitrico	NO3													
		Acido Sulfurico	NO3													
		Hidroxido de Sodio	NO3													
		Hidroxido de Sodio	NO3													
		Acido de Zinc	CO3/CALCOLO													
	Sulfato de Amonio	NO3/CALCOLO														
	Lugar															
ESTACION DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MUESTREO	MP DE ENVASES	DESCRIPCION DEL PUNTO DE MUESTREO	CONTAMINANTE DESCRIBIDA (UTM - WGS84)	Altura (M.A.S.L.)	PH (Unidad de pH)	Temperatura (°C)	Oxigeno Disuelto (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Cloro Total (mg/L)	Cloro Residual Libre (mg/L)	Olor	Sabor	Color (Pt-Co)
BT-01	AR 280903	GRUPO	1	1	Contaminante Descripción	280903	100	7.2	22							
BT-02	AR 280903	GRUPO	1	1	Contaminante Descripción	280903	100	7.2	22							
BT-03	AR 280903	GRUPO	1	1	Contaminante Descripción	280903	100	7.2	22							
BT-04	AR 280903	GRUPO	1	1	Contaminante Descripción	280903	100	7.2	22							
BT-05	AR 280903	GRUPO	1	1	Contaminante Descripción	280903	100	7.2	22							

Observaciones de campo:

Responsable del Muestreo	Cliente (Supervisor)	Recepción de Muestra (1)
Nombre y Apellido: CRISTINA DIBOS Fecha y Hora: 28/09/23	Nombre y Apellido: JANINA MADRUGA Fecha y Hora: 28/09/23	Nombre y Apellido: KATHERINE ARENAS Fecha y Hora: 28/09/23



# CADENA DE CUSTODIA

FORMULARIO  
 Nº 001  
 Edición 2010  
 Versión 1.0

DATOS DEL CLIENTE		ID N°:	VERSIÓN
CLIENTE	JARPA LUCIA MARQUINA LUCIANO	CONTACTO	JARPA MARQUINA LUCIA
DIRECCIÓN	SR. LAS HIEDRAS 748 Urb. LAS PALMERAS LOS OLIVOS	DISTRITO	LOS OLIVOS
DATOS DEL MUESTREO		MUESTREO PERIÓDICO POR PERIÓDICO	CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/>
LUGAR DE MUESTREO	LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD CESAR VALDIVIA	DISTRITO	LOS OLIVOS
		PROVINCIA	LIMA

REFERENCIA / PROYECTO	EQUIPOS UTILIZADOS	DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO	ENSAYO (S) SOLICITADO (S)	PASOS Y TIPOS EN CAMPO				
TEST DE EVALUACIÓN DE CONTENIDO DE BORO EN AGUATRATADO CON AGENTES ESPUMANTES		Centro de Atención de la Asociación (A) / Fura del Acarico de la Administración (B) / Subcontrato (C) Filtrada (Marcar con X) Acido Nitroso (NO2) <input checked="" type="checkbox"/> Acido Sulfúrico (H2SO4) <input type="checkbox"/> Hidróxido de Sodio (NaOH) <input type="checkbox"/> Hidróxido de Calcio (Ca(OH)2) <input type="checkbox"/> Acetato de Zinc (Zn(CH3COO)2) <input type="checkbox"/> Sulfato de Amonio ((NH4)2SO4) <input type="checkbox"/> Logar						
		Descripción del punto de muestreo Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84) Altitud (m s.n.m.) Zona (17, 18, 19)						
ESTACIÓN DE MUESTREO	NÚMERO DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRO	MUESTREO	Nº DE ENVASES	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM - WGS84)	ALTITUD (m s.n.m.)	ZONA (17, 18, 19)
BQ-01		AR	23/10/03 05:30	1		E 234756		
BQ-02		DR	23/10/03 07:00	1		N 2637674		
BQ-03		DR	23/10/03 07:40	1		E 234756		
BQ-04		AR	23/10/03 07:50	1		N 2637674		

Usar etiquetas para el Laboratorio  
 Usar etiquetas para el Laboratorio

Responsable del Muestreo		Cliente (Supervisor)		Recepción de Muestras (1)	
Nombre y Apellido	CRISTINA PAREDES	Nombre y Apellido	JARPA MARQUINA LUCIA	Recepcionado por	[Firma]
Fecha y Hora	03/10/23 07:50	Fecha y Hora	03/10/23 07:50	Fecha y Hora	03/10/23 07:50
OBSERVACIONES		OBSERVACIONES		OBSERVACIONES	



Cotización: CS050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:53

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Perú	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992464310

