UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL Y EL TIEMPO DE CULTIVO DE *Scenedesmus sp.,* SOBRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS PROVENIENTES DEL CENTRO POBLADO DE QUEBAYA, DISTRITO DE CUCHUMBAYA, REGIÓN MOQUEGUA, 2019

TESIS
PRESENTADA POR:

BACHILLER JAVIER MARCIAL RIVERO OPORTO

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO-PERÚ
2 021

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

10

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
UNAM
FEDATARIO

Folio Nº 012

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Facultad Nº 0114-2021-FACIA-UNAM

Fecha: 16/12/2021

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

"EFECTO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL Y EL TIEMPO DE CULTIVO DE Scenedesmus sp, SOBRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y CONCENTRACIÓN DE ARSENICO DE AGUAS PROVENIENTES DEL CENTRO POBLADO DE QUEBAYA, DISTRITO DE CUCHUMBAYA REGIÓN MOQUEGUA 2019"

Bachiller: Javier Marcial Rivero Oporto

Asesor Principal: M.Sc. Juan Luis Ccamapaza Aguilar

Co-Asesor: Blga. Isabel del Carmen Espinoza Reynoso

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Trece (13) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 19:30 horas, del 21 de diciembre del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

M.Sc. Mario Ramón Flores Roque
Presidente

Ing. Joel Antonio Valeriano Zapana
Primer Miembro

JORGE ANTONIO MORALES CARAZAS
Segundo Miembro

Javier Marcial Rivero Oporto
Bachiller

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, quien me dio el regalo de la vida y de tener una maravillosa familia, por su bendición y por haberme iluminado en cada logro de mi corta vida. A mis queridos abuelos Augusto y Juana, que han estado conmigo en todo momento, por ser un pilar fundamental en mi educación, por creer en mí y brindarme todo su amor desde que era pequeño.

A mis hijitas Luciana y Gianella, y a mi esposa Xiomara, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y ser mejor. A todas las personas que me han apoyado y me brindaron su mano firme en el transcurso de mi corta vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Blgo. Yamil Zevallos por permitir desarrollar la presente tesis.

Así mismo agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por todos los conocimientos impartidos como estudiante y profesional, a mi asesor el MSc. Juan Luis Ccamapaza Aguilar y Coasesora la Blga. Isabel del Carmen Espinoza Reynoso por el apoyo durante el desarrollo del presente proyecto de tesis.

RESUMEN

El trabajo de tesis tuvo como objetivo determinar el efecto de la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp*., sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, cuya concentración de arsénico fue de 0.0177 mg/L de niveles de arsénico obtenida mediante muestreo no probabilístico. El estudio fue de tipo básico, de diseño experimental, bifactorial y prospectivo, dirigido a biorremediar el agua de consumo humano de Quebaya a escala de laboratorio. Se obtuvieron como resultados que, para la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, la concentración de cultivo más efectiva en la disminución de estos parámetros fue el Tratamiento 3 (0.5 L) y no hubo diferencias en cuanto al tiempo de cultivo. Para la dureza no hubo un efecto significativo de ningún factor. En cuanto al pH, ambos factores fueron significativos, siendo el Tratamiento 3 el que incrementó más este parámetro. Por último, respecto al arsénico todos los tratamientos lograron reducir su concentración hasta un nivel menor al límite de detección del equipo utilizado para evaluarlo. Concluimos que existe un efecto biorremediador de la microalga *Scenedesmus sp.* para el tratamiento de agua y además en ninguno de los parámetros evaluados se sobrepasó el Estándar de Calidad Ambiental.

Palabras clave: Densidad poblacional de *Scenedesmus Sp*., tiempo de cultivo de *Scenedesmus Sp*., parámetros fisicoquímicos, sólidos disueltos totales, dureza, conductividad, pH.

ABSTRACT

The objective of the thesis work was to determine the effect of the population density and the cultivation time of *Scenedesmus sp.*, on the physicochemical parameters and arsenic concentration of waters from the town of Quebaya, whose arsenic concentration was 0.0177 mg/L of arsenic levels, obtained by non-probability sampling. The study was of a basic type, experimental, bifactorial and prospective design, aimed at bioremedying the water for human consumption in Quebaya a laboratory scale. The results were obtained that, for electrical conductivity and total dissolved solids, the most effective culture concentration in reducing these parameters was Treatment 3 (0.5 L) and there were no differences regarding the culture time. For water hardness there was no significant effect of any factor. Regarding pH, both factors were significant, being Treatment 3 that increased this parameter. Finally, with respect to arsenic, all the treatments achieved to reduce its concentration to a level lower than the detection limit of the equipment used to evaluate it. We conclude that there is a bioremediation effect of the microalgae Scenedesmus sp. for water treatment and also in none of the evaluated parameters was the Environmental Quality Standard exceeded.

Keywords: Scenedesmus Sp. Population density, *Scenedesmus Sp.* Culture time, Physicochemical parameters, total dissolved solids, hardness, conductivity, pH.

INDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I 6

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 6

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA..... 6

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 8

1.2.1. Problema general:..... 8

1.2.2. Problemas específicos:..... 9

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN 9

1.4. OBJETIVOS..... 12

1.4.1. Objetivo general..... 12

1.4.2. Objetivos específicos 13

1.5. HIPÓTESIS..... 13

1.5.1. Hipótesis general 13

1.5.2. Hipótesis específicas 14

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 14

1.6.1. Variables independientes..... 14

1.6.2. Variables dependientes 15

CAPITULO II 16
MARCO TEÓRICO 16
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO 16
2.1.1. Antecedentes internacionales: 16
2.1.2. Antecedentes Nacionales 20
2.2. BASES TEÓRICAS 23
2.2.1. Ubicación del Área de Estudio 23
2.2.2. Calidad del Agua 24
2.2.3. Biorremediación 39
2.2.4. Microalgas 41
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 48
CAPITULO III 51
MARCO METODOLÓGICO 51
3.1. TIPO Y DISEÑO 51
3.1.1. Tipo de investigación 51
3.1.2. Diseño de investigación 51
3.1.3. Nivel de investigación 59
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 60
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 62
3.3.1. Población 62

3.3.2. Muestra 64

3.4. INSTRUMENTOS 66

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS 70

3.5.1. Cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* 70

3.6. MÉTODO Y ANÁLISIS 74

3.6.1. Metodología 74

CAPITULO IV 94

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 94

4.1. RESULTADOS 94

CONCLUSIONES 116

RECOMENDACIONES 118

Índice de tablas

Tabla 1	Estándares de Calidad Ambiental para Agua	27
Tabla 2	Parámetros Físico – Químicos según Estándar de Calidad Ambiental para Agua	29
Tabla 3	Parámetros Físico – Químicos según Estándar de Calidad Ambiental para Agua considerados en la investigación	34
Tabla 4	Estándar de Calidad Ambiental del Arsénico	36
Tabla 5	Tabla de Equivalencia entre Densidad y Concentración de Cultivo	54
Tabla 6	Composición del Medio de Cultivo de Bayfolan	55
Tabla 7	Ubicación política del Laboratorio LYPOZONE	61
Tabla 8	Niveles de Arsénico en aguas del Distrito de Cuchumbaya	63
Tabla 9	Criterios para la clasificación de los abastecimientos de agua de consumo en función del riesgo sanitario	67
Tabla 10	Material de Laboratorio y Equipos	72
Tabla 11	Reactivos y otros materiales	73
Tabla 12	ANOVA Bifactorial de la Conductividad Eléctrica en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	96
Tabla 13	Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para Conductividad Eléctrica en función de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*	98

Tabla 14	ANOVA Bifactorial de la Dureza en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	100
Tabla 15	ANOVA Bifactorial de la Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	103
Tabla 16	Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional del cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	105
Tabla 17	ANOVA Bifactorial del pH en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	107
Tabla 18	Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para el pH en función de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*	109
Tabla 19	Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para el pH en función del tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	109

Índice de figuras

Figura 1	Estructura del diseño experimental	58
Figura 2	Cooler con frascos para la toma de muestra y testigo de temperatura	75
Figura 3	Centro Poblado de Quebaya	76
Figura 4	Reservorio de agua sin tratamiento del Centro Poblado de Quebaya	76
Figura 5	Elección, adaptación, desinfección y purga del grifo seleccionado	77
Figura 6	Toma de muestra y respectivo rotulado	78
Figura 7	Ice pack sobre las muestras de agua	78
Figura 8	Uso de cartones para aislar la luz de las muestras de agua	79
Figura 9	Culminación de toma de muestra de agua	80
Figura 10	Diagrama de flujo de metodología para obtener biomasa de microalga *Scenedesmus sp.*	81
Figura 11	Acondicionamiento de Cepa	83
Figura 12	Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 250 ml.	84
Figura 13	Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 500 ml.	85
Figura 14	Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 1 litro.	86
Figura 15	Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a bidones de 7 litros	88
Figura 16	Cuadrícula de Neubauer	90
Figura 17	Guía de conteo de la Cámara Neubauer	91

Figura 18	Vista de Microalga *Scenedesmus sp.* a través Microscopio utilizado en el Laboratorio LYPOZONE	92
Figura 19	Vista de Microalga *Scenedesmus sp.* en la cámara de Neubawer en el Laboratorio LYPOZONE	93
Figura 20	Conteo celular en el Laboratorio LYPOZONE	93
Figura 21	Gráfico de barra de la Conductividad eléctrica en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	95
Figura 22	Gráfico de barra de la Dureza en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	99
Figura 23	Gráfico de barra de los Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	102
Figura 24	Gráfico de barra del pH en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*	106

INTRODUCCIÓN

Según Reyes et al. (2016), la contaminación de ecosistema acuático y terrestre es un problema al cual el ser humano se viene enfrentando desde hace muchos años hasta la actualidad. Diversos agentes contaminantes producto de las actividades del hombre como las agrícolas, actividad minera entre otros, no pueden ser eliminados o degradados de una forma eco amigable con el planeta ocasionando contaminación en muchas ocasiones irreparable al agua o al suelo, provocando que las personas que viven o trabajan en zonas aledañas al punto de actividad de contaminación se vean perjudicadas en su salud. La contaminación de metales pesados y metaloides en los recursos hídricos, el suelo y el aire, es uno de los problemas más graves que ponen en peligro la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel mundial y local. Uno de estos agentes son los metales pesados, los cuales tienden a acumularse en el medio ambiente e ingresan a la cadena alimenticia a través de la contaminación de suelos y agua utilizada para la industria alimenticia (Zapata, 2019).

Asimismo, Alonso (2014) indica que el arsénico es un metal ubicuo en el medio ambiente, su presencia en cuerpos de agua subterráneos y superficiales es resultado de la actividad humana y a procesos geológicos.

Este metaloide se encuentra en cuatro estados de oxidación: Arseniuro (-3), Arsénico elemental (0), arsenito (+3) y arseniato (+5), adicionalmente puede ser encontrado formando más de 200 diferentes tipos de minerales. Los estados oxidados del arsénico, arsenito y arseniato, son las más frecuentes en contaminación del suelo y aire por este metaloide (Rangel, Montañez, Luévanos, & Balagurusamy, 2015) siendo que el arseniato (+5) es el mayor contaminante de organismos y alimentos (Medina, Robles, Mendoza, & Torres, 2018). Los efectos de la intoxicación aguda o crónica por arsénico son variados, esto se ve potenciado por el hecho de que la absorción de este metal presente en el agua potable y alimentos supera su presencia en más del 80% (Carabantes & Fernicola, Arsénico en el agua de bebida: Un problema de salud pública, 2003).

Se ha reportado que fuentes de agua para el consumo humano en el Perú están contaminadas con Arsénico. Sin embargo, la presencia de este metal en aguas superficiales en muchos casos se mantiene dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Incluso existen reportes que indican que la concentración de Arsénico en cuerpos de agua superficial en zonas de extracción minera se mantiene dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Por otro lado, los cuerpos de agua subterránea son los que presentan mayor concentración de arsénico, especialmente en las localidades altoandinas del sur del Perú, llegando a concentraciones de 0.68

mg/L sobrepasando los Estándares de Calidad de Ambiental para Agua de acuerdo con el D.S. N°004-2017-MINAM, y se ha mostrado que los niveles de arsénico tienen una relación directa con la profundidad del cuerpo de agua.

Chávez (2009), actualmente existen diferentes técnicas fisicoquímicas para remover diversos metales pesados del suelo y del agua, en tal sentido dichas técnicas han hecho que se reduzca en un 80% la concentración de Arsénico del agua del río Iscahuaca – Colcabamba en Apurimac. Sin embargo, muchas de estas técnicas son de alto costo, producen residuos contaminantes, solo remueven parcialmente el metal objetivo o están sujetos a factores medio ambientales los cuales tendrían un impacto significativo en su eficiencia.

La aplicación de algas para la eliminación de metales ha surgido como uno de los métodos con mejores prospectos para la remoción de estos contaminantes como los metales pesados a bajo costo y sin la generación de residuos contaminantes ya que dentro de los métodos la remoción de contaminantes por medio de plantas o derivados de estas ha surgido como una de las tecnologías más deseables, especialmente cuando el agente son algas, las cuales tienen una gran capacidad de eliminar metales pesados del agua, tolerancia alta a metales pesados, crecimientos autótrofo o heterótrofo,

una alta proporción área superficial/volumen, entre otras características (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015).

Las microalgas son consideradas como buenos agentes para eliminar agentes metales contaminantes por lo cual con este valioso aporte se pueden desarrollar métodos de bajo costo y que no producen residuos contaminantes, en especial, especies del género *Scenedesmus* han sido usadas para la biorremediación de aguas con altos contenidos de nitrógeno y fósforo (Oliveros & Wild, 2019) y a propósito de estos resultados se encontró que en el tratamiento de efluentes de curtiembres las microalgas fueron capaces de remover el 98% de Cr (VI) junto con nitratos y fosfatos (Ballén, Hernández, Parra, Vega, & Pérez, 2016). Adicional a estos resultados se puede mencionar que existen reportes del uso de la especie de microalga *S. obliquus* sobre inmovilizado en un biorreactor para la remoción de 92,4% del Cr(VI) (Pellón, Rodríguez, Díaz, & Frades, 2011) aguas residuales galvanizadas se ha reportado que el uso de biomasa viva de especies del género *Scenedesmus* durante el proceso de biorremediación de metales pesados presentes en efluentes concomitantemente tiene el potencial de generar bioetanol y bioenergía (Terán, 2017).

La presente investigación reportó los resultados preliminares de la capacidad de remoción de arsénico utilizando la microalga verde

Scenedesmus sp. El objetivo del presente trabajo fue sentar las bases teóricas sobre el desarrollo del método de biorremediación usando la microalga *Scenedesmus* y verificando su efectividad para la remoción de Arsénico del agua del Centro Poblado Menor (C.P.M.) de Quebaya - Moquegua.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El agua es una sustancia química transparente, inodora, y casi incolora. Es el componente principal de los líquidos en los flujos terrestres, lagos, océanos y la mayoría de los organismos vivos. Es esencial para todas las formas de vida conocidas, aunque no brinda calorías ni nutrientes de carácter orgánico (Carpio & Vidalón, 2016).

Para la Dirección Regional de Salud de Moquegua (DIRESA), la calidad de los recursos hídricos debe ser monitoreada continuamente para identificar los riesgos ambientales que pueden afectar la salud de las personas que se abastecen de los recursos antes mencionados de alguna manera. (Dirección Regional de Salud, 2011).

Dentro de este marco, tal como indica la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se debe mencionar que la calidad del agua de las cuencas de agua dulce está principalmente amenazada por la actividad humana, no es

desconocida en las cuencas y ríos del departamento de Moquegua, además que en los últimos años se han reportado niveles de contaminación superiores a los permitidos (Autoridad Nacional del Agua, 2014).

Un ejemplo es el río Coralaque. En septiembre de 2017, el Organismo de Fiscalización y Evaluación Ambiental (OEFA) determinó que el color marrón amarillento del río era producto del agua ácida de la minera de Aruntani S.A.C. (Fernández, 2018).

Por su parte la Dirección de Salud Ambiental, en el 2016, presentó en Moquegua los resultados de una evaluación de la calidad del agua de los habitantes de la provincia de Mariscal Nieto, incluidos Carumas, Cuchumbaya, San Cristóbal de Calacoa, Torata y Samegua. Esto evidencia de que el nivel de contaminación es superior al nivel permitido, los indicadores incluyen: pH, turbidez y elementos como: arsénico, níquel, hierro, aluminio, cloro residual y manganeso (Manzanedo, 2016).

Este estudio se direccionó en la contaminación del agua por arsénico, ya que cuatro de las seis regiones evaluadas proporcionaron evidencia de esta contaminación por metales pesados tóxicos. Según la Organización Mundial de la Salud, si existe en aguas subterráneas, como en el caso de Moquegua

"siendo una gran amenaza para el público salud ","y de carácter muy tóxico" (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2018).

Como se ha mostrado en los párrafos anteriores, la contaminación del arsénico al agua es un problema real, afecta a la población y debe ser adecuadamente tratada; la propuesta para tratar el agua que contiene arsénico es la biorremediación, que es una forma de aprovechar el potencial metabólico de los microorganismos. Una tecnología que convierte los contaminantes en compuestos más simples con poco o ningún contaminante, por lo que se puede utilizar para tratar el agua contaminada.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general:

¿Qué efecto tendrá la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.,* sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, región Moquegua, 2019?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿En qué modo afectará la densidad poblacional de *Scenedesmus sp*., sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya?

- ¿En qué modo afectará el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp*., sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández et al. (2015), la investigación se puede justificar en función de su trascendencia teórica, metodológica y práctica.

a) Relevancia teórica: El estudio ha permitido que se realice una revisión de diferentes teorías y autores respecto al cultivo de *Scenedesmus sp.,* sobre los parámetros fisicoquímicos, para lo cual se realizó revisión de libros y artículos especializados, los mismos que han sido considerados como fuente de información secundaria para desarrollar la presente investigación. En tal sentido, debido a la revisión de dichas fuentes se

realizó un contraste aplicado en el caso de las aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, y logrando generar nuevos conocimientos y aportes a las teorías previamente señaladas.

b) Relevancia metodológica: El estudio permitió la resolución de un problema de investigación, a partir del logro de los objetivos del estudio y en función del contraste de hipótesis, empleando para ello técnicas de recolección de datos, y que, según su desarrollo, hacen que la investigación represente un nuevo marco de referencia para abordar nuevas investigaciones a futuro, por lo que se sirve de modelo para tratar problemas análogos al desarrollado.

c) Relevancia práctica-social: El estudio es importante en el plano práctico y social debido a que los hallazgos llevan a pensar si necesitamos encontrar una solución factible al agua contaminada con arsénico, porque si la contaminación antes mencionada en el pueblo de Quebaya no lo hace, puede afectar directamente la salud de la población. Tiene efectos inmediatos y a largo plazo como vómitos, dolor abdominal y diarrea, entumecimiento o calambres, como cambios de pigmentación, daño en la piel, que son precursores del cáncer de piel; también puede causar cáncer de vejiga, cáncer de pulmón, problemas relacionados con el desarrollo, daño al cerebro o al sistema nervioso periférico, diabetes, enfermedades

pulmonares y cardiovasculares, efectos adversos sobre el embarazo, mortalidad infantil, etc. (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2018).

En tal sentido, los resultados generaron una reflexión directa para que se tomen medidas de intervención que mejore la calidad del agua en función de sus parámetros fisicoquímicos, y que preserve la salud de la población de Quebaya en el distrito de Cuchumbaya.

Esta investigación es muy importante ya que resuelve el muy preocupante tema del impacto ambiental de la contaminación por arsénico, lo que también significa que el impacto del arsénico introducido por las actividades humanas (como la minería o la agricultura) en el ecosistema es preocupante; el compuesto móvil, que se transfiere a un ambiente remoto, afecta ecosistemas que no existían de forma natural. Las plantas pueden absorber fácilmente el arsénico, por lo que puede haber altas concentraciones de arsénico en ellas; también en aguas superficiales, estas altas concentraciones aumentan la posibilidad de alterar el material genético de los peces. Esto se debe principalmente a la acumulación de arsénico en organismos de agua dulce que comen plantas. Las aves se alimentan de peces que contienen mucho arsénico, y morirán debido al envenenamiento por arsénico causado por la descomposición de los peces en el cuerpo. De esta manera, se cambia el delicado equilibrio del ecosistema, lo que también afecta

valiosos servicios ecosistémicos y la supervivencia de la condición de los organismos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2019).

