



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Microalga *Chlorella vulgaris* para recuperar suelos agrícolas
contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II) en el
distrito de Carabaylo – Lima, 2021.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Irrazabal Artica, Fiorela Nelida (ORCID: 0000-0002-2443-5522)

Solis Haro, Melissa Giovana (ORCID: 0000-0002-5566-4547)

ASESOR:

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mis madres Milagros Artica Mantari y Ana Maria Martínez quienes me han permitido cumplir otro sueño a través de su amor, paciencia y esfuerzo; gracias por inculcarme los valores del esfuerzo, valor y perseverancia para cumplir mis metas.

A mis hermanos Melisa, Luis y Liliana por ser el motivo y razón para seguir escalando profesional y personalmente.

A mi familia y amigos para cada uno de ellos, quiero expresar mi gratitud por siempre acompañarme, apoyarme, animarme, guiarme y dejarme ser una mejor persona.

Fiorela Nelida, Irrazabal Artica

Para mis padres Samuel y Victoria que desde pequeña me inculcaron la disciplina de estudiar y luchar por los sueños,

Para mis hermanas por brindarme su apoyo y un hombro para descansar.

Para mi sobrino por su amor incondicional.

Melissa Giovana, Solis Haro

Agradecimiento

A Dios por seguir permitiendo que nos desarrollemos profesional y personalmente.

Al Dr. Elmer Benites Alfaro que, nos guió a través de cada etapa en este proyecto con su conocimiento y apoyo, asegurándose de alcanzar los resultados deseados.

A la Universidad César Vallejo por los conocimientos impartidos a lo largo de nuestra educación académica.

A nuestra familia, por su inquebrantable apoyo y participación en este arduo proceso de desarrollo profesional.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación.....	13
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.5. Procedimiento	17
3.6. Método de análisis de datos	39
3.7. Aspectos éticos.....	39
IV. RESULTADOS.....	40
V. DISCUSIÓN.....	108
VI. CONCLUSIONES.....	112
VII. RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS	114
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1: Porcentaje de validación de los instrumentos por cada experto	16
Tabla 2: Ubicación de los puntos de muestro	19
Tabla 3: Materiales para la obtención de la muestra	21
Tabla 4: Sistema de riego con diferentes dosis	38
Tabla 5: Parámetros físico-químico de la microalga	40
Tabla 6: Conteo de microalgas.....	40
Tabla 7: Caracterización físico-química inicial del suelo contaminado	41
Tabla 8: Textura del suelo (método de Bouyoucos) (Hidrómetro ASTM-152H)	41
Tabla 9: Capacidad de campo (método Bodmam y Mahmud)	42
Tabla 10: Concentración inicial y final de los niveles de Pb en el suelo	43
Tabla 11: Prueba de normalidad de Pb.....	45
Tabla 12: Análisis de varianzas de Pb	46
Tabla 13: Prueba Tukey de Pb	46
Tabla 14: Temperatura inicial y final de los tratamientos	47
Tabla 15: Prueba de normalidad de temperatura	49
Tabla 16: Análisis de varianza de temperatura.....	50
Tabla 17: Prueba Tukey de temperatura	51
Tabla 18: pH inicial y final de los tratamientos	52
Tabla 19: Pruebas de normalidad de pH.....	54
Tabla 20: Análisis de varianza de pH	55
Tabla 21: Prueba Tukey de pH.....	55
Tabla 22: Conductividad eléctrica inicial y final de los tratamientos.....	56
Tabla 23: Prueba de normalidad de Conductividad eléctrica	58
Tabla 24: Análisis de varianza de conductividad eléctrica	59
Tabla 25: Prueba Tukey de conductividad eléctrica.....	59
Tabla 26: Potencial redox inicial y final de los tratamientos	60
Tabla 27: Prueba de normalidad de potencial redox	62
Tabla 28: Análisis de varianza de potencial redox	63
Tabla 29: Prueba Tukey de potencial redox.....	64
Tabla 30: Humedad gravimétrica inicial y final de los tratamientos.....	66
Tabla 31: Prueba de normalidad de humedad gravimétrica	67
Tabla 32: Análisis de varianza de humedad gravimétrica.....	68
Tabla 33: Prueba Tukey de humedad gravimétrica	69
Tabla 34: Carbono orgánico total inicial y final de los tratamientos.....	70
Tabla 35: Prueba de normalidad de carbono orgánico total.....	72
Tabla 36: Análisis de varianza de carbono orgánico total.....	73
Tabla 37: Prueba Tukey de carbono orgánico total	73
Tabla 38: Materia orgánica inicial y final de los tratamientos	75
Tabla 39: Prueba de normalidad de materia orgánica de los tratamientos	76
Tabla 40: Análisis de varianza de materia orgánica.....	77
Tabla 41: Prueba Tukey de materia orgánica	78
Tabla 42: Capacidad de intercambio catiónico inicial y final de los tratamientos.....	79
Tabla 43: Prueba de normalidad de la capacidad de intercambio catiónico	81
Tabla 44: Análisis de varianza de intercambio catiónico.....	82

Tabla 45: Prueba Tukey de la capacidad de intercambio catiónico	82
Tabla 46: Relación carbono - nitrógeno de los tratamientos	83
Tabla 47: Prueba de normalidad de la relación carbono/nitrógeno	85
Tabla 48: Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.....	86
Tabla 49: Prueba Tukey de la relación carbono/nitrógeno	87
Tabla 50: Densidad aparente de los tratamientos.....	88
Tabla 51: Prueba de normalidad de la densidad aparente	90
Tabla 52: Análisis de varianza de la densidad aparente.....	91
Tabla 53: Prueba Tukey de la densidad aparente.....	92
Tabla 54: Nitrógeno inicial y final de los tratamientos.....	93
Tabla 55: Prueba de normalidad de nitrógeno.....	94
Tabla 56: Análisis de varianza de nitrógeno.....	95
Tabla 57: Prueba Tukey de nitrógeno	96
Tabla 58: Fósforo inicial y final de los tratamientos	97
Tabla 59: Prueba de normalidad de fósforo	99
Tabla 60: Análisis de varianza de fósforo	100
Tabla 61: Prueba Tukey de fósforo.....	100
Tabla 62: Potasio inicial y final de los tratamientos.....	101
Tabla 63: Prueba de normalidad de potasio.....	103
Tabla 64: Análisis de varianza de potasio	104
Tabla 65: Prueba Tukey de potasio	105
Tabla 66: Porcentaje de remoción de Pb (II).....	106