N° Muestra: 420245-1/2023.0 - Id: 808542 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 25-09-2023 11:50	Fecha de Recepción: 29-09-2023 10:30
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: M-01 (Muestra inicial)
Dirección de muestreo: Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 8677674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: --	Proyecto: Tesis Evaluación de contenido de Boro en agua tratada cob agentes espumantes

### Resultados Analíticos

#### Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	229 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	09-10-2023 09:45

Notas
<p>ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017. *: Parámetro Subcontratado</p> <p>Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.</p> <p>Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017</p> <p>Datos proporcionado por el cliente: pH: 8.05 Unidad de pH; Temperatura: 21.7 °C</p>



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 7ca544b9e60c43dfbbad39db104a57d1

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.myinteread.cloud](https://portal.myinteread.cloud)



Cotización: C9050/2023.1

(FAP-008-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:53

Identificación del Cliente	
Cliente:	MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA
Dirección:	Jr. Las Hiedras 745 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru
Contacto:	Janina Marquina <span style="float: right;">Teléfono: 992454310</span>

N° Muestra: 420629-1/2023.0 - Id: 808560 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz:	Agua residual
Término de muestreo:	28-09-2023 15:00
Fecha de Recepción:	29-09-2023 10:47
Departamento:	Lima Metropolitana
Provincia:	Lima
Distrito:	Los Olivos
Punto de muestreo:	BT-01
Dirección de muestreo:	Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo
Tipo de muestreo:	Puntual
Coordenadas:	E: 274756 ; N: 8577674
Muestreado por:	El Cliente
Instrumento ambiental:	---
Proyecto:	Tesis Evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos
-----------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	68 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	02-10-2023 09:45

Notas
<p>ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017. - Parámetro Subcontratado</p> <p>Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio HidroLab S.A.C declara su condición de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.</p> <p>HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N° LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017</p> <p>Dato proporcionado por el cliente: Temperatura: 22°C</p>



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 2ab84dc9585c48e49c12296912167f44

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.mylmsweb.cloud/](https://portal.mylmsweb.cloud/)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-001-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:53

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 420651-1/2023.0 - Id: 808561 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 28-09-2023 15:05	Fecha de Recepción: 29-09-2023 10:31
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BT-02
Dirección de muestreo: Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 9577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tesis Evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

#### Resultados Analíticos

#### Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	50,7 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	02-10-2023 09:45

#### Notas

ND: No determinado.  
LD: Límite de Detección.  
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.  
\* Parámetro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Laboratorio HidroLab S.A.C. declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N° LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Dato proporcionado por el cliente: Temperatura: 22°C



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: c7017e92b9b34f8782f504e348591a5

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.mylmsweb.cloud](https://portal.mylmsweb.cloud)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:55

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 420654-1/2023.0 - Id: 808562 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 28-09-2023 15:10	Fecha de Recepción: 29-09-2023 10:35
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BT-03
Dirección de muestreo: Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 8577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Teste Evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

#### Resultados Analíticos

#### Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	64,1 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	02-10-2023 09:45

#### Notas

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017.

-: Parámetro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Dato proporcionado por el cliente: Temperatura: 22°C



 Requel Rosales Torres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP N° 206613

**Código de Validación: fe53276Def874633b39caf7d892a5886**

 La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.mylmsweb.cloud](https://portal.mylmsweb.cloud)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:55

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 420659-1/2023.0 - Id: 808563 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 28-09-2023 15:15	Fecha de Recepción: 29-09-2023 10:41
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BT-04
Dirección de muestreo: Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 9577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Teste Evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Análisis
---------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	55,8 mg BL	1 mg BL	SM 4500 B C	02-10-2023 09:45

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017. †: Parámetro Subcontratado.  Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.  Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017  Dato proporcionado por el cliente: Temperatura: 22°C



 Raquel Rosales Torres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP N° 209612

Código de Validación: d871b3e045924370b6577045240bd0d8

 La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.myinweb.cloud](https://portal.myinweb.cloud)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 09-10-2023 13:55

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 420663-1/2023.0 - Id: 808564 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Muestra: Agua residual	
Término de muestreo: 28-09-2023 15:20	Fecha de Recepción: 29-09-2023 10:48
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Districto: Los Olivos	Punto de muestreo: BT-05
Dirección de muestreo: Laboratorio de Química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274758 ; N: 8577874	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tests Evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos
-----------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	45,2 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	02-10-2023 09:45

Notas
-------

ND: No determinado.  
LD: Límite de Detección.  
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.  
\*: Parámetro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Dato proporcionado por el cliente: Temperatura: 22°C



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209613

Código de Validación: 56b9ea7eacc04ea5b1881004ae220b03

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.myintweb.com](http://portal.myintweb.com)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 12-10-2023 15:10

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 745 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992464310

N° Muestra: 428516-1/2023.0 - Id: 808667 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 03-10-2023 15:20	Fecha de Recepción: 04-10-2023 13:08
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BQ-01
Dirección de muestreo: Laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 8577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tests de evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos	
-----------------------	--