Es por lo expuesto, la justificación e importancia del estudio que el campo de investigación es de interés para la labor profesional en ingeniería ambiental, y en función de su motivación para buscar mecanismos que remedien los problemas y desequilibrios ecosistémicos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar qué efecto tendrá la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.*, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, región Moquegua, 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar en qué modo afectará la densidad poblacional de *Scenedesmus sp.*, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

- Determinar en qué modo afectará el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.,* sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

La densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.*, muestra un efecto biorremediador, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La densidad poblacional de *Scenedesmus sp.*, muestra un efecto biorremediador, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

- El tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.*, muestra un efecto biorremediador, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variables independientes

A. Densidad poblacional de *Scenedesmus sp.*

Indicadores

- Número de células por mililitro de agua (células/mL).

B. Tiempo de cultivo

Indicadores

- Horas transcurridas de actividad de *Scenedesmus sp.* (Horas).

1.6.2. Variables dependientes

A. Concentración de Arsénico en agua

Indicadores

- Arsénico (Miligramos por litro de Arsénico en agua).

B. Parámetros fisicoquímicos

Indicadores

- Conductividad (µS/cm).
- Dureza (mg/L).
- Sólidos Disueltos Totales (mg/L).
- pH.

Cabe precisar que la selección de parámetros fisicoquímicos responde a limitaciones de tipo económico y de accesibilidad a uso de laboratorios para el análisis de las muestras de agua correspondientes.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes internacionales:

Vela et al. (2019), en su investigación sobre la "Biorremediación Eficiente de Efluentes Metalúrgicos mediante el Uso de Microalgas de la Amazonía y los Andes del Ecuador", tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de mercurio, fosfatos, sulfatos y nitratos del agua residual provenientes de la actividad minera a través de un proceso de fitorremediación mediante el uso de las microalgas *Pleurococcus sp.*, *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp*. Las microalgas fueron cultivadas para el tratamiento del agua de forma individual y como consorcio en fotobiorreactores. Se caracterizaron los parámetros físicos y químicos del agua residual y del agua tratada, determinándose que todos los tratamientos fueron eficientes, ya que se redujo considerablemente la concentración de contaminantes de los géneros de microalgas y cianobacterias experimentados en medios de cultivo

comerciales, *Pleurococcus sp., Chlorella sp*. y *Scenedesmus sp.* En los resultados obtuvieron que la mayor tasa de crecimiento respecto a las otras especies evaluadas (0.88, 0.86 y 0.82 generaciones/día, respectivamente) y mayor densidad celular (5.28×10^7, 4.92×10^7 y 4.80×10^7 cel/mL, respectivamente), S*cenedesmus sp*. demoró en alcanzar su periodo de adaptación e iniciar el proceso de biosorpción, removiendo el 64 % de mercurio. Para el factor pH no existieron diferencias significativas, por lo que se determinó que el porcentaje de acidificación es similar en los tratamientos. Concluyendo que todos los métodos de tratamiento propuestos en este estudio han logrado un alto porcentaje de remoción de mercurio, fosfato, sulfato y nitrato, lo que hace que las aguas residuales metalúrgicas tratadas cumplan con los límites máximos permisibles para cada uno de los parámetros anteriores en la legislación ecuatoriana vigente.

Vega (2019), en su trabajo de tesis sobre el "Uso de microalgas (*Chlorella sp*. y *Scenedesmus sp*.) inmovilizadas con esferas de alginato para la remoción de cromo", el mismo que tuvo como objetivo analizar la remoción de cromo, mediante la intervención de las microalgas *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* inmovilizadas en perlas de alginato. El método realizó inicialmente la producción de biomasa de las microalgas para posteriormente utilizar tres concentraciones diferentes altas 100% ($2{,}4 \times 10^6$ cel. ml^{-1}), media 75% ($1{,}7 \times 10^6$ cel. ml^{-1}) y baja 50% ($0{,}63 \times 10^6$ cel. ml^{-1}), las que fueron

determinadas mediante conteos en la cámara Neubauer. Una vez inmovilizadas estuvieron en una solución sintética de cromo (1 ppm) con aireación y luz constante durante 15 días. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, cada 48 horas se analizaron muestras tanto del agua como de las perlas con las microalgas inmovilizadas. Se midieron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, absorbancia, conteo celular y concentración de cromo. En los resultados se obtuvo que las cepas de microalga *Scenedesmus sp.* en estado inmovilizado, alcanzaron una concentración de $5{,}69x10^{6}$ células/ml respectivamente correspondiente a las concentraciones altas de biomasa. En cuanto a la biorremediación se presentó eficiencia en la remoción de cromo total de la microalga *Scenedesmus sp.* teniendo una efectividad de remoción del metal del 69%. Concluyendo que la concentración total de cromo es menor que el límite máximo permitido, puesto que al final de este experimento, se determinó que la concentración total de cromo fue de 0.14 mg/L. Con base en el límite máximo permitido para descarga en agua dulce en las leyes y regulaciones de Ecuador, el cromo total debe compararse con el valor de 0.5 mg / L.

Rosales et al. (2018), en su estudio sobre la “Remoción de contaminantes y crecimiento de *Scenedesmus sp*. en aguas residuales de la curtiduría. Una comparación entre las células libres e inmovilizadas”, se tuvo como objetivo evaluar la capacidad del crecimiento de la microalga verde

Scenedesmus sp. en un agua residual de curtiembre, determinando la remoción de los principales contaminantes del efluente y comparando la eficiencia entre un tratamiento con células libres y otro con células inmovilizadas en una matriz de Luffa. Los resultados obtenidos fueron de un mayor crecimiento en las células libres en comparación a las inmovilizadas, aunque sin diferencias significativas entre ambos experimentos. En ambos casos se observaron remociones superiores al 90% para cromo total, así como una reducción importante de la DBO y DQO (>97 %) que puede deberse a efecto sinérgico con las bacterias presentes en los cultivos de la microalga. Concluyendo que la microalga *Scenedesmus sp.* se cultivó utilizando como sustrato las aguas residuales de las curtidurías, especialmente en forma de células libres. Sin embargo, a pesar de estas diferencias en el crecimiento, ambos tratamientos (libres e inmovilizadas) eliminaron significativamente N, P, Cr y materia orgánica (medidos en DBO y DQO). Esto demuestra que es factible utilizar este tipo de microalgas como agente descontaminante, al menos a escala de laboratorio.

Gavilánez y Leiva (2014), en su estudio sobre la “Evaluación in vitro de la capacidad de Biorremediación del consorcio microalgal *Chlorella sp*. – *Scenedesmus sp.*, en la biorremoción de materia orgánica de aguas residuales del Camal de Ambato” tuvo como objetivo general evaluar la capacidad de biorremediación del consorcio microalgal *Chlorella sp. – Scenedesmus sp*., in

vitro, en la biorremoción de materia orgánica de aguas residuales del camal de Ambato –Tungurahua, mediante métodos de biorremediación como la adición in vitro del consorcio microalgal *Chlorella sp - Scenedesmus sp.*, se evaluó la reducción de los niveles de carga orgánica. Concluyendo que el mayor porcentaje de biorremoción de DBO y DQO establecido fue en el procedimiento de tratado con efluente al 50% con un porcentaje de biorremoción del 67,08% para DBO y 66,54 % DQO.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Huanacuni y Bartra (2019), en su trabajo de tesis titulado “Evaluación de la Remoción de Arsénico utilizando la Microalga *Chlorella Vulgaris* en Aguas Superficiales del Río Uchusuma, Tacna – Perú”, la misma que se planteó como objetivo evaluar la remoción de arsénico utilizando la microalga *Chlorella Vulgaris* en aguas superficiales del río Uchusuma en Tacna. Para la metodología se utilizó el tratamiento en matraces de 500 ml con cultivos de 5 mL de microalga y con concentraciones de arsénico de 20, 40, 60, 80 y 100% respectivamente, los mismos que complementaron la composición con el nutriente (Bayfolan). El diseño fue experimental y se tuvo como un valor inicial de 0,119 mg/L de Arsénico Total el cual se instaló en el Laboratorio de Calidad de aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. En los resultados

se pudo observar que la microalga *Chlorella vulgaris* presentó una tolerancia, alta tasa, rapidez de crecimiento y absorción del metaloide a la exposición continua y en distintas concentraciones de arsénico, además que el crecimiento celular se triplicó en el día 7 y 8 favorecido por los nutrientes añadidos y por los componentes inorgánicos presentes en el agua; Asimismo, no se observó diferencias estadísticas significativas entre los 05 (cinco) tratamientos teniendo un porcentaje de remoción superior al 60%. Concluyendo que la eliminación de arsénico por *Chlorella vulgaris* resultó de forma eficiente, lo que fomenta el uso potencial de esta microalga *Chlorella vulgaris* en el agua del río Uchusuma en Tacna.

Pérez (2017), en su trabajo de tesis del “Efecto biorremediador de las clorofitas filamentosas en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados provenientes del río Chillón-Callao”, cuyo objetivo fue evaluar la aplicación de la biomasa de algas filamentosas aisladas de un estanque de las instalaciones del Centro de Investigación Biológica-CIB de la Universidad Católica Sedes Sapiens en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados provenientes del río Chillón como alternativa para la depuración de cuerpos de agua. En la parte metodológica la evaluación se realizó durante un periodo de 56 días, durante los meses de junio y julio del 2016, en el laboratorio de ciencias de la Universidad Católica Sedes Sapientiae. La especie de alga filamentosa se identificó como *Rhizoclonium sp.* cuya biomasa fue aplicada

directamente a los efluentes y se evaluó la remoción de plomo cada 7 días; así como, las variaciones del pH, temperatura, nitrógeno total (NT), fósforo Total (PT), ratio NT/PT y biomasa algal. Como resultado, el alga *Rhizoclonium sp.* produjo un alto valor de tasa de eliminación de 91,8 ± 0,11% ($p < 0,01$) para la reducción de plomo, NT y PT, y los valores fueron 98,1 ± 1,1% y 9,9 ± 0,9%, respectivamente. La relación NT / PT obtenida varió de 8,0 ± 0,5 a 2,45 ± 0,11. La biomasa de algas aumentó significativamente en 65,98 ± 1,02% ($p < 0,01$). En cuanto al valor de temperatura, se encontró que estaba altamente correlacionado con la remoción de plomo ($r = 0.89$; $P = 0.01$). La conclusión fue que el *Rhizoclonium sp.*, en relación con la biorremediación del agua contaminada con nutrientes y el metal pesado plomo, es eficaz.

Dueñas et al. (2014), en su investigación sobre la "Bioacumulación de Arsénico en *Chlorella Vulgaris* (chlorophyta: chlorellaceae) en Efluente de Parque Industrial Rio Seco (PIRS) y Toxicidad Aguda Sobre Daphnia magna (crustácea: daphniidae), Arequipa, Perú", tuvo como principal objetivo determinar la bioacumulación de Arsénico en la microalga *Chlorella vulgaris*. Mediante el método se evaluó la resistencia mediante el crecimiento de *Chlorella vulgaris*, en matraces de 250 mL con la aplicación de Arsénico III. La bioacumulación de Arsénico de *Chlorella vulgaris* de efluentes del Parque Industrial Río Seco (PIRS), se evaluó mediante la concentración de clorofila "a" y mediante la concentración residual de Arsénico después de someter a las

muestras a velocidades de flujo de 20, 40 y 80 mL/min en un sistema de flujo por gravedad. La evaluación de la toxicidad de la muestra de efluente con menor concentración residual de arsénico en el sistema de flujo por gravedad se realizó mediante el método de bioensayo, en el que se evaluó la mortalidad de neonatos de Daphnia magna "pulga de agua" y se determinó y la concentración letal promedio (CL). Los resultados mostraron que en comparación con el cultivo puro de C. vulgaris, C. vulgaris puede reducir eficazmente el Arsénico III en presencia de diferentes concentraciones de Arsénico III. La reducción se realizó eficazmente en el arsénico, en un 60,05%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Ubicación del Área de Estudio

El Centro Poblado Menor (C.P.M.) de Quebaya se encuentra ubicado en el distrito de Cuchumbaya en la provincia de Mariscal Nieto con una superficie de 8,671.58 Km^2 en el departamento Moquegua que se localiza en la parte sur del territorio peruano, que limita por el Norte con el departamento de Puno, por el Sur con el departamento de Tacna y por el Oeste con el Océano Pacífico (Intituto Nacional de Estadistica e Informática - INEI, 2000). Véase en el Anexo N°5.

2.2.2. Calidad del Agua

La calidad del agua es el valor ecológico básico de la salud y el crecimiento económico. En el Perú, debido a la existencia del sistema andino y su dependencia económica de las actividades extractivas de minerales, sus propiedades mineralógicas crean condiciones para la dispersión de contaminantes químicos, especialmente metales, e incluso llegan al agua potable, lo que confirma que una población en general está expuesta al riesgo crónico (Villena, 2018).

En el país existen entidades encargadas se supervisar la calidad la calidad del agua para el consumo humano como lo son las municipalidades, el ministerio de salud, las empresas prestadoras de servicio de agua potable (EPS) y Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), que tienen como objetivo evaluar según el reglamento de calidad del agua aprobado por el Decreto Supremo DS. N° 031 -2010- SA por la Dirección General de Salud Ambiental (Ministerio de Salud, 2010).

Sin embargo, aunque haya reglamentos y normativas establecidas para poder regular la calidad del agua suministrada a la población a nivel nacional existen lugares donde aún el tratamiento del agua es controlado inadecuadamente o en peor situación no cuentan con un medio de tratamiento

como una planta de tratamiento de agua potable para el consumo humano, situación que caracteriza a muchos distritos y más aún a Centros Poblados Menores, poniendo en riesgo la vida de los habitantes de los mismos ya que consumen agua con concentraciones de contaminación que con el transcurrir del tiempo afectará la salud de las personas que la consumen ya sea de forma indirecta (agua usada en ganadería, agricultura) o de forma directa (agua usada para el consumo humano).

Según diversos medios comunicación como lo son el diario Gestión, sólo el 42% de la población consume agua segura mientras que 6 de cada 10 peruanos no consumen agua en condiciones seguras, esto quiere decir que el agua que consumen estas personas no ha sido sometida a ningún tipo de tratamiento para asegurar la salud después de su consumo (Diario Gestión, 2016).

2.2.2.1 Requisitos de Calidad del Agua para el Consumo Humano

Los requisitos básicos para asegurar la calidad del uso humano del agua son el "marco" para la seguridad del agua, que incluye metas de protección de la salud establecidas por las autoridades con capacidades saludables, sistemas adecuados y una gestión adecuada (monitoreo

adecuado de la infraestructura, planificación efectiva y gestión), y un sistema de seguimiento independiente. Este enfoque requiere una evaluación sistemática de los riesgos de todo el sistema de suministro de agua potable desde las fuentes de agua y las cuencas de captación hasta los consumidores, y la identificación de las medidas que se pueden utilizar para gestionar estos riesgos, incluidos los métodos para garantizar que las medidas de control sean efectivas (World Health Organitation - WHO, 2011).

A. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, permaneciendo subyugados a lo determinado en el presente Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (vigente). Esta recopilación de normas cambia y excluye algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de ECA, y retiene otros contenidos aprobados por el Decreto Supremo antes mencionado.

Tabla 1.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍA
Categoría 1: Poblacional y recreacional	Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación.
Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras. Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras. Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras. Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Subcategoría D1: Riego de vegetales. Subcategoría D2: Bebida de animales.
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático	Subcategoría E1: Lagunas y lagos. Subcategoría E2: Ríos. Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos.

Nota. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017)

En el presente estudio se consideró los ECA para Agua según D.S. N°004-2017-MINAM contemplados en la Categoría 1 - Poblacional y recreacional, en su Subcategoría A correspondiente a las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, la misma que se divide en otras subcategorías, de las cuales con la necesidad de cumplir los objetivos de la

presente investigación se tomará en cuenta para la presente investigación a los ECA de la Subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

- **A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección**.

Esta subcategoría incluye aquellas aguas que, por sus características de calidad, cumplen con las condiciones establecidas para su destinación como abastecimiento de agua para el consumo humano con una desinfección simple, dando conformidad a la norma vigente. Las mismas que poseen parámetros físicos – químicos mencionados en la Tabla 2 (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017).

Tabla 2.

Parámetros Físicos – Químicos según Estándar de Calidad Ambiental para Agua

Parámetros	**Unidad de Medida**	**ECA para Agua Categoría 1: Poblacional y Recreacional Subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección**
Aceites y Grasas	mg/L	0,5
Cianuro Total	mg/L	0,07
Cianuro Libre	mg/L	**
Cloruros	mg/L	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15
Conductividad	(µS/cm)	1 500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	3
Dureza	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10
Fenoles	mg/L	0,003
Fluoruros	mg/L	1,5
Fósforo total	mg/L	0,1
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de Origen Antrópico
Nitratos (NO_3 -) (c)	mg/L	50
Nitritos (NO_2 -) (d)	mg/L	3
Amoniaco- N	mg/L	1,5
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000
Sulfatos	mg/L	250
Temperatura	°C	Δ 3

Turbiedad	UNT	5

Nota. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017)

B. Parámetros fisicoquímicos incluidos en la investigación

a. Conductividad

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar corriente. La capacidad depende de la presencia de iones y su concentración total, movilidad, valencia y concentración relativa y la temperatura de medición. La conductividad del agua pura es muy baja, por lo que medir la conductividad del agua puede darnos una idea de los sólidos disueltos totales en ella. La conductividad indica la presencia de sal en el agua, lo que aumenta su capacidad de transmisión de corriente eléctrica. Esta es una característica utilizada para la medición de campo o laboratorio, expresada en micro Siemens / cm (µS / cm). Los sólidos disueltos totales se pueden obtener multiplicando la conductividad por un coeficiente entre 0.55 y 0.75, expresado en mg/L. Este factor se puede determinar para cada cuerpo de agua, pero permanece aproximadamente constante, dependiendo de la proporción de iones en el cuerpo de agua y si permanecen estables.

- **Características:**

La mayoría de las soluciones de ácidos, bases y sales tienen una conductividad relativamente suficiente, mientras que la conductividad de las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en la solución acuosa es muy baja o no. La conductividad del agua se usa como una medida indirecta de su concentración total de sólidos disueltos totales o minerales en el agua. La salinidad del agua se determina midiendo su conductividad eléctrica. La presencia de sal afecta el crecimiento de las plantas. Es muy común encontrar un valor de 700 µS/cm. Naturalmente, es de 1500 µS/cm en aguas superficiales. La conductividad también se puede expresar en µmhos/cm y mS/cm.

b. Dureza

Por lo general, se originan en áreas con espesa capa superficial del suelo y formaciones de piedra caliza. Son aguas satisfactorias para el consumo humano (por simple desinfección), pero para fines de limpieza, más difícil es usar jabón (mayor costo) a mayor dureza. Cuando los dos minerales magnesio y calcio se disuelven en agua, se produce agua dura. Esto también se debe a la presencia de hierro. Cuanto mayor es la dureza del agua, más calcio y magnesio se disuelven (el magnesio y el calcio son iones cargados

positivamente). Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente son más difíciles de disolver en agua dura que en agua sin calcio y magnesio.

- **Característica**

La dureza del agua fluctúa mucho de un lugar a otro. En términos generales, las aguas poco profundas son más blandas que las profundas. La dureza del agua refleja la naturaleza de la estructura geológica en contacto con el agua.

c. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales, también llamados SDT, son compuestos inorgánicos presentes en el agua, como sales, metales pesados y algunos compuestos orgánicos traza que son solubles en agua. Algunos de estos compuestos o sustancias pueden ser necesarios para la vida, pero si la ingesta excede la cantidad requerida por el organismo, puede resultar dañino, por lo que la presencia de SDT en el agua es una de las principales causas de turbidez en el agua potable. Si no se filtra, los sólidos disueltos totales pueden ser la causa de diversas enfermedades (Microlab Industrial, 2016).

- **Características**

El análisis de sólidos disueltos totales es muy importante para controlar el proceso de tratamiento biológico y físico de aguas destinadas al consumo humano y evaluar si cumple con los límites de su uso (regulaciones normativas).

d. pH

El valor de pH es un valor que establece si una sustancia es ácida, neutra o alcalina y calcula el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en el rango de 0 a 14, y en el rango de 7, la sustancia es neutra. Un valor de pH inferior a 7 indica que la sustancia es ácida y un valor de pH superior a 7 indica que es alcalina. Cuando la sustancia es neutra, el número de átomos de hidrógeno es igual al número de átomos de hidroxilo. Cuando el número de átomos de hidrógeno (H +) sobrepasa el número de átomos de hidroxilo (OH-), la sustancia es ácida.