Índice de figuras

Figura 1: Rejillas regulares (Guía para el muestreo de suelos, 2014).....	15
Figura 2: Etapas del desarrollo de la investigación experimental.....	17
Figura 3: Rejillas regulares (Guía para el muestreo de suelos, 2014).....	18
Figura 4: Georreferenciación del área de estudio.....	19
Figura 5: Cuadrantes para la obtención de muestra.....	20
Figura 6: GPS	20
Figura 7: Cuarteo de la muestra de suelo	20
Figura 8: Obtención de la muestra de suelo	20
Figura 9: Cuarteo de muestra.....	21
Figura 10: Muestra dividida en maceteros	22
Figura 11: Pesado de muestra de suelo.....	22
Figura 12: Muestra en multiparámetro	23
Figura 13: Pesado de muestra de suelo.....	23
Figura 14: Medición de temperatura.....	23
Figura 15: Medición de la conductividad eléctrica	24
Figura 16: Medición de Potencial Redox.....	24
Figura 17: Capacidad de campo (N.C. Brady, 1984).....	25
Figura 18: Análisis mediante ASTM-152H	26
Figura 19: Triángulo de texturas (U.S.D.A., 1977).....	26
Figura 20: Medición de la conductividad hidráulica	27
Figura 21: Agitación de la muestra.....	29
Figura 22: Pesado de muestra	29
Figura 23: Análisis de fósforo mediante el método de espectrofotometría	31
Figura 24: Medición de la capacidad del intercambio catiónico.....	32
Figura 25: Recolección de microalgas	33
Figura 26: Ubicación de área de recojo de <i>Chlorella vulgaris</i>	33
Figura 27: Sistema de reactor de luz	34
Figura 28: Crecimiento de microalgas en peceras.....	34
Figura 29: Método tubos múltiples.....	35
Figura 30: Método de tubos múltiples con diluciones de microalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	35
Figura 31: Cámara Neubauer.....	36
Figura 32: Rotulado de tratamiento por etapas y dosis.....	37
Figura 33: Riego de la muestra con <i>Chlorella vulgaris</i>	38
Figura 34: textura de la muestra del suelo	42
Figura 35: Concentración de Pb en el suelo.....	44
Figura 36: Temperatura del suelo durante los tratamientos	49
Figura 37: pH del suelo durante los tratamientos.....	53
Figura 38: Conductividad eléctrica del suelo durante los tratamientos	57
Figura 39: Potencial redox del suelo durante los tratamientos	62
Figura 40: Humedad gravimétrica del suelo durante los tratamientos.....	67
Figura 41: Carbono orgánico total del suelo durante los tratamientos	71
Figura 42: Materia orgánica del suelo durante los tratamientos.....	76
Figura 43: Capacidad de intercambio catiónico del suelo durante los tratamientos	80
Figura 44: Relación carbono/nitrógeno del suelo durante los tratamientos.....	85

Figura 45: Densidad aparente del suelo durante los tratamientos	89
Figura 46: Nitrógeno del suelo durante los tratamientos	94
Figura 47: Fósforo del suelo durante los tratamientos	98
Figura 48: Potasio del suelo durante los tratamientos	102
Figura 49: Eficiencia de remoción de Pb (II) en el suelo.....	107

RESUMEN

La presencia de elementos contaminantes producto del uso de agroquímicos en los suelos es un problema cada vez más preocupante como consecuencia al aumento de la actividad agrícola; por lo que se propuso evaluar los niveles de contaminación por plomo (II) en suelos agrícolas y la remoción de estas usando microalgas. Por tal razón, el objetivo principal de la investigación fue determinar el efecto de las microalgas *Chlorella vulgaris* para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II). Se planteó una metodología aplicada con enfoque cuantitativo de diseño experimental. La ejecución del proyecto se basó en la evaluación de reducción de Pb (II) en el suelo, dividida en tres tratamientos T1, T2 y T3; cada tratamiento consistió de 9 repeticiones dividida en tres muestras con diferentes porcentajes de microalga *Chlorella vulgaris* al 2%, 4% y 6% teniendo 50 ml, 100 ml y 150 ml de dosis respectivamente, asimismo, cada tratamiento tuvo un periodo diferente de evaluación siendo la primera 15 días, 30 días para el segundo y 45 días para el tercero. De acuerdo al análisis realizado, se concluyó que la T3 de la muestra al 6% de dosis tuvo mayor remoción de plomo logrando una reducción de 120.8 mg/kg de Pb (II) hasta 72.02 mg/kg equivalente al 97.08%.

Palabras claves: agroquímicos, Pb (II), *Chlorella vulgaris*, suelos agrícolas, microalga.

ABSTRACT

The presence of contaminating elements resulting from the use of agrochemicals in soils is a problem of increasing concern as a consequence of the increase in agricultural activity; therefore, it was proposed to evaluate the levels of lead (II) contamination in agricultural soils and the removal of these contaminants using microalgae. Therefore, the main objective of the research was to determine the effect of the microalgae *Chlorella vulgaris* to recover agricultural soils contaminated by agrochemicals containing lead (II). An applied methodology with a quantitative experimental design approach was used. The execution of the project was based on the evaluation of Pb (II) reduction in the soil, divided into three treatments T1, T2 and T3; each treatment consisted of 9 replicates divided into three samples with different percentages of microalgae *Chlorella vulgaris* at 2%, 4% and 6% having 50 ml, 100 ml and 150 ml of doses respectively, likewise, each treatment had a different evaluation period being the first 15 days, 30 days for the second and 45 days for the third. According to the analysis carried out, it was concluded that T3 of the sample at 6% dose had greater lead removal, achieving a reduction from 120.8 mg/kg of Pb (II) to 72.02 mg/kg, equivalent to 97.08%.

Keywords: agrochemicals, Pb (II), *Chlorella vulgaris*, agricultural soils, microalgae.

I. INTRODUCCIÓN

El problema para la producción agrícola a nivel mundial, está basado en una incidencia muy alta de enfermedades y plagas, que vienen incrementándose con el uso de semillas transgénicas, exigiendo el uso de agroquímicos que llegan a ocasionar impactos negativos al medio ambiente por sus altos niveles de concentraciones tóxicas como el Pb (II), que en muchos casos exceden los Límites Máximos Permisibles afectando la fertilidad del suelo. Según Izquierdo (2017), los agroquímicos son capaces de generar contaminación a corto y largo plazo y que la fijación biológica del nitrógeno es considerado importante en la biósfera porque constituirá una producción agrícola sostenible.

Asimismo, Abad (2017), menciona que es muy importante incentivar y realizar investigaciones que reflejen el grado de nocividad o daño que puedan causar los agroquímicos por su uso en agroecosistemas. En el Perú, existen ya un porcentaje considerable que califica a los microorganismos como una salida o una opción ante el daño causado por los agroquímicos, para Moreno y Suyon (2020), la aplicación de microorganismos es muy frecuente para eliminar los agroquímicos en suelos agrícolas, además Delgado, Alvares y Yañez (2018), mencionan que Perú registra frecuentemente la superación de límites prohibidos de uso de agroquímicos, lo que genera desconfianza a los consumidores porque el uso de estos puede dañar también la salud humana.

En el distrito de Carabayllo, existen grandes extensiones de cultivos donde su producción se minimiza por la pérdida de macronutrientes en el suelo agrícola, esto por el uso de agroquímicos como el arseniato de plomo que contiene altos niveles de plomo afectando la calidad del suelo. Burgos (2019), menciona que los agricultores tienden a añadir gran variedad de agroquímicos que contienen metales pesados obteniendo productos tóxicos dañinos para la salud. Para Avelino (2020), en el distrito de Carabayllo siguen empleando agroquímicos a pesar de su alto contenido en componentes tóxicos para eliminar plagas en sus diferentes sembríos, evitando utilizar productos orgánicos capaces de tener una producción sostenible, limpia y sana, permitiendo un nuevo estilo de vida.

La presente investigación pretendió resolver el siguiente **problema general**:
¿De qué manera las microalgas *Chlorella vulgaris* biorremedian los suelos agrícolas

contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II)? Así como los **problemas específicos**: ¿Cuáles son las características físicas y químicas finales del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos que contienen plomo (II)?, ¿Cuáles son los volúmenes de cepas de microalgas que se utilizan en el tratamiento del suelo agrícola contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II)? y ¿Cuál es la eficiencia de remoción de plomo (II) en el suelo agrícola contaminado por agroquímicos usando la microalga *Chlorella vulgaris*?