Análisis Acreditados	
----------------------	--

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	62 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	04-10-2023 14:26

Notas	
-------	--

ND: No determinado.  
LD: Límite de Detección.  
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.  
- Parámetro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

HidroLab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 21f4ccedccc14b4993a9616cb5feb40

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.mh/mhweb/cloud](http://portal.mh/mhweb/cloud)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-008-01)

Fecha Emisión Informe: 12-10-2023 15:10

Identificación del Cliente	
Cliente:	MAIQUINA LUCIANO JANINA LUCIA
Dirección:	Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru
Contacto:	Janina Marquina
Teléfono:	992464010

N° Muestra: 428525-1/2023.0 - Id: 808668 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz:	Agua residual
Término de muestreo:	03-10-2023 15:30
Fecha de Recepción:	04-10-2023 13:10
Departamento:	Lima Metropolitana
Provincia:	Lima
Distrito:	Los Olivos
Punto de muestreo:	BQ-02
Dirección de muestreo:	Laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo
Tipo de muestreo:	Puntual
Coordenadas:	E: 274756 ; N: 8577674
Muestreado por:	El Cliente
Instrumento ambiental:	---
Proyecto:	Tesis de evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos
-----------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	62,2 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	04-10-2023 14:26

Notas
<p>ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017. - Parametro Subcontratado</p> <p>Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.</p> <p>Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017</p>



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 14774a3ea8954c84abaf52f916d2f97f

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.hidrolab.com](http://portal.hidrolab.com)



Cotización: C9050/2023.1

(FAP-003-01)

Fecha Emisión Informe: 12-10-2023 15:10

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 428531-1/2023.0 - Id: 808568 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 03-10-2023 15:40	Fecha de Recepción: 04-10-2023 13:12
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BQ-03
Dirección de muestreo: Laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 8577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tests de evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos
-----------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	60,1 mg BL	1 mg BL	SM 4500 B C	04-10-2023 14:28

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017. * Pasajero Subcontratado  Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió. Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.  Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



 Raquel Rosales Torres  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP N° 209612

Código de Validación: aee3116d9cf240b1b90c8c94deafe2c9

 La validación de este documento puede ser realizada en: [cpel.mv@web3.clouid](mailto:cpel.mv@web3.clouid)



Cotización: C9050/2023.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 12-10-2023 15:10

Identificación del Cliente	
Cliente: MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA	
Dirección: Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Peru	
Contacto: Janina Marquina	Teléfono: 992454310

N° Muestra: 428538-1/2023.0 - Id: 808580 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 03-10-2023 15:50	Fecha de Recepción: 04-10-2023 13:14
Departamento: Lima Metropolitana	Provincia: Lima
Distrito: Los Olivos	Punto de muestreo: BQ-04
Dirección de muestreo: Laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 274756 ; N: 8577674	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tests de evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

Resultados Analíticos
-----------------------

Análisis Acreditados
----------------------

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	62,2 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	04-10-2023 14:26

Notas
-------

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

\* Parámetro Subcontratado

Resultado válido únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 283be223306e474ea142a2628b9c5487

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.mv/masweb.cloud](https://portal.mv/masweb.cloud)

Cotización: C9050/2023.1

(FAP-003-01)

Fecha Emisión Informe: 12-10-2023 15:10

Identificación del Cliente	
Cliente:	MARQUINA LUCIANO JANINA LUCIA
Dirección:	Jr. Las Hiedras 748 urb. Las Palmeras - Los Olivos - Lima - Lima - Peru
Contacto:	Janina Marquina
Teléfono:	992454310

N° Muestra: 428509-1/2023.0 - Id: 808568 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz:	Agua residual
Término de muestreo:	03-10-2023 15:40
Fecha de Recepción:	04-10-2023 13:05
Departamento:	Lima Metropolitana
Provincia:	Lima
Distrito:	Los Olivos
Punto de muestreo:	BO-05
Dirección de muestreo:	Laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo
Tipo de muestreo:	Puntual
Coordenadas:	E: 274756 ; N: 8577674
Muestreado por:	El Cliente
Instrumento ambiental:	---
Proyecto:	Tests de evaluación de contenido de Boro en agua tratada con agentes espumantes

### Resultados Analíticos

### Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Boro	63 mg B/L	1 mg B/L	SM 4500 B C	04-10-2023 14:26

### Notas

ND: No determinado.  
LD: Límite de Detección.  
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017.  
\* Parámetro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara aversión de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 209612

Código de Validación: 486e3d642fd5482096b4ac893cf61025

La validación de este documento puede ser realizada en: [portal.melintest.com](https://portal.melintest.com)