- **Características**

La concentración de iones de hidrógeno es un parámetro de calidad muy importante para la calidad del agua natural y las aguas residuales. Las aguas residuales con concentración de iones de hidrógeno son muy difíciles de tratar en el proceso biológico, si el efluente no se modifica antes de

evacuarse, las aguas residuales pueden cambiar la concentración de iones de hidrógeno en el agua natural.

A una temperatura dada, la fuerza de las características ácidas o alcalinas de una solución está determinada por la actividad del pH. Se puede usar un medidor de pH para medir convenientemente el valor de pH de un sistema acuoso.

Tabla 3.

Parámetros Físico – Químicos según Estándar de Calidad Ambiental para Agua considerados en la investigación

Parámetros	**Unidad de medida**	**ECA para Agua Categoría 1, Subcategoría A1**
Conductividad	(µS/cm)	1500
Dureza	mg/L	500
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 -8.5

Nota. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017).

e. Arsénico

El arsénico (As) es un componente muy frecuente en la atmósfera, rocas y suelos, hidrósfera y biósfera. Se combina con el medio ambiente a través de una variedad de reacciones que incluyen procesos naturales y artificiales (Agencia Mexicana del ISBN, 2013).

El arsénico se presenta en aguas naturales mayormente como arsénico trivalente y pentavalente. Estas especies son comúnmente llamadas arsenito y arseniato, respectivamente. El agua natural comúnmente está entre pH 5-9 y Eh -0,50V a +0,50V. A estas condiciones son dos las especies dominantes, Arsénico (III) en medios reductores y Arsénico (V) bajo condiciones oxidantes (Alvarez & Veli, 2014).

El arsénico es un material de desecho en muchos minerales. También puede liberarse al medio ambiente a través de la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y diversas actividades humanas. El arsénico ingresa al agua a través de la disolución de minerales, aguas residuales industriales y deposición atmosférica. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) suele ser la especie más común; en condiciones reductoras como las que se encuentran en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la

forma más predominante es el arsénico (III). Un aumento en el pH aumentará la concentración de arsénico disuelto en el agua.

Tabla 4.

Estándar de Calidad Ambiental del Arsénico

Parámetros	Unidad de medida	ECA para Agua Categoría 1, Subcategoría 1
Arsénico	mg/L	0,010

Nota. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017).

- **Origen del Arsénico:** El arsénico tiene un origen geológico importante. Suele existir en rocas y sus minerales. Se moviliza mediante la descomposición y lixiviación de rocas y procesos geoquímicos naturales para su liberación al medio ambiente, donde las aguas subterráneas y superficiales son los recursos más afectados (Chávez & Miglio, 2011).

- **Origen Antropogénico - Actividades contaminadoras del Agua:** Aunque la mayor parte del arsénico (As) que encontramos en el agua es de origen natural, no podemos ignorar el arsénico de fuentes artificiales. Aun así, la fuente de arsénico no determina su toxicidad, sino que está determinada por el tipo de arsénico encontrado o el grado de oxidación. Durante muchos años, ya sea en la industria minera o en diferentes

industrias, el arsénico se ha utilizado en grandes cantidades sin ningún tipo de control, ya sea como insecticida, herbicida, raticida, pintura, imprenta, medicina y más actividades.

- **Usos:** Los componentes de arsénico se utilizan comercial e industrialmente. En estado sólido, se ha utilizado ampliamente en materiales láser de arseniuro de galio (GaAs) y como acelerador en la fabricación de varios dispositivos. El óxido de arsénico se usa para fabricar vidrio. El sulfuro de arsénico se utiliza como pigmento y fuegos artificiales. El arseniato de hidrógeno y otros compuestos de arsénico se utilizan en medicina. El uso medicinal de la mayoría de los compuestos de arsénico se basa en su toxicidad.

- **Características:** El elemento arsénico tiene poca utilidad. Es uno de los pocos minerales con una pureza del 99,99%. Hay tres variantes alotrópicas o polimórficas de arsénico. La forma de cubo amarillo se obtiene condensando vapor a muy baja temperatura. El Polimorfo negro b, que es un isomorfo con fósforo negro. Ambos vuelven a una forma de arsénico gris o metálico en forma de diamante más estable cuando se calientan o se exponen a la luz. La forma metálica es un conductor eléctrico y térmico medio, frágil, y de baja ductilidad (Ministerio de Salud, 2009).

2.2.2.2. Efectos del Arsénico en la Salud

Actualmente, la calidad de la mayoría de las aguas subterráneas y superficiales cambia debido a descargas domiciliarias e industriales, lo que afecta la salud humana y los aspectos socioeconómicos de la población circundante (Piza & Castro, 2016).

Las personas están expuestas al arsénico principalmente a través de la inhalación, los alimentos y el agua. Principalmente en ciertas áreas, el agua entrará en contacto con minerales que contienen arsénico. Debido a razones geológicas naturales, en algunas partes del mundo, el agua potable que consumen ciertas personas puede contener más arsénico de lo habitual. El arsénico es extremadamente tóxico y cancerígeno para el cuerpo humano. No solo a altas concentraciones, la exposición puede provocar efectos agudos potencialmente mortales, sino también efectos negativos crónicos para la salud a través de la ingesta prolongada de agua de baja concentración. La toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico.

Entre las consecuencias nocivas no cancerígenas del Arsénico, las más comunes relacionadas con su ingesta son: las que ocurren en la piel, hiperpigmentación, hipopigmentación e hiperqueratosis; daño al sistema

cardiovascular, riñones e hígado, el desarrollo de enfermedades como neuropatía periférica y encefalopatía, y su capacidad para actuar como disruptores endocrinos asociados con el desarrollo de diabetes. En cuanto a la carcinogénesis, se ha establecido la relación entre la presencia de arsénico en el agua y la presencia de cáncer de vejiga, cáncer de pulmón, cáncer de riñón, cáncer de hígado y aumento de la mortalidad en poblaciones expuestas. Asimismo, el desarrollo de la exposición vía aérea ocupacional al arsénico y al cáncer de bronquios.

2.2.3. Biorremediación

El término biorremediación se emplea a cualquier sistema o procedimiento que utiliza métodos biológicos para convertir contaminantes del suelo o del agua (Suárez, 2013).

La capacidad de las bacterias, microalgas y hongos para eliminar metales es superior a la reportada por los métodos físicos y químicos tradicionales. También se sabe que la adquisición y eliminación de metales pesados puede considerar selectivamente la capacidad metabólica y el tipo de cada especie de biorremediación y clase metálica (Beltrán & Gómez, 2016).

En muchos casos, la biorremediación es menos costosa y más sostenible que otras alternativas de remediación. Es muy necesario entender que esta manera de recuperación de desechos no usa compuestos químicos de carácter tóxico. La mayoría de los procesos de biorremediación implican reacciones de reducción de la oxidación en las que se agrega un aceptor de electrones (comúnmente oxígeno) para estimular la oxidación de un contaminante reducido (por ejemplo, hidrocarburos) o un donante de electrones (comúnmente un sustrato orgánico) para reducir los contaminantes oxidados (nitrato, perclorato), metales oxidados, solventes clorados, explosivos y propulsores.

2.2.3.1. Modelado de los procesos de biorremediación

La biorremediación in situ normalmente demanda la inyección en la formación y mezcla de aceptores de electrones, donantes o nutrientes. Otros métodos de reparación innovadores, como la reparación de bombas y el tratamiento de refuerzo químico, requieren una mezcla química controlada. Es importante mejorar la comprensión del proceso de dilución y mezcla en el subsuelo, y diseñar métodos de control efectivos.

La parte de dinámica de fluidos del modelo representa el flujo y el transporte tridimensionales. Se está estudiando el efecto de la heterogeneidad sobre la dilución y la mezcla. La parte bioquímica (cinética de biotransformación) incorpora la comprensión actual del proceso basada en experimentos recientes de laboratorio y de campo. El objetivo de la investigación es llevar a cabo la transformación co-metabólica en combinación con fórmulas cinéticas adecuadas, que tengan en cuenta los efectos de la toxicidad y la inactivación de poblaciones microbianas.

2.2.4. Microalgas

El término microalgas incluye aquellos microorganismos unicelulares capaces de realizar la fotosíntesis. En esta categoría, las cianobacterias (tradicionalmente llamadas algas verde azuladas) y las algas eucariotas (tradicionalmente llamadas algas verdes, rojas y doradas) se agrupan en una categoría**.**

Las microalgas son generalmente organismos fotosintéticos y autótrofos, que obtienen energía de la luz solar y se desarrollan a partir de sustancias inorgánicas. Sin embargo, algunas especies pueden crecer

utilizando materia orgánica como fuente de energía o carbono. Según esto, la producción de microalgas se divide en:

- **Fotoautótrofa:** Las algas obtienen energía del sol y carbono de compuestos inorgánicos (sales).
- **Fotoheterótrofa:** Adquieren energía del sol y utilizan compuestos orgánicos como fuente de carbono.
- **Mixotrófica:** Muchas algas pueden crecer en procesos autótrofos y heterótrofos, por lo que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica. Por tanto, el carbono se obtiene a partir de compuestos orgánicos y CO_2.
- **Heterótrofa:** Los compuestos orgánicos suministran fuentes de energía y carbono. En otras palabras, de hecho, hay algas que pueden desarrollarse sin luz.

Las microalgas son consideradas un alimento funcional, que no solo mejora el contenido nutricional de los alimentos tradicionales, sino que también tiene un impacto positivo en la salud de los animales y los humanos. Contienen muchos carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, ácidos grasos poliinsaturados (omega-3 y omega-6) y antioxidantes (caroteno). Algunos

incluso contienen un mayor contenido de aminoácidos que los alimentos tradicionales.

2.2.4.1. La Microalga *Scenedesmus sp.*

Es una comunidad de algas en la que se unen 2, 4 u 8 células alargadas. Suelen tener espinas en los extremos. Es común en agua dulce y agua salobre en condiciones de nutrientes moderados a altos. La proporción óptima de nutrientes de esta alga es N: P 16: 1, y su nivel de aminoácidos esenciales es superior al estándar de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación); además, el contenido de proteínas está entre el 25% y el 65%, lo que la convierte en una atractiva fuente de proteínas (Quevedo, Morales, & Acosta, 2007).

- **Uso:** Las microalgas se utilizan para eliminar sustancias tóxicas, como pesticidas, herbicidas y metales pesados, esto se debe a su capacidad para acumular una gran cantidad de compuestos tóxicos sin afectar su actividad biológica. Otro beneficio de las microalgas es que tiende a liberar O_2 a través de la fotosíntesis, la degradación de compuestos orgánicos y la acumulación de biomasa que puede ser reutilizada en sistemas de

producción de biocombustibles y/o procesos avícolas, acuícolas o agrícolas.

- **Clasificación taxonómica:** La categorización taxonómica del *Scenedesmus sp.* es la siguiente:

  Reino: Plantae

  División: Chlrophyta

  Clase: Chlorophyceae

  Orden: Spheropleales

  Familia: *Scenedesmaceae*

  Género: *Scenedesmus*

  Especie: *Scenedesmus sp.*

- **Características Químicas:** La composición química de la biomasa de *Scenedesmus sp.* tiene en primer lugar a la humedad (H) con 7.85 porcentaje de contenido, en segundo lugar, las cenizas (CEN) con un porcentaje de contenido de 28.13, seguido de la Proteína (PT) con 33.15 porcentaje de contenido, después encontramos a la grasa (G) 2.97 de porcentaje de contenido y por último encontramos a los carbohidratos (C) 27.90 porcentaje de contenido. Además, también contiene aminoácidos como lisina y cistina, que están presentes en las microalgas *Scenedesmus*

sp. El nivel es superior a los requisitos básicos del informe de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

- **Reproducción del *Scenedesmus sp.***

  - **Reproducción Sexual:** Las microalgas de *Scenedesmus*, independientemente de su tamaño, se reproducen mediante división longitudinal. El modo de reproducción más común de *Scenedesmus* en la naturaleza es la reproducción asexual, incluidas las esporas o colonias autólogas. A través de 2 divisiones celulares no vegetativas consecutivas, cada célula de *Scenedesmus* puede producir una nueva colonia de 4 células o una etapa unicelular diferente. Aunque dos divisiones pueden considerarse un patrón normal, los organismos pueden realizar de 1 a 4 divisiones consecutivas. Por tanto, las colonias oscilan entre 2 células y 16 células.

  - **Reproducción Asexual:** De acuerdo a Sánchez (1996), las células hijas producidas de esta manera conservan la morfología y ultraestructura típicas de sus células madre. Cuando se exponen a condiciones que inducen la reproducción sexual (pH bajo, temperatura

baja o falta de nutrientes), los dos tipos de células responden de manera diferente: • Los individuos grandes pueden unirse directamente. • El individuo pequeño pasa por la etapa anterior de madurez: la etapa "palmeloide". En este estado, las manchas oculares están desorganizadas y todos sus orgánulos están incrustados en la capa de mucilaginosa.

2.2.4.2. Sistema de Cultivo de Microalgas en cultivo

a. Factores de crecimiento en microalgas en cultivo.

Según Ruiz (2011), los factores que afectan el crecimiento de microalgas son comunes, pero cada especie y subespecie de microalgas tiene sus propias características en términos de condiciones óptimas de crecimiento y máxima productividad lograda bajo diferentes configuraciones de sistemas de cultivo.

La productividad de las microalgas está establecida, esencialmente, por:

- el pH del medio
- la salinidad

- la disponibilidad y concentración de nutrientes
- la intensidad y el tipo de luz
- la densidad celular del cultivo
- la temperatura
- la depredación o la contaminación por otros organismos

En promedio, la biomasa de microalgas se duplica en 24 horas. Sin embargo, en la fase exponencial, algunas algas pueden duplicar su biomasa en solo 3,5 horas (Ruiz, 2011).

Por su parte, los autores Hernández y Labbe (2014) indican que esta capacidad da como resultado el sistema de cultivo con dos propósitos: eliminación de contaminantes y producción de biomasa con fines comerciales. Ambos objetivos dependen del sistema de cultivo, las especies cultivadas y los factores ambientales. El uso de medios contaminados en el cultivo afecta directamente los costos de producción. La selección del tipo de sistema de cultivo es muy importante y debe seleccionarse en base a los factores biológicos, tecnológicos, ambientales y económicos previamente definidos. La producción de biomasa a partir de microalgas proporciona una amplia gama de productos biotecnológicos que se pueden utilizar en la industria alimentaria, la salud y la medicina humana, la alimentación animal, los compuestos orgánicos y los biocombustibles.

Las microalgas pueden crecer en varios sistemas de producción, con rendimientos que van desde unos pocos litros hasta miles de millones. Los sistemas de uso común no son complicados porque aparecen al aire libre, en condiciones de luz natural, y tienen poco o ningún control sobre estas variables ambientales. Es posible encontrar especies de microalgas adecuadas, sin embargo, la producción de cultivos no biológicos para biodiesel no es una actividad baladí porque tienen características similares y requieren cuidados especiales, como evitar la contaminación por otro tipo de microalgas. El principal problema con el cultivo de microalgas en sistemas abiertos (generalmente a gran escala) es que las especies con mayor contenido de aceite no necesariamente se reproducen más rápido. Dado que estos sistemas están abiertos, debe tenerse en cuenta que estos sistemas son más susceptibles a la contaminación por otros tipos de microalgas y bacterias (Molina, 2003).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Arsénico: Es un compuesto químico de la tabla periódica cuya simbología es As y el número atómico 33. El arsénico es un metaloide que se halla en muchos minerales, tiene una apariencia metálica, es importante en la industria (Carabantes & Fernicola, 2003).

Biorremediación: Es una tecnología que aprovecha el potencial metabólico de los microorganismos para convertir los contaminantes en compuestos más simples con pocos o ningún contaminante, por lo que se puede utilizar para depurar agua contaminada (Díaz, Medina, Navarro, Cuizano, & Llanos, 2013).

Conductividad del agua: La conductividad se define como la habilidad de una sustancia para transportar corriente eléctrica, por lo que es lo opuesto a la resistencia eléctrica (Solís, Zúñiga, Mora, & Solís, 2018).

Densidad poblacional: Las microalgas son compuestos con estructuras eucariotas o procariotas, y su mecanismo de fotosíntesis puede usar la energía solar para una reproducción eficiente (Andrade, y otros, 2009).

Dureza del agua: Se refiere a la concentración de compuestos minerales en una determinada cantidad de agua, especialmente sales de magnesio y calcio. Generalmente se llama agua dura cuando el contenido de sal es alto y agua blanda cuando el contenido de sal es bajo (FACSA, 2017).

Ph: Índice de acidez o alcalinidad del agua. Puede definirse como la concentración de iones de hidrógeno en el agua (Water Boards, 2020).

Sólidos disueltos totales: Es una medida que expresa el contenido combinado de sustancias de tipo orgánicas o inorgánicas, que contiene un líquido en forma de moléculas, iones o en suspensión microgranular (Dezuane, 1997).

Scenedesmus sp.: El género *Scenedesmus* se constituye como microalgas capaces de elevar el contenido nutricional de alimentos, generando consecuencias positivas en relación a la salud de los individuos. También es empleado como medio de cultivo en aguas residuales (Chacón, Andrade, & Cárdenas, 2014).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO

3.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo a Gonzáles (2004), el tipo de investigación que se plantea en el presente trabajo de investigación, según su finalidad fue básico, ya que buscó el descubrimiento de leyes o principios básicos que constituyen el punto de apoyo en la solución de alternativas sociales y cuantitativo, porque se expresó numéricamente, recogiéndose y analizándose datos cuantitativos sobre las variables (Pita & Pétergas, 2002).

3.1.2. Diseño de investigación

En cuanto al diseño de investigación fue experimental debido a que la investigación conllevó la manipulación e inferencia sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico en el agua a partir del cultivo de

Scenedesmus sp., que provocó la modificación de las condiciones iniciales de las aguas provenientes del Centro Poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, región Moquegua, a partir de la toma de muestras. Del mismo modo, la investigación presentó un diseño bifactorial, ya que se tomaron dos variables; midiéndose los datos en las variables de respuesta de acuerdo con el diseño experimental planteado, empleando la microalga *Scenedesmus sp.,* la cual no ha sido previamente estudiada como biorremediador de arsénico.

En un diseño bifactorial, se evalúa la influencia de cada factor manipulado, midiendo su efecto sobre sus variables de respuesta. Por lo que, nos permite evaluar qué factores (concentración y tiempo de cultivo) y que niveles muestran una clara variación sobre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de arsénico.

Debido a que no resulta práctico manipular directamente la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*, se realizó una equivalencia entre los valores de concentración de cultivo y la densidad poblacional, de la siguiente manera:

En un cultivo puro de la microalga *Scenedesmus sp.* existe 350000 células/mL en promedio, esto equivale al Control negativo (T0N).

Para el control positivo (T0P), la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*es 0, debido a que no se adiciona el cultivo. Para los demás tratamientos, la densidad poblacional varía proporcionalmente de acuerdo al grado de dilución con respecto a la muestra de agua a tratar, estos valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Tabla de Equivalencia entre Densidad Poblacional y Concentración de Cultivo

TRATAMIENTO	CONCENTRACIÓN DEL CULTIVO	TIEMPO DE CULTIVO
T1	25 % de muestra / 75% de cultivo (262500 células/mL)	120 horas
T1	25 % de muestra / 75% de cultivo (262500 células/mL)	240 horas
T1	25 % de muestra / 75% de cultivo (262500 células/mL)	360 horas
T1	25 % de muestra / 75% de cultivo (262500 células/mL)	480 horas
T2	50 % de muestra / 50% de cultivo (175000 células/mL)	120 horas
T2	50 % de muestra / 50% de cultivo (175000 células/mL)	240 horas
T2	50 % de muestra / 25% de cultivo (175000 células/mL)	360 horas
T2	50 % de muestra / 25% de cultivo (175000 células/mL)	480 horas
T3	75 % de muestra / 25% de cultivo (87500 células/mL)	120 horas
T3	75 % de muestra / 25% de cultivo (87500 células/mL)	240 horas
T3	75 % de muestra / 25% de cultivo (87500 células/mL)	360 horas
T3	75 % de muestra / 25% de cultivo (87500 células/mL)	480 horas
T0N	0 % de muestra / 100% de cultivo (350000 células/mL)	120 horas
T0N	0 % de muestra / 100% de cultivo (350000 células/mL)	240 horas
T0N	0 % de muestra / 100% de cultivo (350000 células/mL)	360 horas
T0N	0 % de muestra / 100% de cultivo (350000 células/mL)	480 horas
T0P	100 % de muestra / 0% de cultivo (0 células/mL)	120 horas
T0P	100 % de muestra / 0% de cultivo (0 células/mL)	240 horas
T0P	100 % de muestra / 0% de cultivo (0 células/mL)	360 horas
T0P	100 % de muestra / 0% de cultivo (0 células/mL)	480 horas

Nota. En la tabla se muestran los diferentes factores, y los niveles asumidos, para la generación de todos los tratamientos que se aplicarán a las unidades experimentales.