El problema que existe en los suelos agrícolas como resultado del uso de agroquímicos que contienen plomo (II), fue el motivo que nos llevó a utilizar las microalgas *Chlorella vulgaris* para recuperar los suelos que han perdidos sus componentes como la materia orgánica, nitrógeno, carbono orgánico, fósforo y otras propiedades necesarias para el crecimiento de las plantas y fortalecimiento de la microfauna, es así que el propósito de esta investigación fue abordar tres ámbitos: **la justificación social**, el cual es un proceso de remediación que brindará a las sociedades un buen producto que cambiará el estilo de vida, de manera sana y sostenible. Asimismo, la **justificación económica**, estos se plasmarán en costos de conservación de la salud, donde su obtención de las microalgas son nutrientes beneficiosos para el suelo permitiendo no utilizar agroquímicos que tienen precios altos y hacen dependientes a los suelos para poder producir y dejarlos infértiles con el tiempo. Finalmente, la **justificación ambiental**, las microalgas no producen impactos severos ya que la transformación que generan al encontrarse en el suelo originan la formación de macro y micro nutrientes.

Es así que se planteó el **objetivo general** de la investigación, determinar el efecto de las microalgas *Chlorella vulgaris* para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II). Igualmente, los **objetivos específicos** fueron analizar las características del suelo contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II) post tratamiento con la microalga *Chlorella vulgaris*, determinar que volumen de cepa de microalgas *Chlorella Vulgaris* influirá para mejorar la calidad del suelo y determinar la eficiencia de la remoción de plomo (II) del suelo contaminado por agroquímicos con la microalga *Chlorella vulgaris*.

Además, se planteó la siguiente **hipótesis general**: Las microalgas *Chlorella vulgaris* producirán efectos positivos en los suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II). También, **hipótesis específicas**: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola por el uso de agroquímicos, el mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo y la eficiencia de remoción de plomo (II) en el suelo contaminado por agroquímicos usando microalga *Chlorella vulgaris* será mayor del 60%.

II. MARCO TEÓRICO

El **suelo** es un cuerpo natural y dinámico formado por procesos y factores constructores del suelo, incluyendo minerales y materiales orgánicos que cubren la corteza terrestre para que las plantas puedan crecer en ella (Fawzy et al. 2019).

El **suelo agrícola** es denominado al suelo que tiene propiedades aptas para el desarrollo y crecimiento de cultivos, así como la ganadería además de poseer flora y fauna propia del área (Ministerio del Ambiente, 2017).

La **contaminación del suelo agrícolas** se produce por diferentes prácticas agrícolas y mecánicas, incluyendo la quema de productos petrolíferos, la utilización agraria de abonos y pesticidas, los residuos mineros y la filtración en vertederos (Almehdi et al. 2019).

Por esa razón TARLA, Divine et al. (2020), menciona que el suelo contaminado con plaguicidas es una preocupación mundial debido a los derrames y los cambios en el uso de la tierra de la agricultura a la vida residencial. Cuando se liberan altas concentraciones de contaminantes activos, tanto las plantas como los microorganismos pueden morir además de generar riesgos para la salud cuando los animales y las personas llegan a sitios contaminados debido a la toxicidad. Asimismo, AWA, Soo y HADIBARATA, Tony (2020), estudiaron la contaminación del suelo donde indica que los metales pesados como el cobre, plomo, zinc, cadmio, cromo y arsénico son utilizados por la agricultura y las industrias. Estos metales son componentes del suelo sin embargo la contaminación ocurre cuando estas se encuentran en altas concentraciones debido a las actividades antropogénicas. Por ello concluyen que, la remediación del suelo es importante no solo por el impacto negativo en el medio ambiente sino también por la salud humana, y propuso la fitorremediación como método de descontaminación del suelo, debido a su fácil acceso económico y a los beneficios que genera, sin perturbar el ecosistema propio del suelo.

Los **agroquímicos** son fertilizantes químicos que en altas concentraciones afectan negativamente a la microfauna del suelo, algunos de ellos son los

herbicidas, fungicidas, insecticidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas y entre otros (Meena et al. 2020).

CASTILLO, Bessy et al. (2020), determinaron la relación del uso de plaguicidas en los campos de cultivo y la contaminación de suelos, agua y planta, ya que muchos agricultores aplican pesticidas a sus cultivos con el fin de proteger el cultivo de las plagas dejando de lado las graves consecuencias que estos le pueden hacer al suelo, teniendo como conclusión que de 80 agricultores el 33% no sabía de las consecuencias que llevaba utilizar agroquímicos.

El **uso indiscriminado de agroquímicos** para maximizar el rendimiento de los cultivos tiene efectos adversos en el aire, el agua, el suelo, los organismos no objetivo y la salud humana (Elahi et al. 2019).

MANDAL, Asit et al. (2020), estudiaron los efectos que generan el uso de agropesticidas en la salud del suelo en distintos sistemas de cultivo. Menciona que el uso indiscriminado de agroquímicos genera desequilibrio en la actividad microbiana del suelo ya que esto influye de manera negativa en la capacidad que tiene el suelo para realizar los procesos de ciclo de nutrientes, como es la fijación de nitrógeno, solubilización del fósforo y biotransformación de otros nutrientes esenciales. De igual manera CARVALHO, Fernando (2017), estudió la relación entre los plaguicidas, medio ambiente y seguridad alimentaria, donde hace énfasis que estudios mundiales han documentado la contaminación y el impacto de los residuos de agroquímicos en los suelos, los ecosistemas terrestres y acuáticos, incluidos los sistemas marinos costeros, y sus efectos tóxicos en los seres humanos.

Las **microalgas** poseen alto potencial para aplicaciones ambientales, siendo utilizadas como bioestimulantes, fertilizantes y/o bioplaguicidas en la agricultura, reduciendo el impacto ambiental negativo de fertilizantes y pesticidas (Petroustos et al. 2021).

RIZWAN, Muhamma et al. (2018), proponen las microalgas como fuente de energía alternativa donde son empleadas como biofertilizantes en la agricultura, asimismo las microalgas verdes y azules incrementan el rendimiento de la

biomasa, ayuda a disminuir el uso de fertilizante y mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, asimismo, estas tienen la capacidad de incrementar los parámetros físicos y químicos del suelo ya que las microalgas son capaces de incrementar el nitrógeno y carbono residual del suelo, mejorar el pH y la conductividad eléctrica del mismo. Concluye que las microalgas tienen habilidades únicas para emplearlas en aplicaciones industriales y ambientales, exige también que los investigadores se centren en el procesamiento de las microalgas.

CHABUKDHARA, Mayuri; GUPTA, Sanjay y GOGOI, Manashjit (2017), propusieron las microalgas como materia prima renovables ya que tiene propiedades beneficiosas para la remediación de contaminantes y la producción de biomasa para combustibles sostenibles. Concluye que las algas poseen variedad de mecanismos para extraer metales pesados y otros contaminantes del medio de cultivo. Asimismo, FU, Pengcheng y SECUNDO, Francesco (2016), describieron la aplicación de algas y microalgas para la biorremediación de suelos, ya que en la actualidad el uso de plaguicidas es el más usado para evitar plagas en muchas siembras, para esta investigación se llevaron varios estudios de donde se analizó cómo las microalgas y actividades microbianas tienen un efecto positivo para el suelo actuando estos como acondicionantes o biofertilizantes mostrando ventajas significativas para los contaminantes del suelo además que este es un método natural y económico para combatir las plagas.