El diseño del plan experimental se desarrolló de la siguiente manera:

Previo a la etapa experimental, se realizó el cultivo de una cepa de microalga verde de agua dulce, *Scenedesmus sp.* en tres Fases: Ceparia (tubo de ensayo 10 ml), Inicial (Matraz de 250 ml y 500 ml) e Intermedia (Matraz de 1000 ml), utilizándose para ello el Medio de Cultivo comercial BBM (Bold Basar Medium) para la propagación hasta los 500 ml, y el medio de cultivo Bayfolan, también llamado Abono Foliar desde los 1000 ml.

Tabla 6.

Composición del Medio de Cultivo de Bayfolan

MICRONUTRIENTES	CANT.	MACRONUTRIENTES	CANT.
Hierro	190 m/l	Nitrógeno	110 g/l
Manganeso	162 m/l	Anhídrido Fosfórico	80 g/l
Boro	102 m/l	Oxido de Potasio	60 g/l
Zinc	61 m/l		
Molibdeno	9 m/l		
Cobalto	3.5 m/l		
Vitaminas B1	1 m/l		
Hormonas de crecimiento	4 ppm		

Nota. Bayer Cropscience (2017)

Además, también se controlaron factores físicos como la iluminación artificial continua, limitada a 36 vatios; en el caso de una temperatura de 20 ° C, el valor de pH se limitaba a entre 7 y 9; y un oxigenador de acuario comercial

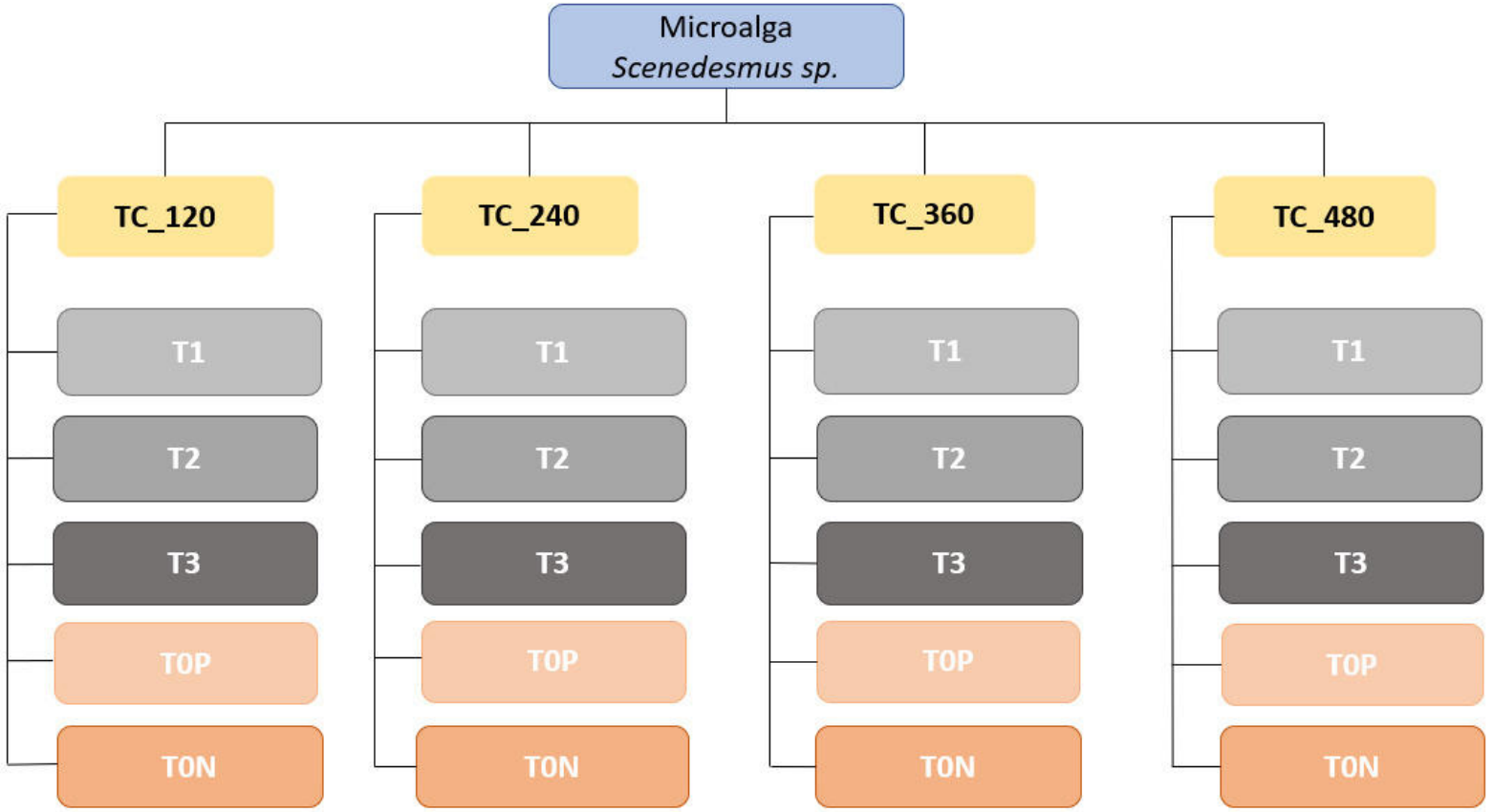
proporcionaba oxigenación; a través de esta manera se dio cuenta de la viabilidad de la especie.

La metodología empleada para lograr los objetivos del experimento, que fue, la evaluación del efecto de la concentración y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp,* sobre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de Arsénico, en aguas contaminadas, fue la implementación de un ensayo mediante un diseño experimental bifactorial, donde se tomó y midió las concentraciones de Arsénico, y los parámetros fisicoquímicos en aguas contaminadas de Moquegua, específicamente del distrito de Cuchumbaya, donde se reportaron concentraciones de hasta 0.075 mg/L, siendo el límite máximo permisible recomendado por la Organización Mundial de la Salud de 0.05 mg/L (Manzanedo, ¿Moquegua bebe agua contaminada? Conoce aquí la respuesta, 2016), dándole las condiciones de incubación con luz a base de un fluorescente blanco-frio a iluminación constante, temperatura de 20°C y aireación constante. Se tomaron muestras periódicamente cada cinco días por un tiempo de 20 días, para evaluar las concentraciones de Arsénico en el agua, mediante el método de Azul de Molibdeno; así como los parámetros fisicoquímicos del agua, mediante los medios tradicionales; y así determinar el efecto de la especie estudiada, en los parámetros fisicoquímicos, y las concentraciones de arsénico.

Respecto al diseño experimental, se aplicaron diferentes tipos de concentraciones de la biomasa de *Scenedesmus sp.* en 5 tipos de concentraciones diferentes (T1, T2, T3, T0P y T0N del cultivo) y tiempos diferentes con intervalos de medición de 5 días (120, 240, 360 y 480 horas), para determinar la efectividad de biorremediación con respecto a la concentración de la biomasa y el tiempo de exposición de la misma al agua contaminada con Arsénico y el efecto que estas tienen sobre los parámetros fisicoquímicos (pH, Sólidos disueltos totales, conductividad, dureza) estudiados en la presente investigación.

Figura 1.

Estructura del diseño experimental



Nota. Elaboración Propia (2020).

Donde:

T1: Tratamiento 1 (25 % de muestra / 75% de cultivo)

T2: Tratamiento 2 (50 % de muestra / 50% de cultivo)

T3: Tratamiento 3 (75 % de muestra / 25% de cultivo)

T0P: Control positivo (100 % de muestra / 0% de cultivo)

T0N: Control negativo (0 % de muestra / 100 % de cultivo)

TC_120: Tiempo de cultivo de 120 horas

TC_240: Tiempo de cultivo de 240 horas

TC_360: Tiempo de cultivo de 360 horas

TC_480: Tiempo de cultivo de 480 horas

3.1.3. Nivel de investigación

Ramos et al. (2015), mencionan que, en cuanto al nivel de investigación, este tiene que ver con el grado de complejidad de la investigación, y acepta los niveles descriptivos, explicativos y comparativos

La presente investigación se enmarcó en un nivel explicativo, ya que planteó relaciones de causa - efecto, explicando el comportamiento de una

variable dependiente, en función otra variable independiente, utilizando el experimento como un criterio para demostrar causalidad (Reyna, 2016).

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

El trabajo de investigación se desarrolló durante los meses de abril - mayo del año 2019, en el centro poblado Quebaya del distrito de Cuchumbaya, provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua (toma de muestra).

Los procedimientos que se siguieron fueron los siguientes:

- Cultivo de la Microalga *Scenedesmus sp.*
- Determinación de la Densidad Poblacional y preparación de las concentraciones de cultivo de la Microalga *Scenedesmus sp.*
- Toma de muestra de agua del Centro Poblado Menor de Quebaya.
- Envío de muestras de agua a concentraciones de arsénico y con Microalga *Scenedesmus sp.* a un laboratorio certificado por INACAL.

El cultivo de la Microalga *Scenedesmus sp*. y la determinación de la Densidad Poblacional de la Microalga *Scenedesmus sp*. se realizaron en las

instalaciones del laboratorio **LYPOZONE** la misma que se ubica políticamente en: Distrito: Yanahuara. - Provincia: Arequipa - Departamento: Arequipa.

Tabla 7.

Ubicación política del laboratorio LYPOZONE

Longitud Oeste	Latitud Sur	Altitud	Observaciones
71° 32´36.68´´	16° 23´ 27.9´´	2.43 Km	El Laboratorio se encuentra ubicado en la clínica Lypozone, oficina 510 del edificio Nasya II, Yanahuara

Nota. Determinado a partir de Google Earth (2019).

El laboratorio seleccionado para los análisis de las muestras y emisión de los informes de ensayo fue el L.A.S. (Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.), laboratorio de ensayos acreditado por la Dirección de acreditación del INACAL con registro N° LE – 050, ubicado en la ciudad de Arequipa con dirección Parque Industrial Río Seco C -1 Cerro Colorado.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población se encuentra representada por las fuentes de agua de consumo del centro poblado de Quebaya, el cual pertenece al distrito de Cuchumbaya, de la Provincia de Mariscal Nieto, ubicada en el departamento de Moquegua, En este centro poblado se ha reportado, en octubre del 2016, niveles elevados de Arsénico en aguas para consumo, tal como se resalta en la Tabla 8.

Tabla 8.

Niveles de Arsénico en aguas del Distrito de Cuchumbaya

ORIGEN DE LA FUENTE	*PUNTO DE MUESTREO*	*FECHA DE MUESTREO*	*PH*	*TURBIDEZ (NTU)*	*ARSÉNICO (MG/L)*	*NIQUEL (MG/L)*
Agua subterránea	*Captación – Alto parque*	*02-02-2016*	*7.539*	*5.56*	*0.055*	*0.024*
Agua de consumo	*Domicilio Huatalaque*	*02-02-2016*	*7.488*	*0.75*	*0.074*	*0.025*
Agua de consumo	*Domicilio Yojo*	*02-02-2016*	*6.922*	*1.59*	*0.028*	*0.035*
Agua de consumo	*Domicilio Cuchumbaya*	*16-02-2016*	*7.300*	*0.37*	*0.032*	*0.036*
Agua subterránea	*Capación Quebaya*	*15-02-2016*	*6.446*	*0.46*	*0.052*	*0.050*
Agua de consumo	***Domicilio Quebaya***	***15-02-2016***	***6.662***	***0.53***	***0.075***	***0.052***
Agua subterránea	*Captación Soquesane*	*21-06-2016*	*8.303*	*0.47*	*0.06*	*<0.005*

Nota. Tabla elaborada en el “Fórum Hídrico 2016” de la Comisión Ambiental Municipal de Moquegua.

Manzanedo, quien reportó este evento, en el 2016, aclaró que el problema se centra en los distritos de Samegua, Torata, Carumas, San

Cristóbal y Cuchumbaya; ya que estas jurisdicciones no cuentan con planta de tratamiento de agua para el consumo humano.

3.3.2. Muestra

Tomando de referencia lo dicho por Espinoza (2018), la muestra de la investigación, se realizó en base a un muestreo no probabilístico, de corte intencional o de juicio, donde el investigador seleccionó, la mencionada muestra, con base en el estudio de la Comisión Ambiental Municipal (CAM - Octubre 2016) del departamento de Moquegua, donde se mencionó que en el distrito de Chucumbaya, particularmente en el centro poblado de Quebaya, las muestras fueron adquiridas de las aguas destinadas para el consumo humano, las cuales presentan niveles de arsénico de alrededor de la 0.075 mg/L (Manzanedo, ¿Moquegua bebe agua contaminada? Conoce aquí la respuesta, 2016); superando ampliamente el límite máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud, de 0.05 mg/L. (OMS, 2018).

Dentro de este marco, la muestra para la presente investigación estuvo representada por un volumen total de 20 litros, distribuidos en 20 frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios de un litro de capacidad, conteniendo 1000 mililitros de agua como muestra cada uno; posteriormente,

en el laboratorio, las muestras se trasvasaron a matraces, destinados a la experimentación, los cuales estuvieron sometidos a la manipulación de las variables independientes “Tiempo de Cultivo” y “Densidad poblacional”; aplicándose un análisis de varianza multifactorial; esta muestra fue tomada de las aguas de consumo del distrito de Cuchumbaya, específicamente del centro poblado de Quebaya, donde se ha reportado contaminación por Arsénico y otros elementos tóxicos (Manzanedo, ¿Moquegua bebe agua contaminada? Conoce aquí la respuesta, 2016).

Para garantizar que las muestras de agua tomadas en campo, fueron representativas, y tomadas de forma correcta con el fin de avalar la confiabilidad de los resultados, es que el muestreo se ceñió a los parámetros establecidos en el “Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos superficiales”, aprobado por el estado peruano con Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA; el cual contiene los parámetros establecidos en el monitoreo, la ubicación de los puntos de muestreo, y registros de campo, la medición de caudales, la frecuencia de monitoreo, y pautas de muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis.

3.4. INSTRUMENTOS

La recolección de datos requirió del empleo de la ficha de observación como instrumento, la misma que fue resuelta a partir de la observación, y la cual representó la técnica empleada.

Cabe agregar que, para recolectar datos sobre las variables independientes, en primer lugar, la variable “densidad poblacional” de *Scenedesmus sp.,* se utilizó un microscopio para determinar densidad, (células por mililitro); en el caso de la variable “Tiempo de cultivo”, en horas, se utilizó un cronómetro; estos instrumentos sirvieron para cuantificar los indicadores de las variables independientes.

Para recolectar datos sobre la variable dependiente, parámetros fisicoquímicos y concentración de Arsénico, las técnicas empleadas fueron de acuerdo a los parámetros medidos, la conductividad, y los sólidos disueltos totales, fueron cuantificados por un medidor de conductividad, la dureza fue medida por un espectrofotómetro, y el pH, por un pHmetro; en el caso de la concentración de Arsénico, éste fue ponderado por el método de Azul de Molibdeno, el cual cuantifica las concentraciones de Arsénico presentes en

agua. El instrumento empleado fue un espectrofotómetro UV-Visible con celdas de 1 cm de camino óptico.

Los niveles permisibles de concentración de Arsénico, recomendados por la OMS, para aguas de consumo se expresan en la Tabla 9.

Tabla 9.

Criterios para la clasificación de los abastecimientos de agua de consumo en función del riesgo sanitario

Nivel de Arsénico en g/L.	Unidades
No detectable	(< 1)
Bajo	(1-10)
Tolerable	(10-50)
Tóxico	(>50)

Nota. OMS *(2018)*.

Para el procesamiento de los datos correspondientes, se utilizó el paquete estadístico R-project, realizándose un análisis de varianza de dos vías (ANOVA), que se entiende como una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes factores (Variables Independientes).

El ANOVA es la herramienta básica para el análisis de los modelos estadísticos de diseño de experimentos y regresión lineal, porque permite descomponer la variabilidad de un experimento en componentes independientes que pueden asignarse a diferentes causas.

Finalmente, tomando de referencia a Camacho (2019), en la presente investigación se aplicó dos tratamientos a un conjunto de grupos; una prueba, bastante más compleja que los contrastes de medias, donde se puede comprobar no solamente el efecto de varias variables intrasujetos sino también varias variables intersujetos. Se puede incluso temporalizar las diferentes medidas y tratar una nueva variable tiempo, como cuantitativa.

3.4.1. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

3.4.1.1. Hipótesis para medias de la Densidad Poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*

$$H_\circ = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

$H_\circ$ = La densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.* no presenta efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico.

H_a = Al menos uno de los tratamientos de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.* presenta efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico.

Si p<=0.05 se rechaza la $H_\circ$ (R-project).

3.4.1.2. Hipótesis para medias del Tiempo de Cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

$$H_\circ = \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \mu\beta_3 = \mu\beta_4$$

$$H_a = \mu\beta_i \neq \mu\beta_j$$

$H_\circ$ = El tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* no presenta efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico.

H_a = Al menos uno de los tiempos de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.* presenta efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico.

Si p<=0.05 se rechaza la $H_\circ$ (R-project).

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS

3.5.1. Cultivo de microalga *Scenedesmus sp.*

- **Material Biológico**

  Se utilizó una cepa de *Scenedesmus sp.* proveniente del Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, para su posterior determinación de su taxonomía en el Herbarium Arequipense (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. La determinación de la taxonomía de *Scenedesmus sp.* se encuentra registrada en la Constancia N°021-2019-HUSA emitida por la Dirección del Departamento Académico de Biología HERBARIUM AREQVIPENSE (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (Véase Anexo N°2).

- **Reactivos Químicos**

  - Solución de ácido clorhídrico concentrado.
  - Bicarbonato de sodio en polvo.

- **Medios de cultivos**
  - Medio de cultivo comercial BBM (Bold Basar Medium) para la propagación hasta los 500 ml.
  - Medio de cultivo Bayfolan, también llamado Abono Foliar desde los 1000 ml.

- **Material de laboratorio y Equipos**

  Como se muestra en la Tabla 10:

Tabla 10.

Material de Laboratorio y Equipos

MATERIALES	EQUIPOS
Tubo de ensayo de 10 ml	Baño María
Matraz enlermeyer de 250 ml	Espectrofotómetro
Matraz enlermeyer de 500 ml	Oxigenador
Matraz enlermeyer de 1000 ml	Termostato
Botellas transparentes de 7 l.	Microscopio
Vaso de precipitado de 50 ml	Cámara de Neubauer
Bureta graduada	Balanza de precisión
Pipeta graduada de 1ml	Phmetro
Pipeta graduada de 5 ml	Termómetro
Pipeta graduada de 10 ml	Refrigerador
Gradilla	Lámparas Fluorescentes
Pipeteador	Cronómetro
Piseta	
Goteros	
Manguera de goma	
Tapones de goma	
Frascos de plástico cierre hermético, boca ancha (1 litro).	
Frascos de vidrio cierre hermético, boca ancha (1 litro).	
Bombilla para pipeta	
Mechero de alcohol	
Cubre objetos	

Nota. Elaboración propia

- **Reactivos y otros materiales**

Tabla 11.

Reactivos y Otros materiales

REACTIVOS	OTROS
Azul de Molibdeno	Alcohol al 70%
Solución de metil naranja	Agua destilada
Hidróxido de amonio	Jabón Neutro
Bromato de potasio	Detergente
Molibdato de amonio	Hipoclorito de sodio al 10 %
Sulfato de Hidracina	Papel toalla
	Pape aluminio
	Cinta adhesiva
	Cooler de 20 litros
	Coolers de 50 litros
	Ice pack
	Guantes quirúrgicos descartables
	Mascarillas descartables
	Guardapolvo (bata de laboratorio)
	Papel Tisú
	Cartones

Nota. Elaboración propia

3.6. MÉTODO Y ANÁLISIS

3.6.1. Metodología

A. Toma de muestra de agua:

- Se seleccionó el Centro Poblado Menor de Quebaya por ser un Centro Poblado que no cuenta con una planta de tratamiento de agua para el consumo humano y debido a ello la población de la zona ingiere esta agua sin tratamiento alguno.
- Se procedió a la preparación de los materiales de muestreo a utilizar en la toma de muestra de agua de acuerdo al “Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos superficiales”, aprobado por el estado peruano con Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA.