GONÇALVES, Ana (2021), usó las microalgas para mejorar las prácticas agrícolas tomando en cuenta microalgas, algas marinas y cianobacterias fijadoras de nitrógeno ya que estas son conocidas como grandes biofertilizantes para cultivos agrícolas por su amplia producción de metabolitos que son usados como grandes biofertilizantes, asimismo estas microalgas mejoran la calidad de suelo y favorecen al crecimiento de las plantas por el incremento de nutrientes que les brindan a esta además que este método puede ser una alternativa sostenible para cultivos.

RENUKA, Nirmal et al. (2018), discutieron sobre las oportunidades y los retos asociados al uso de las microalgas en diversos aspectos de la agricultura,

como la producción de cultivos, cuidado del medio ambiente y la gestión de los recursos naturales. Dicha revisión menciona que las algas son un grupo de organismos foto sintéticos ubicuos que comprenden algas verdes eucariotas y cianobacterias procariotas gramnegativas, las cuales tienen gran potencial como fuente biológica para diversas industrias relacionadas con los biocombustibles. Este grupo de organismos también se aplica en la agricultura moderna ya que estimula la actividad microbiana del suelo, lo cual mejora el desarrollo de la planta, el rendimiento del cultivo y la fertilidad del suelo. También, VIEIRA, Henrique et al. (2021), presentó las microalgas como parte importante de la solución ante problemas actuales que dañan al suelo, además, debatieron cómo la producción de energía renovable a partir de microalgas puede mitigar diferentes problemas ambientales ya que estas pueden lograr convertir aguas residuales, CO₂ y residuos orgánicos en biomasa comercializable.

BWAPWA, Joseph; JAIYEOLA, Adesoji y R. Chetty (2017), demostraron la capacidad de las algas para eliminar un volumen considerable de metales pesados en el drenaje ácido de minas (DMAE). Este estudio se basó en la literatura y diversas fuentes de información, donde se concluye que la fitorremediación es eficiente, así como la composición de ADM puede variar dependiendo a parámetros como pH, temperatura y el porcentaje de oxígeno que hay en el lugar de ubicación, por ende, las especies de microorganismos dependen de dichos parámetros para que estas puedan cumplir su función.

La microalga ***Chlorella vulgaris*** es unicelular, de reproducción asexual y de pigmento verde. Tiene forma esférica con un diámetro de 2 a 10 µm, tiene gran capacidad para remover metales pesados y se adapta a distintas fuentes de nutrientes y a condiciones fotoautótrofas, heterotróficas y mixotróficas (Thirumagal y Pannerselvam, 2014).

GARRIDO, José et al. (2018), analizaron las características de las microalgas *Spirulina* y *Chlorella* siendo estas las más cultivadas en la actualidad por su gran capacidad de remediar aguas residuales y producir biofertilizantes. Concluyen que la biotecnología de microalgas es un campo amplio y de muchas

oportunidades, donde la productividad científica se incrementó significativamente en los últimos años.

LONDOÑO, Iveth (2020), tuvo como finalidad dar a conocer los microorganismos y las bacterias como una alternativa de solución para recuperar suelos degradados por metales pesados como el mercurio, cadmio y plomo. Menciona que las microalgas poseen la capacidad de crecer en condiciones ambientales difíciles contaminadas con metales pesados y presenta las condiciones óptimas para la biosorción de Pb utilizando la microalga *Chlorella sp.* las cuales son 25°C (temperatura), 6 pH, 10,4 mg/g (máxima sorción) y la eficacia de eliminación aplicando esta microalga es de 78%. Concluyó que hay suelos en todo el mundo que tienen problemas graves con la contaminación metálica pesada; el riesgo para la salud pública y el ecosistema es bien conocido, y deben tomarse medidas para tratarlos y restaurarlos.

SAAVEDRA, Ricardo et al. (2019), determinó el efecto de la adición de materia orgánica (MO) y dióxido de carbono (CO₂) en el potencial de biorremediación de dos microalgas comúnmente utilizadas en el tratamiento de aguas residuales: *Chlorella vulgaris* (CV) y *Scenedesmus almeriensis* (SA). Teniendo como resultados parámetros favorables donde evidencia claramente que el uso de microalgas para descontaminar aguas es óptimo.

YEN, Wei et al. (2017), mencionaron que el cromo es un metal pesado que se encuentra comúnmente en el medio ambiente y en su investigación redujeron Cr (VI) mediante la aplicación de biomasa de microalgas *Chlorella vulgaris* que actúa como un adsorbente durante el proceso de eliminación de dicho elemento. Como resultado de la ejecución se obtuvo que el Cr (VI) redujo a Cr (III) debido al proceso de adsorción.

ASTOCONDOR, Mauro et al. (2017), estudiaron los niveles de salinidad del crecimiento de la microalga *Chlorella peruviana*, recolectadas de la laguna salina Mellisera, Chilca, Perú, el nivel de la investigación fue experimental donde se tomó muestras de la microalga para llevarla a un cultivo para analizar el crecimiento de estas algas, el laboratorio donde fueron analizadas estas algas

fue en el laboratorio de la universidad nacional Mayor de San Marcos, para analizar los niveles de salinidad de este se realizaron cultivos en tubos de ensayos asimismo tuvieron como resultados que los niveles de salinidad cambiaron de 38% a 176% desde el primer día de siembra hasta el día 19 es por eso que se concluyó que la microalga puede adaptarse rápidamente al cambio de salinidad.

PURIS, Karen (2019), aplicó la microalga *Chlorella vulgaris* para la absorción de metales pesados este trabajo de investigación es de nivel aplicada se determinó que estas microalgas tienen un gran potencial para la adsorción de metales pesados para ellos se debe de brindar unas condiciones adecuadas como pH, temperatura, luz y otros; asimismo después de la aplicación del a microalga al agua contaminada con metales este bajo en su nivel de concentración de metales pesados.

BUMANDALAI, Odgerel (2019), analizó el efecto de la cepa de *Chlorella vulgaris* en la germinación de semillas de tomates y pepinos. Desarrollaron la germinación en un medio de cultivo que contenía cepa de alga *Chlorella vulgaris* en un periodo de 3,6,9 y 12 días para posterior a ello estudiar los efectos que causó en los parámetros de crecimiento. Concluyó que la suspensión de *Chlorella vulgaris* incrementó el crecimiento de la semilla a diferencia del medio de cultivo esterilizado.

VAZIRZADEH, Arya et al. (2022), utilizaron las microalgas *Chlorella vulgaris* con el fin de remover nitratos y fosfatos de un agua contaminada. Para este trabajo se realizó una simulación de escorrentía agrícola con el agua contaminada para poder usar las microalgas como agentes removedores teniendo como resultado una eliminación del 95% en fosfatos en un periodo de 17.5 horas con un cultivo de microalga de 14 días, la eliminación de nitratos fue de 85.5% en 17.2 horas con un cultivo de 13 días considerando así que las microalgas *Chlorella vulgaris* es un gran agente removedor de nitratos y fosfatos ya que para ambos contaminantes se removió más de un 70%.

Asimismo HAJNAL, Timea; DJURIC, Simonida y STAMENOV, Dragana (2016), estudiaron el efecto de la microalga *Chlorella vulgaris* en el crecimiento

inicial de trigo, maíz, frijol y lechuga que estaban en macetas y la interacción de esta con el suelo rizosférico. El desarrollo consistió en aplicar inóculos de *Chlorella vulgaris* como fertilizante para posterior de cumplir el periodo de 30 días de aplicación, analizar los efectos generados, cuyos resultados fueron positivos en el crecimiento de la longitud de los 4 vegetales y referente a la rizosfera, la *Chlorella vulgaris* logró aumentar el número total de bacterias en la rizosfera del trigo y el número de hongos en la rizosfera del frijol.

El **arseniato de plomo** es un insecticida arsenical que se empleó en todo el mundo a principios del siglo XX hasta la fecha, sin embargo, este se considera como un contaminante altamente peligroso para el medio ambiente (Schild et al. 2019). Es por ello que se proponen soluciones como la remediación orgánica que incorpora la fitorremediación, la biorremediación y la remediación de consolidación (Qayyum et al. 2020). La **biorremediación** hace referencia a métodos biológicos, los cuales son rentables y ecológicos ya que utilizan microorganismos para eliminar la concentración de contaminantes (Razanamahandry et al. 2017).

FEBRES, Shadai (2019) determinó el método más eficaz de remediación del suelo contaminado con plomo entre semillas de girasoles y estiércol, el diseño del estudio se basó en 4 tratamientos con tres repeticiones cada una con 70 días de tratamiento concluyendo que la muestra con girasol y semilla fue la que más efectiva fue remediando un 80% el suelo contaminado, asimismo, recuperando sus parámetros físicos y químicos del suelo.

LIÑAN, Kevin (2018), evaluó la remoción de Pb utilizando métodos de fitorremediación (Aloe vera) en suelos contaminados. El diseño de experimentación se basó en 2 grupos de tratamiento denominados M1 y M2 donde sembraron sábila, el periodo de duración fue de 3 meses. Los parámetros analizados fueron pH y conductividad eléctrica, los valores iniciales de pH fue 3.7 y valor posterior al tratamiento fue 4.9, referente a la conductividad eléctrica 5.08 dS/m y valor final fue 3.45 dS/m. Este método logró una eficiencia de 34,05% de remoción de Pb en el suelo contaminado por actividades mineras.

COULTER, Jeffrey (2020), relacionó la expansión de la tierra con fines de producir cultivos, el incremento de tierras de cultivo bajo riego y el uso de fertilizantes químicos ya que estos factores se encuentran estrechamente relacionados con impactos negativos en el medio ambiente. Es así que, a través de artículos de revisión e investigaciones, propone el sistema de cultivo sostenible como opción para mejorar prácticas de manejo de cultivos y reducir los impactos que estos generan, además menciona que este tipo de sistema está basado en principios ecológicos y el uso adecuado de los recursos como agua y tierra.

SHAH, Vijendra y DAVEREY, Achlesh (2020), propusieron la fitorremediación como método sostenible, a pesar de ser menos eficiente que los métodos físicos ya que se deben incrementar las investigaciones sobre dicho método. Esto debido a que la actividad antropogénica en el rubro industrial, minería, fundición, entre otros, generan contaminación por metales pesados en el suelo causando impactos negativos ya que la persistencia de los metales pesados puede ser absorbidos por los tejidos de las plantas e ingresar a la biosfera. Concluyeron que la fitorremediación posee gran potencial para remover metales pesados existentes en el suelo sin dañar las propiedades del mismo o generar deterioro.

VARGAS, Klinton (2017), determinó un método eficaz para reducir las concentraciones de plomo en suelos contaminados usando compost y humus generados de flores. Concluyendo que el mejor tratamiento para reducir plomo fue ya de humus de flores y semillas de maíz, ya que los parámetros medidos guardan relación con la remoción del plomo y con sus parámetros del suelo

REMIGIO, Sandra (2018), analizó los efectos que genera un biochar hecho a base de excretas de porcina y avícola para reducir los niveles de Cadmio en el suelo. Concluyeron que los tratamientos con 5% de dosis fueron superiores a los demás (T2 y T6). La reducción de la concentración de Cadmio se evidenció por los parámetros analizados donde la concentración de cadmio disminuyó siendo el valor inicial 9.58 ppm y valores finales 2.52 ppm para T2 y 2.64 ppm para T6.

CONDEÑA, Edwin (2017), pretendió disminuir la contaminación de suelos con presencia de Pb empleando biocarbón de bagazo de caña de azúcar. El tratamiento se basó en 4 tratamientos y una muestra de control, cada tratamiento cuenta con 5 macetas de suelo contaminado por Pb y tiene dosis distintas: 3%, 5%, 10% y 50% de biocarbón producido por bagazo de caña de azúcar respectivamente. En la investigación concluyó que la mejor dosis aplicada fue del 10% ya que el valor inicial fue 1792.22 ppm de plomo y logró obtener un valor de 1094,89 ppm de plomo posterior al tratamiento de 45 días.

RUMALDO, Michael (2019), planteó reducir el nivel de concentración de plomo de suelo contaminado aplicando *Urtica urens* y *Fuertesimalva echinata* fertilizada con gallinaza. La experimentación se basó en la remediación con *Urtica urens* y *Fuertesimalva echinat* en 6 tratamientos diferenciados por la dosis, cada una con 3 repeticiones. Concluyendo que la *Fuertesimalva echinata* con gallinaza al 20% en la repetición 2 que tuvo como valor inicial 980 mg/kg obtuvo el mayor valor de remoción de plomo dando como resultado 444,31 mg/kg equivalente a 61.73% de remoción de Pb.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación

La investigación tuvo un **enfoque cuantitativo** ya que interpreta los hechos para determinarlos al ámbito de la realidad y de **tipo aplicada** por poner aplicabilidad de los conocimientos obtenidos y así obtener los objetivos que permitan ser de utilidad. Donde por los datos encontrados es de tipo cuantitativa porque el procedimiento fue medible y poder analizarlos. La investigación cuantitativa se basa en medir las variables establecidas en el trabajo de investigación (López y Sandoval, 2016). la investigación aplicada se enfoca en solución un problema del mercado (Schwarz y Díaz, 2017).

El diseño de la investigación fue **experimentalmente puro** debido a que lleva dos variables donde la variable independiente es la causa y la dependiente será el que realiza los cambios de acuerdo al tratamiento que se efectuó en las fases para remediar el suelo contaminado por plomo (II).

Asimismo, el nivel de la investigación fue **explicativo**. Según (Guevara, Verdesoto y Castro, 2020), la investigación explicativa puede resolver el problema de determinar la causa y el resultado a través de la prueba de hipótesis, indicando el mayor nivel de conocimiento en sus resultados y conclusiones.

3.2. Variables y operacionalización

La variable es medible de acuerdo al contexto de la investigación siendo estas:

3.2.1. Variable independiente:

En la investigación la microalga *Chlorella vulgaris* fue la encargada de recuperar los suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II).

3.2.2. Variable dependiente:

En la presente investigación, el tipo de variable dependiente fue el suelo agrícola contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II) en el distrito de Carabayllo.

3.2.3. Operacionalización:

Viene a definir de manera real la observación para así medir las características de la investigación realizada, esta se encuentra en Anexos 1.

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

La población es un grupo de elementos que tienen las mismas características para ser usado en el trabajo de investigación este será indispensable para la elección de la muestra (Arias, Villasís y Miranda, 2016). La población fue formada por el fundo agrícolas existente en el distrito de Carabayllo en Lima que utilizan agroquímicos que contiene Pb (II) para la producción de sus cultivos.