Figura 2.

Cooler con frascos para la toma de muestra y testigo de temperatura.



Nota. Elaboración Propia

- Se utilizaron 2 cooler de 50 litros de capacidad, los mismos que contenían 20 frascos de plástico rotulados entre los dos.
- 2 frascos rotulados como testigo de temperatura (1 en cada cooler), los cuales se mantuvieron tapados y sin manipulación en todo momento.
- Se ubicó como punto seleccionado de toma muestra de agua en el Centro Poblado de Quebaya al último domicilio del recorrido de abastecimiento de agua sin tratamiento del lugar.

Figura 3.

Centro Poblado de Quebaya



Nota. Elaboración Propia

Figura 4.

Reservorio de agua sin tratamiento del Centro Poblado de Quebaya



Nota. Elaboración Propia

- **Primero:** Se verificó que el grifo de agua no presentará conexión directa con ningún tanque domiciliario, filtros o cualquier otro artefacto adherido.

- **Segundo:** Se verificó que no existan fugas a través de ellos o empacadoras de grifo o caño.
- **Tercero:** Se desinfectó el grifo interna y externamente previa toma de muestra con alcohol al 70%.
- **Cuarto:** Se abrió la llave del grifo y se dejó que fluya el agua por 3 minutos antes de tomar la muestra (purga).

Figura 5.

Elección, adaptación, desinfección y purga del grifo seleccionado



Nota. Elaboración Propia

- Enseguida se procedió a la toma de muestras, posterior envasado y conservación para su transporte.

Figura 6.

Toma de muestra y respectivo rotulado.



Nota. Elaboración Propia

- Para la preservación de las muestras se utilizaron cartones para aislarlas de la luz solar y 2 ice pack gel para evitar variaciones en la temperatura por factores climatológicos.

Figura 7.

Ice pack sobre las muestras de agua



Nota. Elaboración Propia

Figura 8.

Uso de cartones para aislar la luz de las muestras de agua



Nota. Elaboración Propia

- Una vez colectadas las muestras, se envió a un Laboratorio acreditado por INACAL para que se realice los análisis fisicoquímicos y de concentración de arsénico según el Protocolo de Procedimientos para la Toma de Muestras, Preservación, Conservación, Trasporte, Almacenamiento y Recepción de Agua para Consumo Humano (DIGESA, 2015). Los análisis fueron realizados antes de iniciar el experimento y posteriormente según los tiempos de cultivo.

Figura 9.

Culminación de toma de muestra de agua.

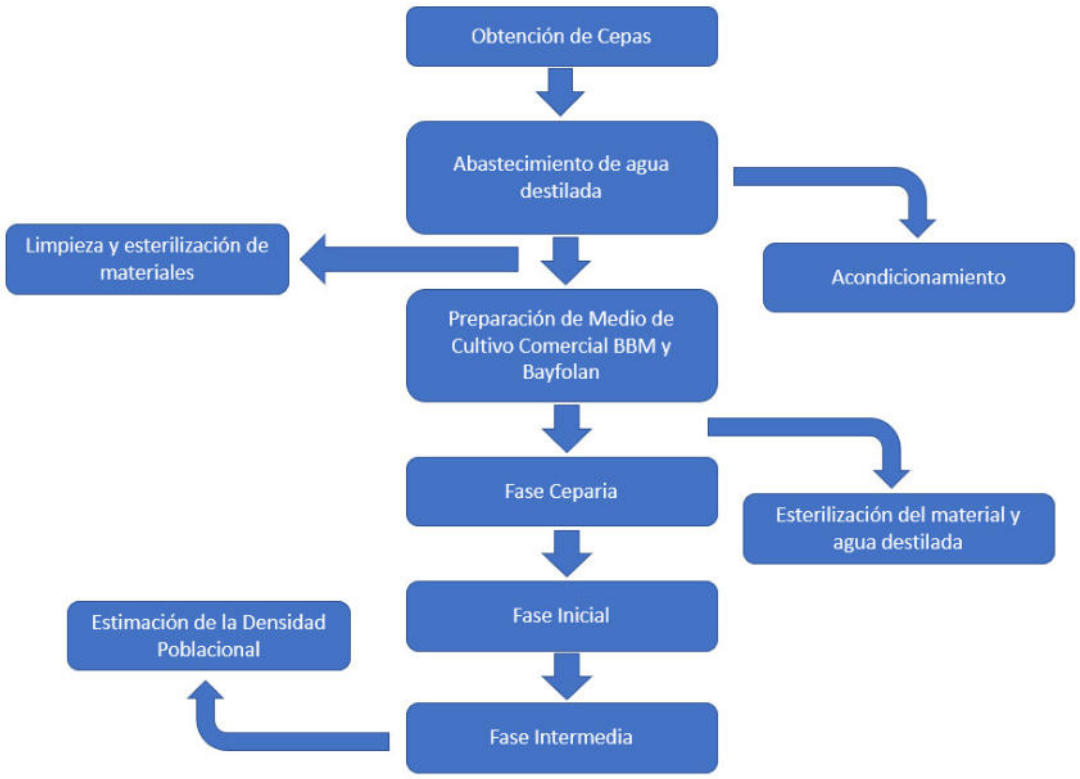


Nota. Elaboración Propia

B. Cultivo de Microalga *Scenedesmus sp.* en laboratorio en condiciones semi controladas.

Figura 10.

Diagrama de flujo de metodología para obtener biomasa de microalga *Scenedesmus sp.*



Nota. Elaboración propia

B.1. Fase Ceparia

Para la presente investigación se obtuvo la cepa de Microalga *Scenedesmus sp.* del Laboratorio de Botánica del Departamento Académico de Biología HERBARIUM AREQVIPENSE (HUSA) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Agustín. La recepción de la cepa *Scenedesmus sp.* fue en un tubo de ensayo de 10 ml, debidamente envuelta y protegida con papel aluminio para su transporte (refrigerada en un cooler con ice pack) hacia el Laboratorio **LYPOZONE.**

En las instalaciones del Laboratorio **LYPOZONE** se acondicionó y preservó la Cepa (se colocó en una gradilla en un estante con iluminación artificial continua de 36 vatios, a una temperatura de 20 °C). La cepa fue mantenida en medio líquido (contenida en tubo de ensayo de 10 ml) y en medio sólido (placa Petri). Este proceso se mantuvo durante 2 semanas con la finalidad de adaptar a la microalga a una nueva condición de hábitat, posterior a ello, se realizó el escalamiento del cultivo.

Figura 11.

Acondicionamiento de Cepa



Nota. Elaboración Propia

B.2. Fase Inicial

Se realizó esta fase de cultivo en matraces de enlermeyer de 250 ml y 500 ml de capacidad inoculados con el cultivo anterior (Fase Ceparia).

- **Matraz de 250 ml**

Para el escalamiento en matraz de 250 ml, se inoculó con el cultivo anterior de la Fase Ceparia. Primero se flameó con el mechero encendido la boca del matraz en el momento del escalamiento y repique, luego se añadió agua destilada, para enriquecerla en 150 ml de BBM. Al término de esta fase, se realizó la rotulación colocando el nombre de la especie y la fecha en el que

se realizó dicho proceso. Por último, el matraz es colocado en la estantería (estructura metálica) bajo temperatura ambiente e iluminación constante, por un lapso de 3 días. Durante ese tiempo fue agitado de manera constante y diaria a fin de lograr una dispersión efectiva de los nutrientes y promover la reproducción y mantener en suspensión la microalga *Scenedesmus sp*., evitando así, la formación de sedimentos. Pasado el tiempo de los 3 días, se realiza un repique a 4 matraces de 250 ml bajo las mismas condiciones del procedimiento que se explicó anteriormente, pero con aireación colocándose pali globos unidos a una válvula y manguera conectado al oxigenador.

Figura 12.

Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 250 ml.



Nota. Elaboración Propia

- **Matraz de 500 ml**

Para el escalamiento en matraz de 500 ml también se desarrolló de la misma manera que para el segundo escalamiento en matraz de 250 ml (con sistema de aireación).

Se coloca 250 ml del cultivo anterior y 250 ml del medio de cultivo BBM, el cual se mantiene por un lapso de 3 días. Pasado el tiempo de los 3 días, se realizó el escalamiento a matraces de 1 ml (1000 ml).

Figura 13.

Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 500 ml.



Nota. Elaboración Propia

B.3. Fase Intermedia

Se realiza en matraz enlermeyer de 1 Litro de capacidad inoculados con el cultivo anterior (matraz de 500 ml).

- **Matraz de 1 Litro**

Se colocó 500 ml de cultivo y 0.7 ml de abono foliar, luego se añade agua destilada hasta llegar a los 1000 ml (1 litro), se mantiene por un lapso de 3 días. Posterior a ello, se realizará el escalamiento a 5 bidones de 7 litros, en los cuales se someterán las muestras a 3 tratamientos T1, T2, T3, y a 2 controles, 1 Control Positivo (T0P) y 1 Control Negativo (T0N).

Figura 14.

Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp.* a matraz de 1 litro.



Nota. Elaboración Propia

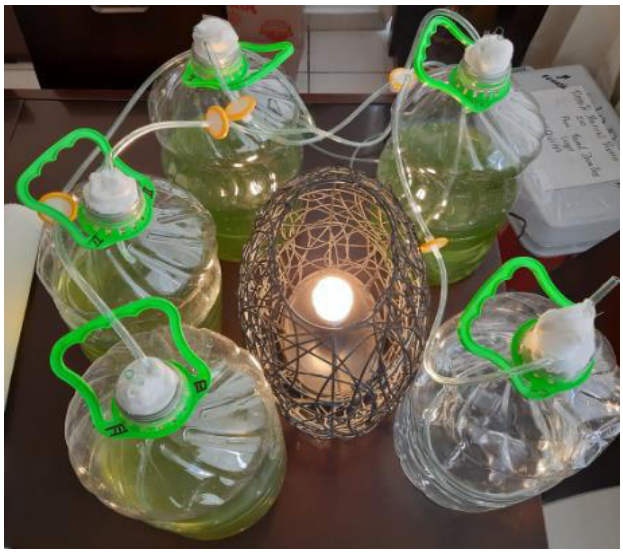
- **Bidón de 7 litros**

En el caso de las botellas de 7 Litros se realiza primero un cebado del recipiente con agua destilada, este proceso se realiza tres veces, y se procede con el escalamiento. (igual que con los anteriores escalamientos).

Lograda la viabilidad de *Scenedesmus sp*., se distribuyó las muestras colectadas en 5 bidones de 7 litros de capacidad cada uno (2 litros entre muestra de agua y cultivo *Scenedesmus sp.),* de acuerdo a lo expresado en la Tabla 5; 3 de los bidones utilizados serán sometidos a los tratamientos T1, T2 y T3, con sus respectivos 4 tiempos de cultivos, mientras que los 2 bidones restantes, serán sometidos a los controles negativos y positivos (T0N y T0P); posteriormente, se procedió a la medición de los resultados en los tiempos indicados en la Tabla 5, mediante los métodos indicados.

Figura 15.

Escalamiento de la microalga *Scenedesmus sp*. a bidones de 7 litros



Nota. Elaboración Propia

C) Determinación de la Densidad Poblacional *y* preparación de las concentraciones de cultivo de la Microalga *Scenedesmus sp.*

La densidad poblacional inicial de la microalga *Scenedesmus sp.* se estimó con la ayuda de un microscopio en el Laboratorio LYPOZONE. Una vez obtenido este dato, se procedió a preparar las concentraciones de los tratamientos T1, T2, T3, y Controles positivo y Negativo (T0P y T0N respectivamente) como se indica en la Tabla 5.

Para la estimación de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.* se realizó el siguiente procedimiento:

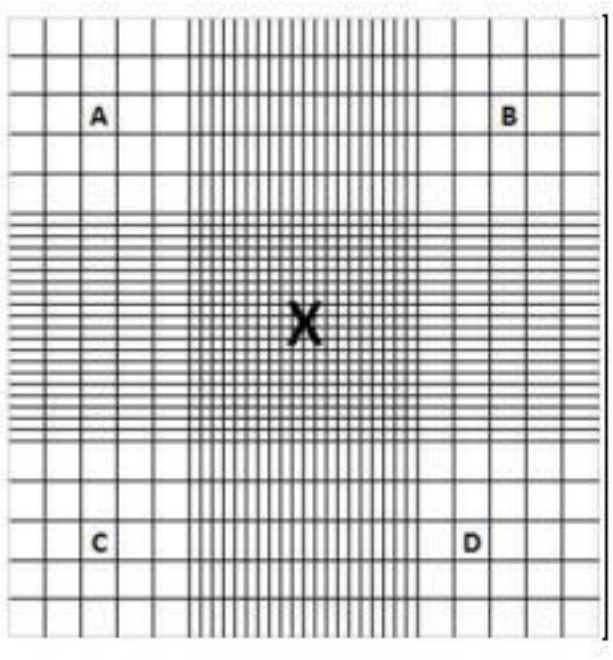
- Se tomó 1ml de muestra concentrada con ayuda de una pipeta.
- Se realizó una dilución en 9 ml de agua destilada 1ml de muestra, para un conteo adecuado.
- Con una pipeta se colocó la muestra en la cámara Neubauer, para luego poner el cubreobjeto.
- Se llevó a la cámara del microscopio y se enfocó con 10 X de aumento, hasta que la imagen quedara clara.
- Se procedió al conteo en la cámara Neubauer.

C.1) Método de Conteo Celular de la Densidad Poblacional de la Microalga *Scenedesmus sp.* a través Cámara de Neubauer:

Las células que fueron contabilizadas estuvieron totalmente en el cuadrado sin tocar las líneas superiores exteriores y laterales exteriores, estas se diferencian porque presentan entrelíneas muy juntas.

Figura 16.

Cuadrícula de Neubauer

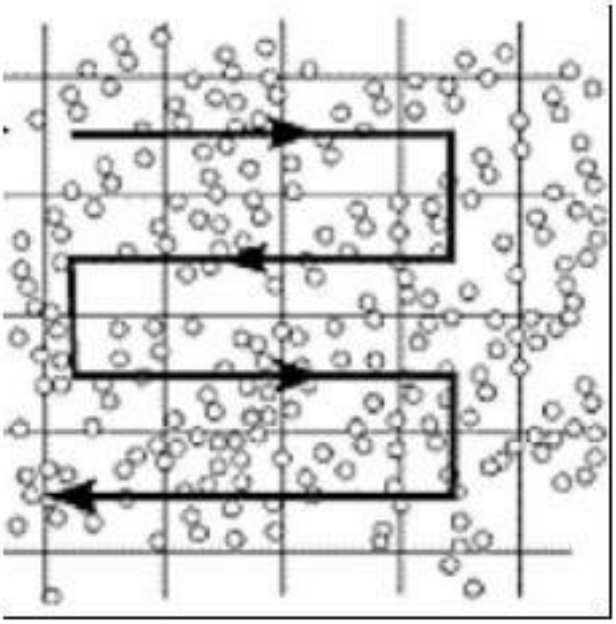


Nota. Celeromics (Celeromics, 2016)

Para el conteo de la densidad poblacional de la Microalga *Scenedesmus sp.,* se tomó en cuenta las células presentes en los 4 campos de 1 mm^2, marcados como A, B, C y D (ver Figura 16). Para seguir una correcta guía de conteo, se debe realizar de la siguiente forma:

Figura 17.

Guía de conteo de la Cámara Neubauer



Nota. Celeromics (Celeromics, 2016)

Con respecto a la dilución de la concentración celular en cada conteo por tratamiento se calculó utilizando la siguiente formula:

$$C = N\ (10^4)\ (\text{dilución})$$

En donde:

C: células/mililitro

N: promedio de células presentes en 1mm2

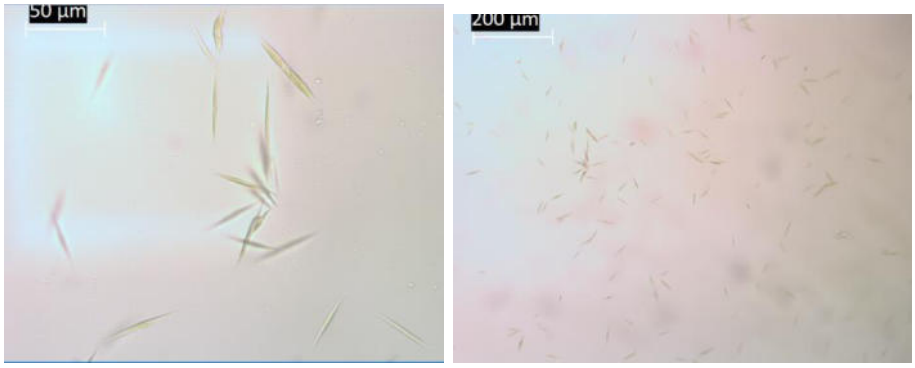
10^4: Factor de conversión de 0.1 ul a 1ml

Dilución: Factor de dilución (cuando se consideró necesario diluir la muestra), en este caso 10 unidades.

Es importante precisar que se utilizó 1 ml de muestra y 9 ml de agua sin células, el volumen total es de 10 ml y el factor de dilución es igual a 10, lo que se define como una relación de 1:10 (Instituto Nacional de Pesca, 2016).

Figura 18.

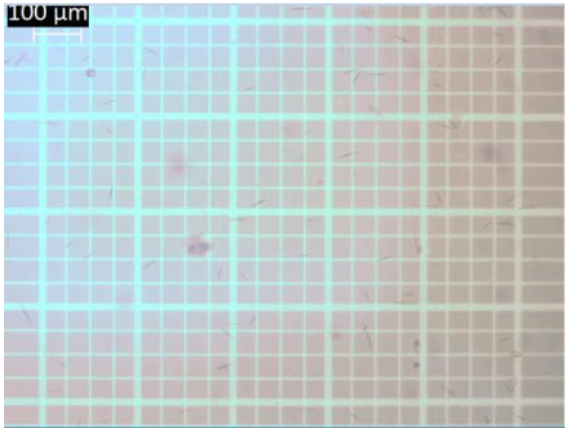
Vista de Microalga *Scenedesmus sp. a través Microscopio utilizado en el Laboratorio LYPOZONE*



Nota. Elaboración Propia

Figura 19.

Vista de Microalga *Scenedesmus sp. en la cámara de Neubawer en el Laboratorio LYPOZONE*



Nota. Elaboración Propia

Figura 20.

Conteo celular en el *Laboratorio LYPOZONE*



Nota. Elaboración Propia

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Parámetros Fisicoquímicos y densidad poblacional de arsénico

Debido a que no resulta práctico manipular directamente la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*, se realizó una equivalencia entre los valores de concentración de cultivo y la densidad poblacional como se muestra en la Tabla 5, la cual se utilizó para la presentación de los resultados de la investigación.

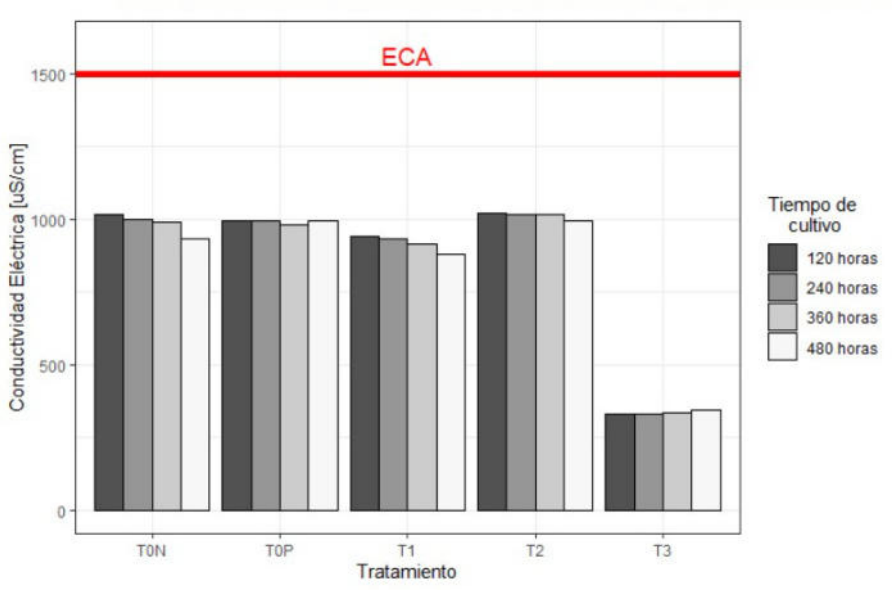
Cabe precisar que no se logró realizar el análisis de interacción entre los factores Concentración del cultivo y Tiempo de Cultivo de la Microalga *Scenedesmus sp.* debido a que los análisis de los parámetros físico químicos y concentración de arsénico en los intervalos de tiempo de 120 horas, 240 horas, 360 horas y 480 horas no fueron sometidos a repeticiones como se muestra en los Informes de Ensayo N°LAS01-AG-AC-19-00147, N°LAS01-AG-AC-19-00155, N°LAS01-AG-AC-19-00156,

N°LAS01-AG-AC-19-00164 y N°LAS01-AG-AC-19-00168 emitidos por Laboratorios Analíticos del Sur. Al ser sometido a mayor número de repeticiones en los análisis de los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico incrementaría el costo del experimento, afectando el presupuesto destinado para la presente tesis de investigación.

4.1.1.1. Conductividad eléctrica según densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Figura 21.

Gráfico de barra de la Conductividad eléctrica en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*



Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

Tabla 12.

ANOVA Bifactorial de la Conductividad Eléctrica en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Factores	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Valor F*	*Pr(>F)*
Concentración del cultivo	1334776	4	333694	1055.020	3.63e-15 ***
Tiempo de Cultivo	3086	3	1029	3.252	0.0598 .
Residuos	3796	12	316		
Niveles de Significancia	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '*'	0.1 '.'	

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 12, el análisis de varianza para el factor concentración del cultivo nos dio un p – valor menor que 0.001, lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias y concluir que existe diferencias entre los promedios de este factor con un nivel de confianza del 99.9%. De la misma manera para el factor tiempo de cultivo nos indica un p-valor mayor que 0.05, determinando que no existe diferencias significativas entre los promedios y aceptando la hipótesis nula planteada. Para el factor en el cual existió diferencias significativas entre los promedios, se realiza posteriormente un análisis post hoc.

Cabe indicar que el estándar de calidad ambiental de la Conductividad eléctrica es de 1500 µS/cm de acuerdo con el D.S. N°004-2017-MINAM, encontrándose la conductividad eléctrica no sobrepasa el

estándar de calidad ambiental para el agua, lo cual no indica ningún riesgo a la salud humana en ninguno de los tratamientos como se muestra en la Figura 21.

Para convalidar el supuesto estadístico de normalidad de los errores, asociados al modelo de experimental ANOVA, debemos realizar pruebas de normalidad, en este caso aplicaremos el test de Shapiro-Wilk, en R-project:

Shapiro-Wilk normality test: W = 0.9842, p-value = 0.9763

Por presentar un valor de $p > 0.05$, (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0, que es que los valores son similares a una distribución normal, concluimos que los errores se distribuyeron normalmente.

Adicionalmente, es necesario verificar si los errores experimentales presentan homogeneidad de varianzas en los tres tratamientos. Para esto aplicamos las pruebas de Bartlett:

Bartlett's K-squared = 5.8119, df = 4, p-value = 0.2136

Según la prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas, por presentar un $p > 0.05$ (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0 de igualdad de varianzas. Las varianzas de los errores de los tratamientos son homogéneas.

Tabla 13.

Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para Conductividad Eléctrica en función de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*

Niveles	Promedio	Grupos
T2 (1 L)	1012	a
T0P (0 L)	991.5	a
T0N (2 L)	983.75	a
T1 (1.5 L)	917.75	b
T3 (0.5 L)	335.25	c

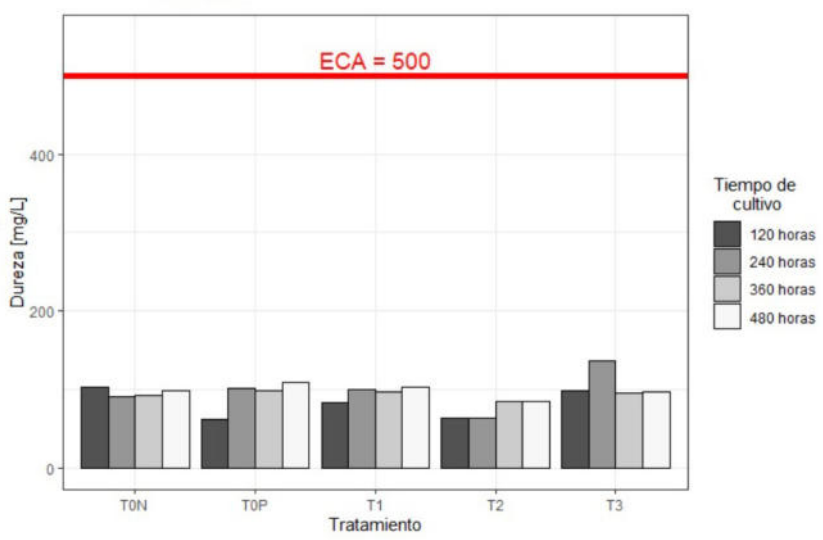
Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 13, apreciamos que no existe diferencia entre los promedios del Tratamiento 2 (T2) y los Controles positivo y negativo (T0P y T0N respectivamente), siendo el tratamiento 3 (T3), el que nos da el mejor resultado en la disminución de la conductividad eléctrica.

4.1.1.2. **Dureza *según* densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.***

Figura 22.

Gráfico de barra de la Dureza en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*



Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

Tabla 14.

ANOVA Bifactorial de la Dureza en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Factores	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Valor F*	*Pr(>F)*
Concentración del cultivo	2227.3	4	556.8	2.852	0.0712 .
Tiempo de Cultivo	903.2	3	301.1	1.542	0.2544
Residuales	2342.5	12	195.2		
Niveles de Significancia	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '*'	0.1 '.'	

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 14, el análisis de varianza para el factor concentración del cultivo nos dio un p – valor mayor a 0.05, lo que nos lleva a aceptar hipótesis nula de igualdad de medias y concluir que no existe diferencias entre los promedios de este factor. De la misma manera para el factor tiempo de cultivo nos indica un p-valor mayor que 0.05, determinando que no existe diferencias significativas entre los promedios y aceptando la hipótesis nula planteada. Por lo tanto, no aplicaría realizar un análisis Post Hoc en función de la concentración del cultivo y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Cabe indicar que el estándar de calidad ambiental de la Dureza es de 500 mg CaCO3/L de acuerdo con el D.S. N°004-2017-MINAM, encontrándose que la Dureza no excede el estándar de calidad ambiental

para el agua, lo cual no indica ningún riesgo a la salud humana en ninguno de los tratamientos como se muestra en la Figura 22.

Para convalidar el supuesto estadístico de normalidad de los errores, asociados al modelo de experimental ANOVA, debemos realizar pruebas de normalidad, en este caso aplicaremos el test de Shapiro-Wilk, en R-project:

Shapiro-Wilk normality test: W = 0.97241, p-value = 0.8048

Por presentar un valor de $p > 0.05$, (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0, que es que los valores son similares a una distribución normal, concluimos que los errores se distribuyeron normalmente.

Adicionalmente, es necesario verificar si los errores experimentales presentan homogeneidad de varianzas en los tres tratamientos. Para esto aplicamos las pruebas de Bartlett:

Bartlett's K-squared = 9.9225, df = 4, p-value = 0.04175

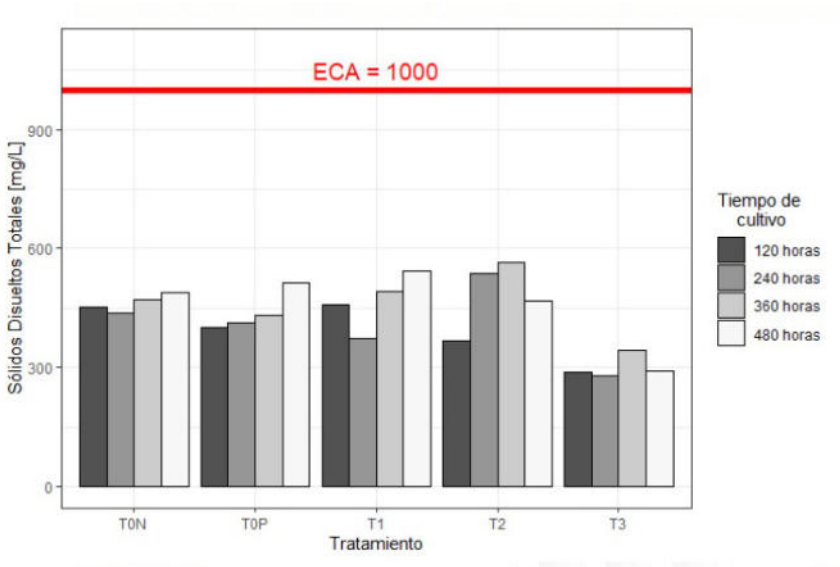
Según la prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas, por presentar un $p < 0.05$ (significativo), rechazamos la hipótesis H0 de igualdad de varianzas. Las varianzas de los errores de los tratamientos no

son homogéneas, sin embargo, esta prueba no es relevante ya que el ANOVA sale no significativo.

4.1.1.3. Sólidos Disueltos Totales según densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Figura 23.

Gráfico de barra de los Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional y Tiempo de Cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*



Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

Tabla 15.

ANOVA Bifactorial de la Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Factores	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Valor F*	*Pr(>F)*
Concentración del cultivo	89684	4	22421	8.415	0.00179 **
Tiempo de Cultivo	18428	3	6143	2.306	0.12865
Residuos	31972	12	2664		
Niveles de Significancia	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '*'	0.1 '.'	

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 15, el análisis de varianza para el factor concentración del cultivo nos dio un p – valor menor que 0.01, lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias y concluir que existe diferencias entre los promedios de este factor con un nivel de confianza del 99%. De la misma manera para el factor tiempo de cultivo nos indica un p-valor mayor que 0.05, determinando que no existe diferencias significativas entre los promedios y aceptando la hipótesis nula planteada. Para el factor en el cual existió diferencias significativas entre los promedios, se realiza posteriormente un análisis post hoc.

Cabe indicar que el estándar de calidad ambiental de los sólidos disueltos totales es de 1000 mg/L de acuerdo con el D.S. N°004-2017-MINAM, encontrándose que los sólidos disueltos totales no exceden el

estándar de calidad ambiental para el agua, lo cual no indica ningún riesgo a la salud humana en ninguno de los tratamientos como se muestra en la Figura 23.

Para convalidar el supuesto estadístico de normalidad de los errores, asociados al modelo de experimental ANOVA, debemos realizar pruebas de normalidad, en este caso aplicaremos el test de Shapiro-Wilk, en R-project:

Shapiro-Wilk normality test : W = 0.97421, p-value = 0.8401

Por presentar un valor de $p > 0.05$, (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0, que es que los valores son similares a una distribución normal, concluimos que los errores se distribuyeron normalmente.

Adicionalmente, es necesario verificar si los errores experimentales presentan homogeneidad de varianzas en los tres tratamientos. Para esto aplicamos las pruebas de Bartlett:

Bartlett's K-squared = 5.4978, df = 4, p-value = 0.2399

Según la prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas, por presentar un $p > 0.05$ (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0 de igualdad de varianzas. Las varianzas de los errores de los tratamientos son homogéneas.

Tabla 16.

Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para Sólidos Disueltos Totales en función de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*

Niveles	Promedio	Grupos
T2 (1 L)	484.00	a
T1 (1.5 L)	467.75	a
T0N (2 L)	463.00	a
T0P (0 L)	439.75	a
T3 (0.5 L)	300.00	b

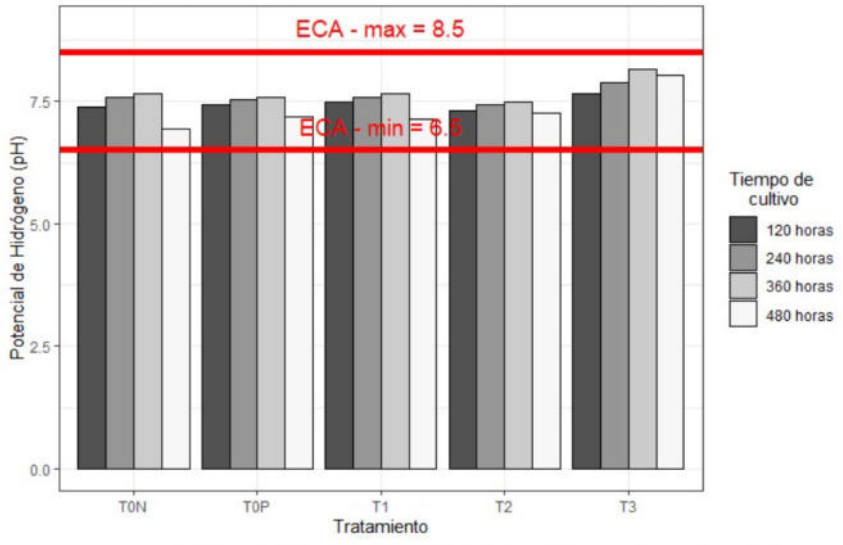
Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 16, apreciamos que no existe diferencia entre los promedios del Tratamiento 1 (T1), Tratamiento 2 (T2) y los Controles positivo y negativo (T0P y T0N respectivamente), siendo el tratamiento 3 (T3), el que nos da el mejor resultado en la reducción de los Sólidos Disueltos Totales.

4.1.1.4. **Ph según densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.***

Figura 24.

Gráfico de barra del pH en función de la concentración del cultivo y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*



Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

Tabla 17.

ANOVA Bifactorial del pH en función de la densidad poblacional y tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Factores	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Valor F*	*Pr(>F)*
Concentración del cultivo	0.8733	4	0.21832	9.357	0.00113 **
Tiempo de Cultivo	0.4408	3	0.14694	6.298	0.00822 **
Residuos	0.2800	12	0.02333		
Niveles de Significancia	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05'*'	0.1 '.'	

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 17, el análisis de varianza para el factor concentración del cultivo nos dio un p – valor menor que 0.01, lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias y concluir que existe diferencias entre los promedios de este factor con un nivel de confianza del 99%. De la misma manera para el factor tiempo de cultivo nos indica un p-valor menor que 0.01, determinando que existe diferencias significativas entre los promedios y aceptando la hipótesis alterna planteada. Para los factores en los cuales existió diferencias significativas entre los promedios, se realiza posteriormente un análisis post hoc.

Cabe indicar que el estándar de calidad ambiental del Ph se encuentra en un rango de 6.5 a 8.5 de acuerdo con el D.S. N°004-2017-MINAM, encontrándose el pH en el rango del estándar de calidad

ambiental para el agua, lo cual no indica ningún riesgo a la salud humana en ninguno de los tratamientos como se muestra en la Figura 24.

Para convalidar el supuesto estadístico de normalidad de los errores, asociados al modelo de experimental ANOVA, debemos realizar pruebas de normalidad, en este caso aplicaremos el test de Shapiro-Wilk, en R-project:

Shapiro-Wilk normality test : W = 0.95539, p-value = 0.4564

Por presentar un valor de $p > 0.05$, (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0, que es que los valores son similares a una distribución normal, concluimos que los errores se distribuyeron normalmente.

Adicionalmente, es necesario verificar si los errores experimentales presentan homogeneidad de varianzas en los tres tratamientos. Para esto aplicamos las pruebas de Bartlett:

Bartlett's K-squared = 7.3543, df = 4, p-value = 0.1183

Según la prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas, por presentar un $p > 0.05$ (no significativo), no rechazamos la hipótesis H0 de

igualdad de varianzas. Las varianzas de los errores de los tratamientos son homogéneas.

Tabla 18.

Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para el pH en función de la densidad poblacional de la microalga *Scenedesmus sp.*

Niveles	Promedio	Grupos
T3 (0.5 L)	7.9275	a
T1 (1.5 L)	7.4650	b
T0P (0 L)	7.4275	b
T0N (2 L)	7.3875	b
T2 (1 L)	7.3675	b

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 18, apreciamos que no existe diferencia entre los promedios del Tratamiento 1 (T1), Tratamiento 2 (T2) y los Controles positivo y negativo (T0P y T0N respectivamente), siendo el tratamiento 3 (T3), el que nos da el mayor incremento en el pH.

Tabla 19.

Análisis Post Hoc aplicando la prueba de Tukey para el pH en función del tiempo de cultivo de la microalga *Scenedesmus sp.*

Niveles	Promedio	Grupos
TC_360 (360 Horas)	7.702	a
TC_240 (240 Horas)	7.600	a
TC_120 (120 Horas)	7.446	ab
TC_480 (480 (Horas)	7.312	b

Nota. Elaborado con R-project (R-Project, 2021).

En la Tabla 19, apreciamos que no existe diferencia entre los promedios de los Tiempos de Cultivo de 240 y 360 horas, así mismo, las medias de los tiempos de cultivo de 120 y 480 horas tienen promedios similares.

4.1.1.5. **Arsénico *según densidad poblacional y tiempo de cultivo de la* microalga *Scenedesmus sp.***

En la medición final de la concentración de arsénico, no se pudo realizar el análisis de varianza debido a que en todos los tratamientos el valor medido estuvo por debajo del límite de detección, lo que nos indica que todos los tratamientos ya sea para concentración de cultivo o tiempo de cultivo resultan efectivos.

4.2. Discusión de los resultados

Dentro de los resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos como la remoción de arsénico por biorremediación de la microalga *Scenedesmus sp*. sometidos a diferentes concentraciones del cultivo y a intervalos de tiempo de 120, 240, 360 y 480 horas; se resalta que los niveles de Arsénico estuvieron por debajo de los niveles de detección de los equipos de análisis de laboratorio en comparación con

metodologías de biorremediación utilizadas, niveles aceptables para el consumo humano en todos los tratamientos con un valor menor de 0,0012 mg/L, concluyendo en que a concentraciones adecuadas, la capacidad biorremediadora de la microalga *Scenedesmus sp*. tiene resultados más favorables sobre el agua contaminada con arsénico.

Respecto a otros estudios biorremediadores utilizando otras especies de microalgas, se notó la efectividad de remoción de arsénico y otros metales pesados. Se resalta la capacidad biorremediadora de otras microalgas ya que el estudio realizado por Huanacuni y Bartra (2019), utilizó la microalga *Chlorella Vulgaris* en Aguas Superficiales del Río Uchusuma, Tacna que tuvo resultados positivos removiendo el 60% del arsénico presente en su muestra.

El mismo beneficio sobre otros metales pesados como lo son el plomo se señalaron en la investigación realizada por Pérez (2017), titulada "Efecto biorremediador de las clorofitas filamentosas en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados provenientes del río Chillón-Callao", la misma que evidenció remoción del plomo generando valores de remoción de 91,8 ± 0,11 % ($p<0,01$) aplicando el alga *Rhizoclonium sp.* directamente a los efluentes, resaltando su efectividad en relación con la

biorremediación del efluente contaminado con contenido de nutrientes y de plomo.

Lo mismo podemos destacar en el estudio realizado por Dueñas et al. (2014), los mismos que evidenciaron que gracias a la microalga *Chlorella vulgaris* y a su efecto biorremediador se removió un 60.05% del arsénico presente en el efluente proveniente del Parque Industrial Río Seco. De la misma forma, con los componentes fisicoquímicos estudiados en la presente investigación se puede observar que en diferentes estudios como en el de Gavilánez y Leiva (2014), apoyaron el tratamiento biorremediador e investigaron ese beneficio en las microalgas *Chlorella sp. – Scenedesmus sp*. teniendo como resultados la remoción del 67,08% para DBO y 66,54 % DQO.

En el ámbito internacional, existen estudios biorremediadores que permitieron demostrar la efectividad de las microalgas removiendo metales pesados, tales como él de Vega (2019), que en su trabajo de tesis sobre el "Uso de microalgas (*Chlorella sp*. y *Scenedesmus sp*.) inmovilizadas con esferas de alginato para la remoción de cromo", obtuvieron una efectividad de remoción del Cromo total de la microalga *Scenedesmus sp.* del 69 %. Por otro lado, gracias a Rosales et al. (2018) con su estudio sobre la "Remoción de contaminantes y crecimiento de *Scenedesmus sp*. en aguas

residuales de la curtiduría", evidenció remociones superiores al 90% para cromo total, , así como una reducción importante de la DBO y DQO (>97 %) que pudo deberse a efecto sinérgico con las bacterias presentes en los cultivos de la microalga, demostrando su factibilidad al utilizar este tipo de microalgas como agente descontaminante.