La muestra es parte de la población la cual es de fácil acceso y representativa ya que esta será sometida a las mediciones que sean necesarias (Gamboa, 2018). La muestra estuvo ubicada en el distrito de Carabayllo en Lima, donde se recolecto la muestra de acuerdo al protocolo de muestreo de suelos del decreto supremo 011-2017 MINAN, se obtuvo una muestra de 90 kilogramos de muestra de un área de 23.25 m² y de 30 cm de profundidad del distrito de Carabayllo km 34 de la carretera a canta Lima, debido a las características homogéneas de la zona de estudio.

El muestreo viene a ser una herramienta, que debe ser manejado adecuadamente, donde predomina la representatividad con cualidades homogéneas y una aleatoriedad cuando se seleccionan la muestra mediante un cuarteo del suelo. Es la encargada de determinar a la población que utilizaremos para la realización de la investigación científica y así poder obtener una mejor conclusión de la investigación (Gamboa, 2018). El método de muestreo empleado fue aleatorio simple del Decreto Supremo N°11-2017 MINAM.

Se utilizó el método aleatorio simple de rejillas regulares el cual consistió en dibujar 6 líneas verticales y 7 líneas horizontales para obtener una rejilla de 30 cuadrantes como se observa en la Figura 1.

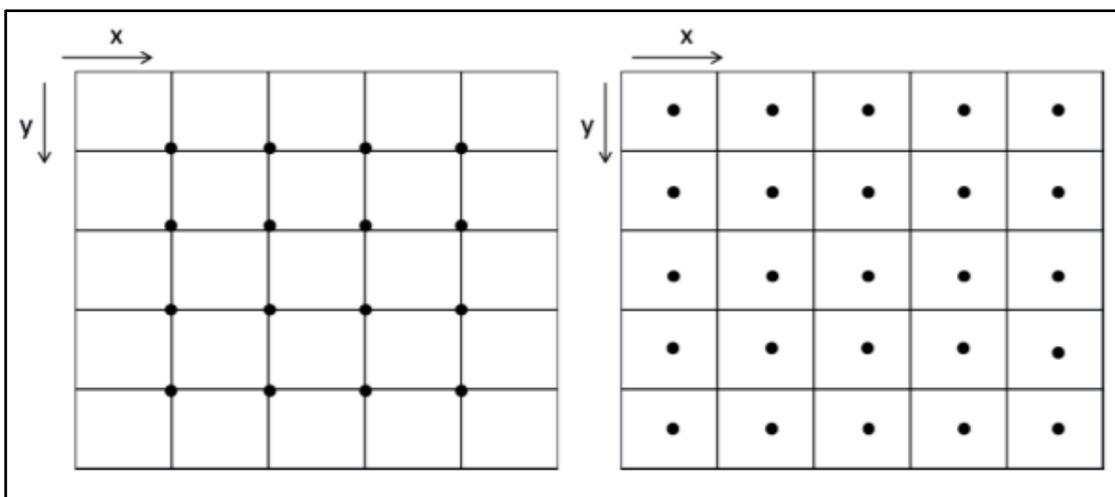


Figura 1: Rejillas regulares (Guía para el muestreo de suelos, 2014)

La unidad de análisis fue de 2,5 kilogramos para evaluarlos en sus diferentes parámetros.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica del estudio de investigación fue la observación, de tal forma que llegamos a la problemática de manera particular al estudio del suelo contaminado por agroquímicos que contiene plomo (II) para su producción agrícola. La observación es una técnica que contribuye a obtener mayor información sobre lo que sucede y cómo se produce (Guerrero, 2016).

Los instrumentos de recolección de datos son los que sintetizan el procedimiento realizada en el tratamiento del suelo contaminado, los que utilizan mecanismos para transmitir los hechos que suceden en la investigación, las que son:

1. Ficha de recolección de la muestra
2. Ficha de las características del suelo pre y post tratamiento
3. Ficha de recolección y caracterización de las microalgas físicas y químicas
4. Fichas del diseño y tratamiento de la muestra
5. Ficha de los resultados del tratamiento

3.4.1. Validez de la investigación

Se dirigió a tres expertos que conocen el problema planteado durante el desarrollo de la investigación, que se detalla en la Tabla 1: Validación de instrumentos de recolección de datos como en el Anexo 2.

Tabla 1: *Porcentaje de validación de los instrumentos por cada experto*

N°	Experto	Porcentaje %	Promedio %
1	Dr. Elmer González, Benites Alfaro	90%	90%
2	Dr. Juan Julio, Ordoñez Gálvez	90%	
3	Mg. Freddy, Pillpa Aliaga	90%	

3.5. Procedimiento

La presente investigación se desarrolló de la siguiente manera como se muestra en la Figura 2:

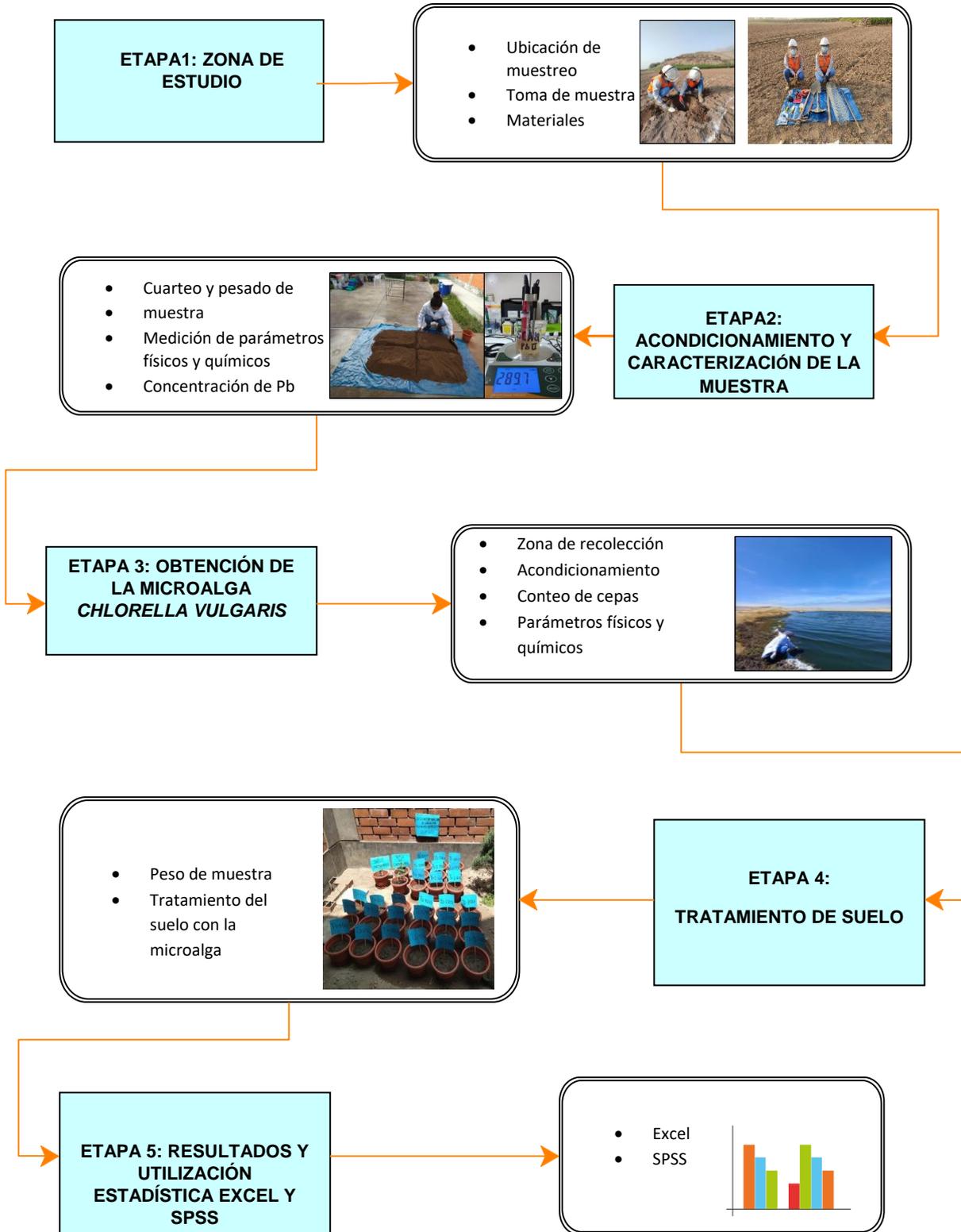


Figura 2: Etapas del desarrollo de la investigación experimental

3.5.1. Etapa 1:

a. Ubicación de muestro

La zona de estudio fue en el distrito de Carabayllo en la provincia de Lima con un área de 23,25 m² calculado mediante un GPS modelo GARMIN eTrex 10 (ver Figura 6) puede observar las coordenadas georreferenciadas del área, donde se utilizó la guía para muestreo de suelos del Decreto Supremo N°11-2017 MINAM, el método utilizado fue aleatorio simple de rejillas regulares donde la fórmula de muestreo de detalle es la siguiente:

$$N = 1.75X + 2$$

Dónde:

N: Número de puntos para obtener la muestra

X: Son los puntos de muestreo de identificación

El método aleatorio simple de rejillas regulares consistió en dibujar 6 líneas verticales y 7 líneas horizontales para obtener una rejilla de 30 cuadrantes como se observa en la Figura 3 y Figura 5, asimismo, se tomó los datos de GPS de cada punto que se muestra en la Tabla 2.

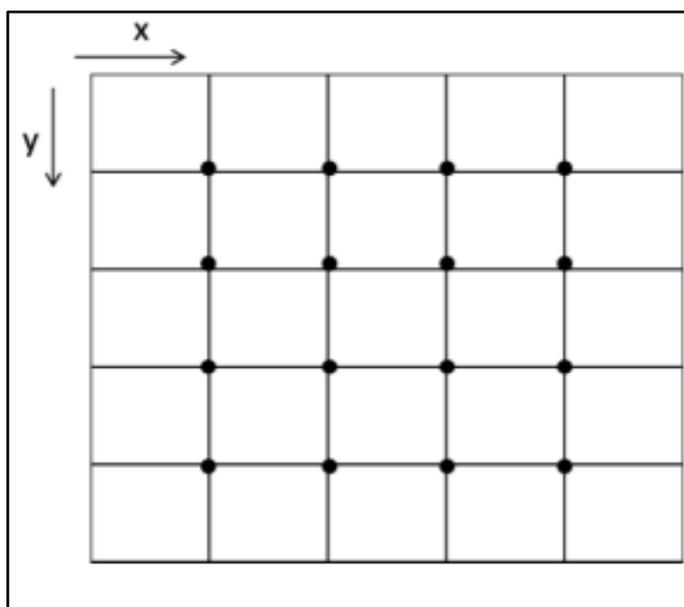


Figura 3: Rejillas regulares (Guía para el muestreo de suelos, 2014)

Tabla 2: Ubicación de los puntos de muestro

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTRO DEL SUELO AGRÍCOLA					
PUNTO	COORDENADA UTM - ZONA 18S		PUNTO	COORDENADA UTM - ZONA 18S	
	ESTE	NORTE		ESTE	NORTE
P1	284722.92	8697693.95	P16	284726.75	8697692.59
P2	284723.8	8697694.13	P17	284727.63	8697692.97
P3	284724.63	8697694.46	P18	284728.5	8697693.35
P4	284725.55	8697694.8	P19	284724.58	8697690.49
P5	284726.37	8697695.24	P20	284725.56	8697690.96
P6	284727.18	8697695.74	P21	284726.37	8697691.39
P7	284723.64	8697692.56	P22	284727.27	8697691.74
P8	284724.49	8697692.92	P23	284728.08	8697692.21
P9	284725.27	8697693.3	P24	284728.79	8697692.55
P10	284726.14	8697693.69	P25	284724.92	8697689.8
P11	284726.96	8697694.06	P26	284725.98	8697690.19
P12	284727.9	8697694.54	P27	284726.85	8697690.57
P13	284724.14	8697691.41	P28	284727.72	8697690.99
P14	284725.13	8697691.82	P29	284728.46	8697691.48
P15	284725.93	8697692.18	P30	284729.03	8697691.77

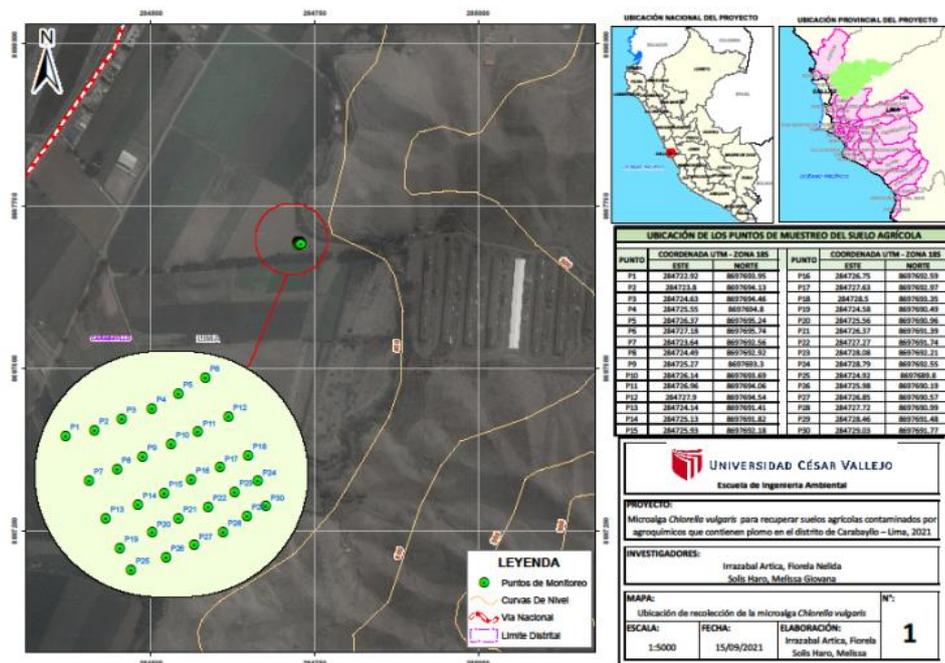


Figura 4: Georreferenciación del área de estudio



Figura 5: Cuadrantes para la obtención de muestra



Figura 6: GPS

b. Toma de muestra:

Se realizaron 30 hoyos de 10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad como dicta el protocolo de guía de muestreo de suelo en suelo agrícola véase Figura 8, donde se regula la profundidad para el uso agrícola que es 0-30 cm, también se utilizó el método de cuarteo por cada punto como se muestra en la Figura 7.