Vela et al. (2019), en su investigación sobre la "Biorremediación Eficiente de Efluentes Metalúrgicos mediante el Uso de Microalgas de la Amazonía y los Andes del Ecuador", destacó que la microalga *Scenedesmus sp.* demoró en alcanzar su periodo de adaptación e iniciar su proceso de biosorpción, removiendo el 64% de mercurio. Con los estudios mencionados a nivel nacional e internacional, podemos dar viabilidad de que diferentes especies de microalgas son capaces de cumplir funciones biorremediadoras y de remoción de metales pesados tales como el arsénico presente en el agua, al menos a escala de laboratorio.

La selección de parámetros fisicoquímicos en la presente investigación respondió a limitaciones de tipo económico y de accesibilidad a uso de laboratorios para el análisis de las muestras de agua correspondientes. Los resultados obtenidos en la presente investigación servirán como línea base para posteriores investigaciones a escala de

laboratorio, tomándose consideración criterios como obtención de muestras de agua con mayor concentración de arsénico u otro metal pesado, mayor número de repeticiones en los análisis de laboratorio, utilización de otro tipo de microalgas para la biorremediación, entre otros criterios a considerarse.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se permitió comprobar que la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de Scenedesmus sp. tienen efectos sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, siendo la concentración de cultivo más efectiva para la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales en el Tratamiento 3 (0.5 L) y no hubo variaciones en cuanto al tiempo de cultivo. En el caso de la dureza, no hubo efecto significativo de ningún factor. En cuanto al pH, ambos factores fueron significativos, siendo el Tratamiento 3 el que incrementó más este parámetro. Finalmente, respecto al arsénico todos los tratamientos lograron reducir su concentración hasta un nivel menor al límite de detección del equipo utilizado para evaluarlo. Cabe indicar que además de que hubo un efecto biorremediador de la microalga *Scenedesmus sp.* para el tratamiento de agua proveniente del centro poblado de Quebaya, en ninguno de los parámetros evaluados se

sobrepasó el Estándar de Calidad Ambiental para agua establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM.

CONCLUSIONES

1. Los resultados de la investigación han permitido demostrar que la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp*., tienen efectos sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, región Moquegua. En primera instancia, la densidad poblacional incide sobre la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, lo que se demostró a partir del valor de significancia calculado menor de 0.05. Además, cabe destacar que la densidad poblacional y el tiempo de cultivo tiene efectos sobre el pH. En cuanto a la dureza, no hubo un efecto significativo de ninguno de estos factores. Por último, la densidad poblacional y el tiempo de cultivo en cualquiera de sus niveles tiene un efecto significativo en la remoción de arsénico. Concluimos que existe un efecto biorremediador de la microalga *Scenedesmus sp.* para el tratamiento de agua y además en ninguno de los parámetros evaluados se sobrepasó el Estándar de Calidad Ambiental para Agua.

2. La densidad poblacional de *Scenedesmus sp*. tiene efecto sobre los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, pH y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, más no así para la dureza del agua. Para la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, la concentración de cultivo más efectiva en la disminución de estos parámetros fue el Tratamiento 3 (0.5 L). En cuanto al pH, el Tratamiento 3 fue el que incrementó más este parámetro. Respecto a la concentración de arsénico, todos los tratamientos lograron reducir su concentración hasta un nivel menor al límite de detección del equipo utilizado para evaluarlo.

3. El tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.,* presentó efectos significativos sobre el parámetro fisicoquímico de pH y la concentración de arsénico en todos sus niveles de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la investigación de los efectos de microalga *Scenedesmus sp.* en mayores concentraciones de Arsénico en agua de consumo humano para entender los mecanismos de la microalga *Scenedesmus sp.* que puedan ser estimulados o inhibidos.
- Se recomienda que el estudio sea realizado de forma anual con la finalidad de brindar un seguimiento a la calidad del agua para el consumo humano del lugar y así dar posibles soluciones a la problemática actual.
- Se recomienda aplicar técnicas biorremediación de la microalga *Scenedesmus sp.* a escala de laboratorio a otros metales pesados, ya que ha demostrado su efectividad y es una opción viable, ecológica y económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Microlab Industrial. (15 de Enero de 2016). *Aguas Residuales. Info*. Obtenido de https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/los-solidos-en-el-agua-maneje-sus-solidos-y-mejore-su-efluente

Agencia Mexicana del ISBN. (2013). *Arsénico en Agua. Presencia, cuantificación analítica y mitigación.* México: Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2019). *Resumen de Salud Pública: Arsénico (Arsenic) | PHS | ATSDR.* Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html

Alonso, L. (2014). *Determinación de arsénico total y biodisponible en la zona sur-occidental del distrito minero de oro california-vetas en el Departamento de Santander.* Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Alvarez, G., & Veli, L. (2014). *Remoción del Arsénico Mediante Arcilla Natural del Agua Procedente del Manantial de Quero - Jauja.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peú.

Andrade, C., Vera, A., Cárdenas, C., Morales, & E. (2009). Producción de biomasa de la microalga Scenedesmus sp. utilizando aguas residuales

de pescadería. . *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 32(2),*, 126–134.

Autoridad Nacional del Agua. (2014). *Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca*. Obtenido de http://www.ana.gob.pe/nosotros/planificacion-hidrica/plan-gestion-cuencas

Ballén, M., Hernández, L., Parra, D., Vega, A., & Pérez, K. (2016). *Using Scenedesmus sp. For the Phycoremediation of Tannery Wastewater.* 69-75: Tecciencia, 11(21).

Bayer Cropscience. (2017). *Bayfolan*. Obtenido de https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Diversos/Bayfolan-S

Beltrán, M., & Gómez, A. (2016). *Biorremediación de Metales Pesados Cadnio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Mg) Mecanismo Bioquimicos e Ingneria Génetica: Una Revisión.* España: Universidad Militar de Nueva Granada.

Camacho, C. (2019). *Analisis de la varianza para medias repetidas.* España: Universidad de Sevilla.

Carabantes, A., & Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: Un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, 39(4)*, 365-372.

Carabantes, A., & Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: Un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, 39(4)*, 365-372.

Carpio, N., & Vidalón, M. (2016). *Evaluacion tecnológica para la inhibición de la acción corrosiva en el agua potable utilizando parámetros de control y seguridad.* Arequipa: Universidad Nacional San Agustín Arequipa.

Celeromics. (2016). *Protocolo de Conteo - Conteo Celular con Hematocitómetro*. Obtenido de https://moam.info/camara-de-neubauer-celeromics_5a0b73f61723dd1ebbc4910f.html

Chacón, C., Andrade, C., & Cárdenas, C. (2014). Uso de chlorella sp. y scenedesmus sp.en la remoción de nitrógeno, fósforoy dqo de aguas residuales urbanasde maracaibo, venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones biológicas*, 96-108.

Chávez, M. (2009). Evaluación de dos técnicas analíticas para la especiación de arsénico en aguas superficiales del sur del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 26(1)*, 20–26.

Chávez, M., & Miglio, M. (2011). Remoción de arsénico por oxidación solar en aguas para consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 77(4)*, 307-314.

Dezuane, J. (1997). *Handbook of Drinking Water Quality.* John Wiley and Sons.

Diario Gestión. (2016). *Aún seis de cada diez peruanos consumen agua no segura, sin ser tratada*. Obtenido de https://gestion.pe/economia/seis-diez-peruanos-consumen-agua-segura-tratada-115658-noticia/

Díaz, J., Medina, R., Navarro, A., Cuizano, N., & Llanos, B. (2013). Estudio de la biosorcion de cromo (VI) con quitosano cuaternario reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 79(4),*, 304-318.

DIGESA. (2015). *RD-160-2015 "Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano".* Lima: DIGESA.

Dirección Regional de Salud. (2011). *Informe de evaluacion de la calidad de los recursos subcuenca pasto grande y sistema de derivación.* Obtenido de http://www.regionmoquegua.gob.pe/archivos/monitoreo_2.pdf

Dueñas, A., Huarachi, R., Yapo, U., Apfata, P., & González, R. (2014). Bioacumulación de arsénico en Chlorella Vulgaris (Chlorophyta: Chlorellaceae) en efluente de Parque Industrial Rio Seco (PIRS) y toxicidad aguda sobre Daphnia Magna (Crustacea: Daphniidae). *The Biologist, 12(1), Arequipa*, 9-22.

Espinoza, I. (16 de 12 de 2018). *Tipos de muestréo.* Obtenido de Biblioteca virtual de salud de honduras: http://www.bvs.hn/php/index.php

FACSA. (23 de Enero de 2017). *La dureza del agua*. Obtenido de FACSA: https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%3F,contiene%20en%20muy%20poca%20cantidad.

Fernández, I. (05 de febrero de 2018). *Pobladores denuncian contaminación del Río Coralaque por una minera en Moquegua*. Obtenido de https://rpp.pe/peru/moquegua/pobladores-denuncian-contaminacion-del-rio-coralaque-por-una-minera-en-moquegua-noticia-1103150

Gavilánez, F., & Ramírez, L. (2014). *Evaluación in vitro de la capacidad de biorremediación del consorcio microalgal Chlorella sp –Scenedesmus sp., en la biorremoción de materia orgánica de aguas residuales del Camal de Ambato.* Ecuador: Universidad del Ecuador.

Gonzáles, A. (2004). Investigación básica y aplicada en el campo de las ciencias económico administrativas. *Revista Ciencia Administrativa*, 39-50.

Google Earth. (19 de Octubre de 2019). *Google Earth*. Obtenido de Google Earth: https://earth.google.com/web/

Gujarati, D. (2010). *Econometría.* McGraw-Hill.

Hernández, A. L. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Rev. biol. mar. oceanogr. vol.49, n.2*, 157.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.

Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, P. (2015). *Metodología de la Investigación, Quinta Edición.* México D.F.: McGraw-Hill.

Huanacuni, C., & Bartra, S. (2019). *Evaluación de la Remoción de Arsénico Utilizando la Microalga Chlorella Vulgaris en Aguas Superficiales del Río Uchusuma, Tacna—Perú.* Tacna: Universidad Privada de Tacna.

Instituto Nacional de Pesca. (2016). *Protocolo de microalgas.* Manzanillo, Colima: Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP).

Intituto Nacional de Estadistica e Informática - INEI. (2000). *Conociendo Moquegua*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/E

Manzanedo, G. (26 de Octubre de 2016). ¿Moquegua bebe agua contaminada? Conoce aquí la respuesta. *Correo*.

Manzanedo, G. (2016). *Moquegua: ¿Moquegua bebe agua contaminada? Conoce aquí la respuesta.* Moquegua: Diario Correo. Disponible en: https://diariocorreo.pe/edicion/moquegua/moquegua-bebe-agua-contaminada-conoce-aqui-la-respuesta-706686/.

Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 35(1)*, 93–102.

Microlab Industrial. (2016). *Análisis de sólidos disueltos totales*. Obtenido de https://www.microlabindustrial.com/parametros/propiedades-agregadas/566/solidos-disueltos-totales

Ministerio de Salud. (2009). *Ficha tecnica de grupo de uso 1.* Lima: DIGESA.

Ministerio de Salud. (2010). *Decreto Supremo N° 031-2010-SA.* Lima: Plataforma Digital del Estado Peruano. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Lima: SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental.

Molina, E. (2003). Recuperación de biomasa y metabolitos de microalgas: opciones de proceso y economía. *Biotecnology Advances*, 491-515.

Moral, I. (2006). *Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística*. Obtenido de Revistas Eden: https://revistaseden.org/files/14-CAP%2014.pdf

Oliveros, D., & Wild, J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de remoción de nutrientes presentes en aguas residuales municipales en un sistema de tratamiento terciario.* Colombia: Universidad de la Costa.

OMS. (15 de Febrero de 2018). *Arsénico*. Obtenido de Arsénico: http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2018). *Arsénico*. Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic

Pellón, A., Rodríguez, M., Díaz, O., & Frades, J. (2011). Remoción de cromo mediante el uso de un bioreactor utilizando scenedesmus obliquus

inmovilizado. *Revista Científica de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 32(1)*, 13-20.

Pérez, Y. (2017). *Efecto biorremediador de las clorofitas filamentosas en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados provenientes del río Chillón-Callao.* Lima: Universidad Católica Sedes Sapientiae.

Pita, S., & Pétergas, S. (2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa.* A Coruña: Complexo Hospitalario-Universitario Juan Canalejo.

Piza, J., & Castro, J. (2016). *El Impacto de la Ley 1819 de 2016 y sus Desarrollos en el Sistema Tributario.* Colombia: Externado.

Quevedo, C., Morales, S., & Acosta, A. (2007). *Crecimiento de Scenedesmus sp.en Diferentes Medios de Cultivo para la Producción de Proteinas Microalga.* Medellin: Universidad de Antioquia.

Ramos, O., Isique, J., & Jhoncon, J. (2015). *Norma para la presentación de proyectos y tesis para la obtención del tituloprofesional.* Moquegua: UNAM.

Rangel, E., Montañez, L., Luévanos, M., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. . *Terra Latinoam 33(2)*, 103-118.

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M., & Jiménez, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D, 16(2)*, 66-77.

Reyna, M. (13 de septiembre de 2016). *Taller de investigación I.* Obtenido de Taller de investigación I: http://tallerdeinvestigaci1.blogspot.com/2016/09/niveles-de-investigacion.html

Rosales, A., Rodríguez, C., & Segura, M. (2018). Remoción de contaminantes y crecimiento del alga Scenedesmus sp. en aguas esiduales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Revista Ingeniería y ciencia, 28*, 11-34.

R-Project. (01 de Noviembre de 2021). *R-project*. Obtenido de https://www.r-project.org/

Ruiz Martínez, A. (2011). *Puesta en Marcha de un Cultivo de Microalgas para la Eliminación de Nutrientes de un Agua Residual Urbana Previamente Tratada con anaerobios.* España: Universidad Tecnica de Valencia.

Ruiz, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la anaeróbicamente.* España: Universidad Politecnica de Valencia.

Sánchez, R. (1996). *Biotecnología de las microalgas.* Estados Unidos: Universidad de California .

Solís, Y., Zúñiga, L., Mora, D., & Solís, Y. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. . *Revista Tecnología en Marcha, 31(1),*, 35-46.

Suárez, R. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos.* Colombia - Bogotá: Universidad Libre.

Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas, 18(34)*, 109–123.

Terán, C. (2017). *Bioelectrogenésis a partir de aguas residuales del parque industrial de río seco utilizando asociación sintrófica de microalgas y bacterias nativas.* Perú: Universdad Católica Santa María.

Vega, F. (2019). *Uso de microalgas (Chlorella sp. Y Scenedesmus sp.) inmovilizadas con esferas de alginato para la remoción de cromo.* Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Vela, N., Guamán, M., & González, N. (2019). Biorremediación eficiente de efluentes metalúrgicos mediante el uso de microalgas de la amazonía y los andes del Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(4)*, 917-929.

Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35(2)*, 304-308.

Water Boards. (2020). *¿Qué es el Ph?* Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf: Folleto Informativo 3.1.4.0.

World Health Organitation - WHO. (2011). *Guias para la calidad del agua de consumo humano*. Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1

Zapata, J. (2019). *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en la región Piura.* Piura: Universidad de Piura.

ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de consistencia

Problema	**Tipo de investigación**	**Objetivos**	**Variables**	**Definición**	**Indicadores**	**Instrumento**
¿Qué efecto tendrá la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.*, sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya, región Moquegua, 2019?	Básica y Cuantitativa.	**General**	**Independiente**			
		Determinar qué efecto tendrá la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp., sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, Distrito de Cuchumbaya, Región Moquegua, 2019.*	Densidad Poblacional de *Scenedesmus sp.*	Al conjunto de algas microscópicas, en un determinado volumen de agua, se le denomina biomasa.	Número de células por mililitro de agua (Células/mL).	Microscopio
			Tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.*	Horas transcurridas de actividad de *Scenedesmus sp.*	Horas transcurridas de actividad de *Scenedesmus sp.* (Horas).	Cronómetro
		Específicos	**Dependiente**			

		Determinar en qué modo afectará la densidad poblacional de *Scenedesmus sp.,* sobre los parámetros fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya. Determinar en qué modo afectará el tiempo de cultivo de *Scenedesmus sp.,* sobre los parámetr	Concentración de Arsénico en agua.	Cantidad del metal pesado Arsénico, por unidad volumétrica de agua.	Arsénico(mg/L)	Espectrofotómetro.
			Parámetros fisicoquímicos.	Son los parámetros que definen las características del agua, por lo tanto su calidad.	Conductividad (µmhos/cm).	Medidor de conductividad.
					Dureza (mg/L).	Medidor fotométrico de dureza.
					Sólidos Disueltos Totales (mg/L).	Medidor de conductividad.
					pH.	Medidor de pH.

		os fisicoquímicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del centro poblado de Quebaya, distrito de Cuchumbaya.				

Anexo N°2: Constancia determinación Microalga *Scenedesmus sp.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE BIOLOGIA
HERBARIUM AREQVIPENSE(HUSA)

CONSTANCIA N°021-2019-HUSA

El Director del *Herbarium Areqvipense* (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

HACE CONSTAR:

Que la muestra del espécimen presentado por Javier Marcial Rivero Oporto, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Moquegua, para la ejecución de su tesis: "**Efecto de la densidad poblacional y el tiempo de cultivo de *Scenedesmus* sp., sobre los parámetros fisicoquimicos y concentración de arsénico de aguas provenientes del Centro Poblado de Quebaya, Distrito de Cuchumbaya, Región Moquegua, 2019**". La muestra fue recibida en el Laboratorio de Botánica al estado fenológico fresco, para su determinación en el *Herbarium Areqvipense(HUSA)* y corresponde a la siguiente clasificación y especie.

Imperio: Eukaryota
Reino: Plantae
Clase: Chlorophyceae
Orden: Sphaeropleales
Familia: Scenedesmaceae
Género: *Scenedesmus*
Especie: *Scenedesmus* sp. (Chodat 1926: 136)

Se expide la presente CONSTANCIA para los fines que se estimen convenientes.

Arequipa 8 de abril del 2019.

Herbarium Areqvipense HUSA DIRECCIÓN UNSA

Mg. Leoncio Mariño Herrera
DIRECTOR
Herbarium Areqvipense (HUSA)

Avenida Daniel Alcides Carrion s/n
cercado.
Teléfono: (054) 237755
Apartado Postal: 0028
AREQUIPA — PERU

Anexo N°3: Cotización por Servicio de Análisis de Muestras de Agua por parte del Laboratorio acreditad por INACAL

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda.

Ruc: 20272874680
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102
Teléfono (54) 443294 Fax (54) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

Arequipa, 27 de marzo del 2019

COTIZACIÓN N° 19-AG-00205-01

Empresa				**Contacto**	Mg. Yamil Zevallos Luque / Marcial Rivero Oporto
RUC/DNI		**Correo**	yamil.zevallos@gmail.com / jmarcialrivero@gmail.com	**Tel/Cel**	Cel. 930277484 / 966420374
Dirección					

PRESENTE

Me dirijo a Uds. previo saludo, para cotizar mediante la presente, el servicio de ensayo en muestra de agua natural, solicitado por vía email.

N°	Cant	Elemento	Cod.	Método	Rango	P.U.	Subtotal
1	20	As	796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[0.0012-50] mg/L	40.68	813.56
2	20	T	807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua, T, C E	[0-50]°C	16.95	338.98
3	20	Dureza	830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[-24973]mg/L	33.90	677.97
4	20	SD	845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[0.125-1000] mg/L	27.12	542.37
5	20	pH	808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO), pH, T	[0-14]Unidad de pH	16.95	338.98
6	1			Gasto Administrativo		67.80	67.80
					Sub total		**2,779.66**
					Igv		**500.34**
					Total		**3,280.00**

Los costos son en Soles.

Nota.

- "LAS" proporciona frascos estériles para microbiología y frascos nuevos para parámetros fisicoquímicos y un instructivo, para muestra de agua.
- El presente servicio se realizará con la aceptación de la cotización y previo abono del valor de la cotización.
- El tiempo de respuesta para emitir los resultados es de 3 días hábiles, luego de recibidas las muestras en el laboratorio.
- El laboratorio no realizará devoluciones de dinero.
- A pedido del cliente, solicita que le proporcionemos el material, que el cliente realizará el muestreo.
- Las muestras que no cumple con las especificaciones técnicas de muestreo y preservación necesarias, el laboratorio no emitirá resultado con valor oficial de INACAL, (para los métodos ENSAYO ACREDITADO).

Esta cotización tiene validez de 30 días calendario.
En caso de requerir ensayos de parámetros de control adicionales, no dude en comunicarse con nosotros. Sin otro particular y esperando pronto poder atenderle nuevamente, se despide.

Diana Vargas Soto

cc/Archivo
dvs/DVS

Anexo N°4: Informes de Ensayo por parte del Laboratorio acreditado por INACAL

LAS
Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00147

Fecha de emisión : 22/04/2019

Señores : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Dirección : CALLE URUBAMBA 206 YANAHUARA AREQUIPA
Atención : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Registro de muestreo : 110-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 10/04/2019
Fecha de ensayo : 10/04/2019
Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000218	M-01	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	CENTRO POBLADO QUEBAYA - MOQUEGUA - MOQUEGUA	UTM 8147468	06/04/2019	10:00

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00147

Fecha de emisión : 22/04/2019

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*845	796	808		830
		C E	T	SD	As	pH	T	Dureza Total CaCO3
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG19000218	M-01	0,334	17,4	308	0,0177	6,4	19,2	88,9

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00147

Fecha de emisión : 22/04/2019

METODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[[a] 0.125 - 1000] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.0012 - 50] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.2 - 24973] mg/L

[a] : Límite detección [b] : Límite de cuantificación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00155

Fecha de emisión : 29/04/2019

Señores : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Dirección : CALLE URUBAMBA 206 DPTO. 201-A - YANAHUARA - AREQUIPA
Atención : MARCIAL RIVERO
Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Registro de muestreo : 120-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 18/04/2019
Fecha de ensayo : 18/04/2019
Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000254	TRATAMIENTO I	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LATITUD 16°23.3590 S - LONGITUD 71° 32.7320 O	17/04/2019	5:00
AG19000255	TRATAMIENTO II	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LATITUD 16°23.3590 S - LONGITUD 71° 32.7320 O	17/04/2019	5:00
AG19000256	TRATAMIENTO III	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LATITUD 16°23.3590 S - LONGITUD 71° 32.7320 O	17/04/2019	5:00
AG19000257	CONTROL POSITIVO	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LATITUD 16°23.3590 S - LONGITUD 71° 32.7320 O	17/04/2019	5:00
AG19000258	CONTROL NEGATIVO	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LATITUD 16°23.3590 S - LONGITUD 71° 32.7320 O	17/04/2019	5:00

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00155

Fecha de emisión : 29/04/2019

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*845	796	808		830
		C E	T	SD	As	pH	T	Dureza Total CaCO3
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG19000254	TRATAMIENTO I	0,995	20,3	402	[b]<0,0012	7,43	18,3	61,6
AG19000255	TRATAMIENTO II	1,015	19,5	453	[b]<0,0012	7,37	18,7	102,6
AG19000256	TRATAMIENTO III	0,943	19,7	460	[b]<0,0012	7,48	18,8	83,7
AG19000257	CONTROL POSITIVO	1,021	19,5	366	[b]<0,0012	7,3	18,8	63,1
AG19000258	CONTROL NEGATIVO	0,332	19,8	287	[b]<0,0012	7,65	18,7	99,0

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"[a]<Valor numérico" = Límite de detección del método, "[b]<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00155

Fecha de emisión : 29/04/2019

METODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[a 0.125 - 1000] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[b 0.0012 - 50] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[b 0.2 - 24973] mg/L

[a] : Límite detección [b] : Límite de cuantificación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00156

Fecha de emisión : 29/04/2019

Señores : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Dirección : CALLE URUBAMBA 206 DPTO. 201-A - YANAHUARA - AREQUIPA
Atención : MARCIAL RIVERO
Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Registro de muestreo : 122-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 23/04/2019
Fecha de ensayo : 23/04/2019
Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000260	CONTROL POSITIVO (+)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	22/04/2019	22:00
AG19000261	TRATAMIENTO I	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	22/04/2019	22:00
AG19000262	TRATAMIENTO II	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	22/04/2019	22:00
AG19000263	TRATAMIENTO III	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	22/04/2019	22:00
AG19000264	CONTROL NEGATIVO (-)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA - AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	22/04/2019	22:00

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00156

Fecha de emisión : 29/04/2019

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*845	796	808		830
		C E	T	SD	As	pH	T	Dureza Total CaCO3
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG19000260	CONTROL POSITIVO (+)	1,018	18,8	537	b<0,0012	7,42	16,9	64,2
AG19000261	TRATAMIENTO I	0,995	19,0	414	0,0073	7,52	17,8	102,1
AG19000262	TRATAMIENTO II	0,999	19,2	438	b<0,0012	7,59	18,5	90,7
AG19000263	TRATAMIENTO III	0,933	19,0	374	b<0,0012	7,58	18,2	100,3
AG19000264	CONTROL NEGATIVO (-)	0,333	18,2	279	b<0,0012	7,89	17,6	136,0

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00156

Fecha de emisión : 29/04/2019

METODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[[a] 0.125 - 1000] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.0012 - 50] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.2 - 24973] mg/L

[a] : Límite detección [b] : Límite de cuantificación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00164

Fecha de emisión : 06/05/2019

Señores : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Dirección : CALLE URUBAMBA 206 DPTO. 201-A - YANAHUARA - AREQUIPA
Atención : MARCIAL RIVERO
Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Registro de muestreo : 128-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 27/04/2019
Fecha de ensayo : 27/04/2019
Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000283	CONTROL + (POSITIVO)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	27/04/2019	10:00
AG19000284	TRATAMIENTO I	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	27/04/2019	10:00
AG19000285	TRATAMIENTO II	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	27/04/2019	10:00
AG19000286	TRATAMIENTO III	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	27/04/2019	10:00
AG19000287	CONTROL - (NEGATIVO)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3590' S - LONG 71°32.7320' O	02/04/2019	10:00

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"b"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00164

Fecha de emisión : 06/05/2019

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*845	796	808		830
		C E	T	SD	As	pH	T	Dureza Total CaCO3
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG19000283	CONTROL + (POSITIVO)	1,016	21,2	565	b<0,0012	7,49	23,2	85,4
AG19000284	TRATAMIENTO I	0,981	21,6	431	b<0,0012	7,57	23,2	97,9
AG19000285	TRATAMIENTO II	0,988	21,5	471	b<0,0012	7,65	23	92,1
AG19000286	TRATAMIENTO III	0,916	21,6	493	b<0,0012	7,66	22,8	96,6
AG19000287	CONTROL - (NEGATIVO)	0,334	21,8	344	0,0060	8,14	22,7	95,1

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Química C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"b"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00164

Fecha de emisión : 06/05/2019

METODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[a 0.125 - 1000] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[b 0.0012 - 50] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[b 0.2 - 24973] mg/L

[a] : Límite detección [b] : Límite de cuantificación

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicento Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 09/05/2019

Señores : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Dirección : CALLE URUBAMBA 206 DPTO. 201-A - YANAHUARA - AREQUIPA
Atención : MARCIAL RIVERO
Proyecto : TESIS

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : YAMIL ZEVALLOS LUQUE
Registro de muestreo : 134-19
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 04/05/2019
Fecha de ensayo : 04/05/2019
Nro de muestras : 5

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG19000294	TRATAMIENTO I	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3990 ' S - LON 71°32.7320' O	04/05/2019	06:46
AG19000295	TRATAMIENTO II	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3990 ' S - LON 71°32.7320' O	04/05/2019	06:46
AG19000296	TRATAMIENTO III	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3990 ' S - LON 71°32.7320' O	04/05/2019	06:46
AG19000297	CONTROL POSITIVO (+)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3990 ' S - LON 71°32.7320' O	04/05/2019	06:46
AG19000298	CONTROL NEGATIVO (-)	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable	YANAHUARA / AREQUIPA / AREQUIPA	LAT 16°23.3990 ' S - LON 71°32.7320' O	04/05/2019	06:46

(c) : datos proporcionados por el cliente.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"a"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 09/05/2019

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*807		*845	796	808		830
		C E	T	SD	As	pH	T	Dureza Total CaCO3
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG19000294	TRATAMIENTO I	0,995	20,7	512	[b]<0,0012	7,19	20,5	108,6
AG19000295	TRATAMIENTO II	0,933	20,6	490	[b]<0,0012	6,94	20,6	98,5
AG19000296	TRATAMIENTO III	0,879	20,6	544	0,0221	7,14	20,8	102,8
AG19000297	CONTROL POSITIVO (+)	0,993	20,6	468	[b]<0,0012	7,26	20,7	84,4
AG19000298	CONTROL NEGATIVO (-)	0,342	20,6	290	0,0298	8,03	20,7	96,9

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"[a]<Valor numérico" = Límite de detección del método, "[b]<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00168

Fecha de emisión : 09/05/2019

METODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
*845	Sólidos Disueltos en agua por gravimetría: SMEWW. 22 st Ed. Part-2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C	[[a] 0.125 - 1000] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.0012 - 50] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SMEWW. 22 th Ed.4500-H pH Part.B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO3): SMEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[[b] 0.2 - 24973] mg/L

[a] : Límite detección [b] : Límite de cuantificación

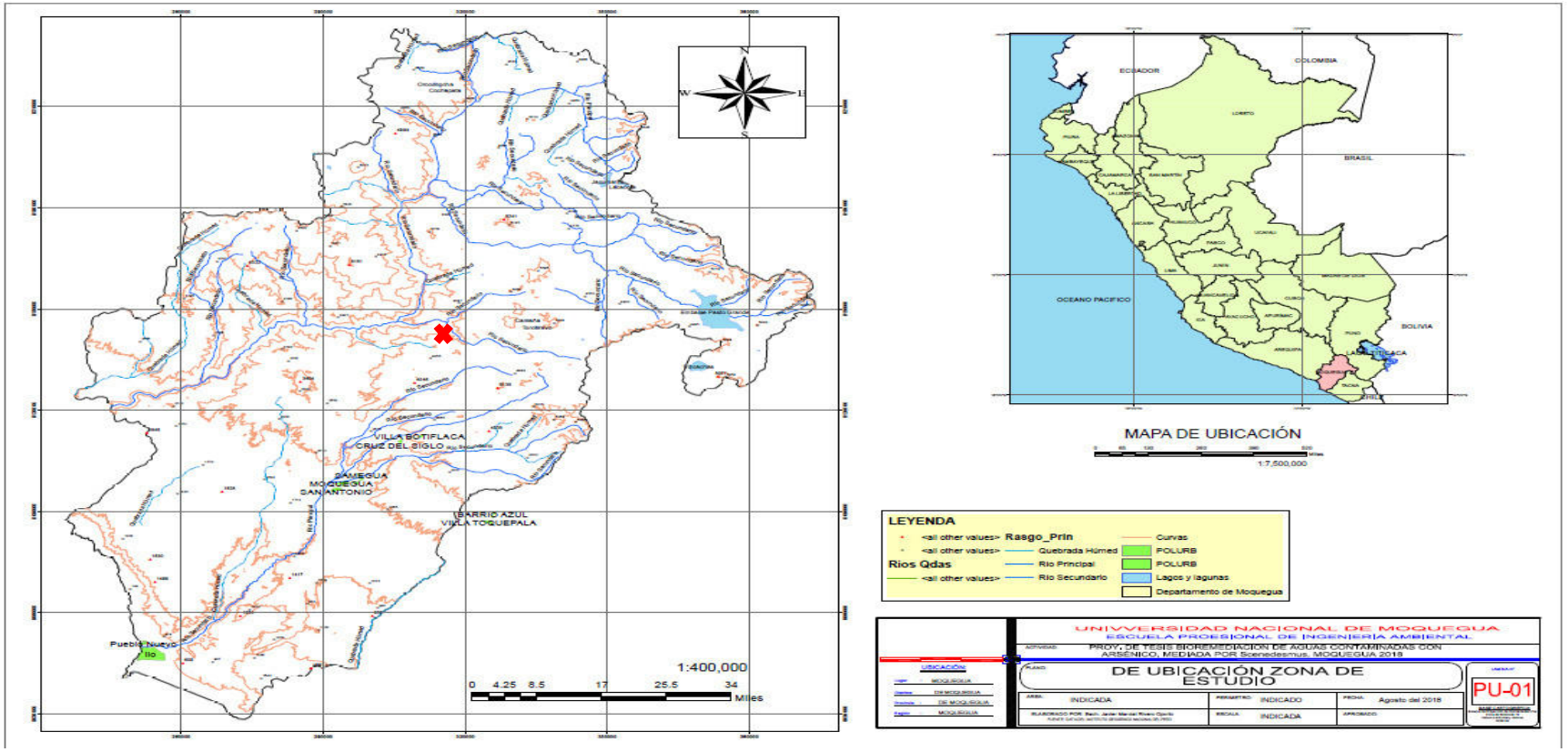
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
"[a]<Valor numérico" = Límite de detección del método, "[b]<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Anexo N°5: Plano de Ubicación de la zona del Proyecto.



Nota. Verificado con Google Earth (2019)

El levantamiento de muestras se llevó a cabo en el distrito de Cuchumbaya, de la provincia de Mariscal Nieto, del departamento de Moquegua, Perú.

Anexo N°6: Data estadística

Tratamientos	Independientes			Dependientes						
	Densidad poblacional de Scenedesmus sp.	Concentraciones del Cultivo (L)	Tiempo de cultivo a Scenedesmus sp.	Concentración de Arsénico en agua	Parámetros fisicoquímicos					
	células/ml		Horas	Miligramos por litro de Arsénico en agua (mg/L)	Fecha	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Conversión a utilizar Conductividad Eléctrica (umhos/cm o uS/cm)	Dureza Total CaCO3 (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	pH.
Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable (M-01)	350000	-	0 horas	0.0177	06/04/2019	0.334	334	88.9	308	6.4
T1	380000	1.5	120 horas	b<0.0012	17/04/2019	0.995	995	61.6	402	7.43
T2	340000	1		b<0.0012		1.015	1015	102.6	453	7.37
T3	335000	0.5		b<0.0012		0.943	943	83.7	460	7.48
T0P	-	-		b<0.0012		1.021	1021	63.1	366	7.3
T0N	341000	2		b<0.0012		0.332	332	99	287	7.65
T1	400000	1.5	240 horas	0.0073	22/04/2019	0.995	995	102.1	414	7.52
T2	338000	1		b<0.0012		0.999	999	90.7	438	7.59
T3	307000	0.5		b<0.0012		0.933	933	100.3	374	7.58
T0P	-	-		b<0.0012		1.018	1018	64.2	537	7.42
T0N	305000	2		b<0.0012		0.333	333	136	279	7.89
T1	470000	1.5	360 horas	b<0.0012	27/04/2019	0.981	981	97.9	431	7.57
T2	345000	1		b<0.0012		0.988	988	92.1	471	7.65
T3	287500	0.5		b<0.0012		0.916	916	96.6	493	7.66
T0P	-	-		b<0.0012		1.016	1016	85.4	565	7.49
T0N	275000	2		0.006		0.334	334	95.1	344	8.14
T1	725000	1.5	480 horas	b<0.0012	04/05/2019	0.995	995	108.6	512	7.19
T2	342500	1		b<0.0012		0.933	933	98.5	490	6.94
T3	332500	0.5		0.0221		0.879	879	102.8	544	7.14
T0P	-	-		b<0.0012		0.993	993	84.4	468	7.26
T0N	327500	2		0.0298		0.342	342	96.9	290	8.03

Muestra	Concentración de Arsénico en agua		Parámetros fisicoquímicos									
	Miligramos por litro de Arsénico en agua (mg/L)	ECAS Agua Arsénico (mg/L)	Fecha	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Conversión a utilizar Conductividad Eléctrica (umhos/cm o uS/cm)	ECAS Agua Conductividad (uS/cm)	Dureza Total CaCO3 (mg/L)	ECAS Agua Dureza (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	ECAS Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	pH.	ECAS pH (mg/L)
Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable (M-01)	0.0177		06/04/2019	0.334	334		88.9		308		6.4	
T1	b<0.0012			0.995	995		61.6		402		7.4	
T2	b<0.0012			1.015	1015		102.6		453		7.4	
T3	b<0.0012		17/04/2019	0.943	943		83.7		460		7.5	
T0P	b<0.0012			1.021	1021		63.1		366		7.3	
T0N	b<0.0012			0.332	332		99		287		7.7	
T1	0.0073			0.995	995		102.1		414		7.5	
T2	b<0.0012			0.999	999		90.7		438		7.6	
T3	b<0.0012		22/04/2019	0.933	933		100.3		374		7.6	
T0P	b<0.0012	0.01		1.018	1018	1500	64.2	500	537	1000	7.4	6.5 - 8.5
T0N	b<0.0012			0.333	333		136		279		7.9	
T1	b<0.0012			0.981	981		97.9		431		7.6	
T2	b<0.0012			0.988	988		92.1		471		7.7	
T3	b<0.0012		27/04/2019	0.916	916		96.6		493		7.7	
T0P	b<0.0012			1.016	1016		85.4		565		7.5	
T0N	0.006			0.334	334		95.1		344		8.1	
T1	b<0.0012			0.995	995		108.6		512		7.2	
T2	b<0.0012			0.933	933		98.5		490		6.9	
T3	0.0221		04/052019	0.879	879		102.8		544		7.1	
T0P	b<0.0012			0.993	993		84.4		468		7.3	
T0N	0.0298			0.342	342		96.9		290		8	

Anexo N°7: Data de proceso en R-project

Densidad poblacional de Scenedesmus sp.	Tiempo de cultivo a Scenedesmus sp.	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Conversión a utilizar Conductividad Eléctrica (umhos/cm o uS/cm)	Dureza Total CaCO3 (mg/L)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	pH.
350000	0	0.334	334	88.9	308	6.4
380000	120	0.995	995	61.6	402	7.43
340000	120	1.015	1015	102.6	453	7.37
335000	120	0.943	943	83.7	460	7.48
341000	120	0.332	332	99	287	7.65
400000	240	0.995	995	102.1	414	7.52
338000	240	0.999	999	90.7	438	7.59
307000	240	0.933	933	100.3	374	7.58
305000	240	0.333	333	136	279	7.89
470000	360	0.981	981	97.9	431	7.57
345000	360	0.988	988	92.1	471	7.65
287500	360	0.916	916	96.6	493	7.66
275000	360	0.334	334	95.1	344	8.14
725000	480	0.995	995	108.6	512	7.19
342500	480	0.933	933	98.5	490	6.94
332500	480	0.879	879	102.8	544	7.14
327500	480	0.342	342	96.9	290	8.03

Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo N°8: Formato de Recuento de Microalgas *Scenedesmus sp.*

ESPECIE	FECHA	HORAS	TRATAMIENTOS	RECUENTO (células/mL)					PROMEDIO (células/mL)
				1	2	3	4	5	
Scenedesmus sp.	6/04/2019	0	Agua para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida - Agua Potable (M-01)	350000	350000	350000	350000	350000	350000
	17/04/2019	*120*	T1	380000	370000	380000	380000	390000	380000
			T2	340000	330000	350000	340000	340000	340000
			T3	320000	330000	340000	345000	340000	335000
			T0P	-	-	-	-	-	-
			T0N	340000	345000	340000	330000	350000	341000
	22/04/2019	240	T1	400000	430000	380000	390000	400000	400000
			T2	350000	320000	350000	340000	330000	338000
			T3	285000	310000	320000	310000	310000	307000
			T0P	-	-	-	-	-	-
			T0N	300000	305000	310000	310000	300000	305000
	27/04/2021	360	T1	470000	480000	470000	460000	470000	470000
			T2	340000	345000	350000	340000	350000	345000
			T3	287500	280000	270000	290000	310000	287500
			T0P	-	-	-	-	-	-
			T0N	275000	280000	270000	270000	280000	275000
	4/05/2019	480	T1	720000	730000	725000	750000	700000	725000
			T2	350000	340000	352500	330000	340000	342500
			T3	332500	330000	350000	320000	330000	332500
			T0P	-	-	-	-	-	-
			T0N	327500	320000	340000	320000	330000	327500

Fuente: Elaboración propia (2019).

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Javier Marcial Rivero Oporto
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: DNI N°45613739
Correo electrónico	: jmarcialrivero@gmail.com
Teléfono/Celular	: 966420374

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: EFECTO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL Y EL TIEMPO DE CULTIVO DE *Scenedesmus sp.*, SOBRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO DE AGUAS PROVENIENTES DEL CENTRO POBLADO DE QUEBAYA, DISTRITO DE CUCHUMBAYA, REGIÓN MOQUEGUA, 2019

b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.08.02
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : MSc. Juan Luis Ccamapaza Aguilar
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01309910
c) ORCID : 0000-0002-2581-2908

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 45613739
NOMBRES Y APELLIDOS : Javier Marcial Rivero Oporto

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(_X_) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA :
DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 45613739
NOMBRES Y APELLIDOS : Javier Marcial Rivero Oporto
FECHA : 29/03/2022