Figura 8: Obtención de la muestra de suelo



Figura 7: Cuarteo de la muestra de suelo

c. Los materiales utilizados

Los materiales empleados para la ejecución de la toma de muestra de suelo se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: *Materiales para la obtención de la muestra*

Equipos de Protección Personal	Materiales	Equipos
Casco	22 clavos	GPS
Careta facial	2 bolsas de yeso	Balanza de mano
Guantes	30 bolsas	
Botas con punta de acero	Pabilo	
Chaleco reflectivo	Wincha	
Mascarillas	Pico y pala	
	Bolsa plástica de 1 metro	
	Utensilios de jardinería	
	Plumones indelebles y lapiceros	
	Rótulo para muestras	

3.5.2. Etapa 2:

Acondicionamiento y caracterización de la muestra de suelo

a. Cuarteo y pesado de muestra

El cuarteo de la muestra se realizó con la finalidad de obtener una muestra representativa para el desarrollo de la investigación, fue obtenida de la guía de muestreo de suelo decreto supremo 011- 2017 MINAN, donde se homogeniza la muestra recolectada en un mezclador automático por 30 minutos seguidamente se divide en cuatro cuadrantes la muestra para tomar una muestra significativa para el desarrollo de la investigación como muestra en la Figura 9.



Figura 9: *Cuarteo de muestra*

Seguidamente de la homogenización de 30 minutos, se procedió a pesar la muestra (Figura 10) así ser dividida en los 27 maceteros reservados para el tratamiento colocando así 2.5 kg de muestra en cada macetero para así poder realizar los siguientes procedimientos como se observa en la Figura 11.



Figura 10: Muestra dividida en maceteros



Figura 11: Pesado de muestra de suelo

b. Medición de parámetros físicos y químicos

Para la medición de los parámetros del suelo se tomó 1 kg de muestra homogenizada. El suelo fue evaluado realizando un extracto de suelo de 100 gramos y un volumen de agua destilada de 200 ml (1:2) se colocó en un equipo rotacional de 30 revoluciones por minuto (RPM) por 30 minutos como muestra la Figura 13, dejando decantar por 24 horas para posterior a ello realizar las mediciones de pH, conductividad eléctrica, potencial redox y temperatura.

- **Potencial de hidrógeno (pH) (Método potenciométrico)**

El pH del suelo contaminado cambia en relación por la presencia de un metal pesado como el plomo (II), por tal razón deben participar microorganismos que las destruyan y así poder remediar el suelo, siendo equilibrado y controlado por el potencial de hidrógeno. Este parámetro fue evaluado en un equipo multiparámetro modelo PL – 700 ALS de scientific measuring instruments, calibrado por empresa acreditada a Inacal, seguidamente se calibró el electrodo con buffer internacional HANNA, de pH 10, 7, y 4, con un porcentaje del 97% de eficiencia del electrodo (ver Figura 12), la medición de temperatura se realizó con un termómetro digital (ver Figura 14), los resultados se pueden apreciar en la tabla 7.



Figura 12: Muestra en multiparámetro



Figura 13: Pesado de muestra de suelo



Figura 14: Medición de temperatura

- **Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Método Potenciométrico)**

La conductividad eléctrica (CE) de un suelo es importante ya que con ello se logra la vida de la micro y macro fauna, también porque se logra medir las concentraciones de las sales disueltas en un suelo, fundamentalmente útiles para el desarrollo de las plantas, cuando un suelo se encuentra contaminado con metales pesados esta se altera disminuyendo, creando un gasto adicional de energías a las plantas para nutrirse, esta medición fue realizada calibrando el electrodo con buffer internacional HANNA como se muestra en la Figura 15 y los resultados en la Tabla 7.



Figura 15: Medición de la conductividad eléctrica

- **Potencial Redox (mv) (Método Potenciométrico)**

La movilización del plomo (II), en el suelo está relacionado al potencial redox y el pH las que pueden precipitar por la oxidación integrándose a la cadena trófica, ya que la toxicidad del plomo (II) no solo dependerá de su concentración, está relacionado directamente a su reactividad con otros componentes del ecosistema. Cuando el potencial redox es positivo entonces estamos en una oxidación y si es negativo existe una reducción. Esta medición fue realizada calibrando el electrodo con buffer internacional HANNA en el multiparámetro como se observa en la Figura 16 y los resultados se muestran en la Tabla 7.

Formación de Equilibrios para escala en función de pH

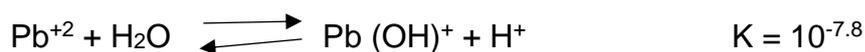


Figura 16: Medición de Potencial Redox

- **Capacidad de Campo (%) (Método Bodman y Mahmud)**

La capacidad de campo se refiere a la disponibilidad del agua constante en un suelo saturado en 48 horas y su drenaje, en estos momentos decimos que este suelo está en su capacidad de campo (Ver Figura 17). Calculamos los valores mediante la fórmula de Bodman y Mahmud y los valores se encuentran en la tabla 9.

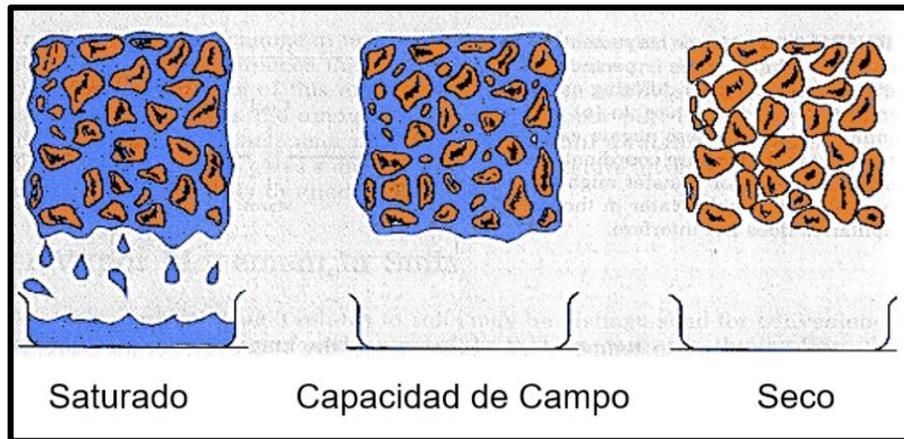


Figura 17: Capacidad de campo (N.C. Brady, 1984)

Fórmula:

$$CC (\%) = 0.23(\% \text{Arena}) + 0.25(\% \text{Limo}) + 0.61(\% \text{Arcilla})$$

- **Textura (%) (Método de Bouyoucos e Hidrómetro ASTM-152H)**

La textura del suelo, es la conformación de las distintas partículas de diferentes tamaños, como serán la cantidad de arena, arcilla y limo, se relaciona con la cantidad de agua que puede retener, y la infiltración del agua, también está relacionado a la capacidad de campo de un suelo. Para determinar la textura del suelo primero se utilizó un hidrómetro ASTM-152H como se muestra en la Figura 18, posterior a ello, se terminaron los valores mediante la fórmula de Bouyoucos y finalmente se determinó la textura mediante el triángulo de United States Department of Agriculture (USDA) (ver Figura 19). Los resultados se muestran en la Tabla 8.



Figura 18: Análisis mediante ASTM-152H

La textura fue determinada por el método de Bouyoucos

Fórmulas:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 segundos}}{\text{Peso de la muestra (g) seco a } 105 \text{ } ^\circ\text{C}} * 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida a las 2 horas} * 100}{\text{Peso de la muestra (g) seco a } 105 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arcilla} + \% \text{ Arena})$$

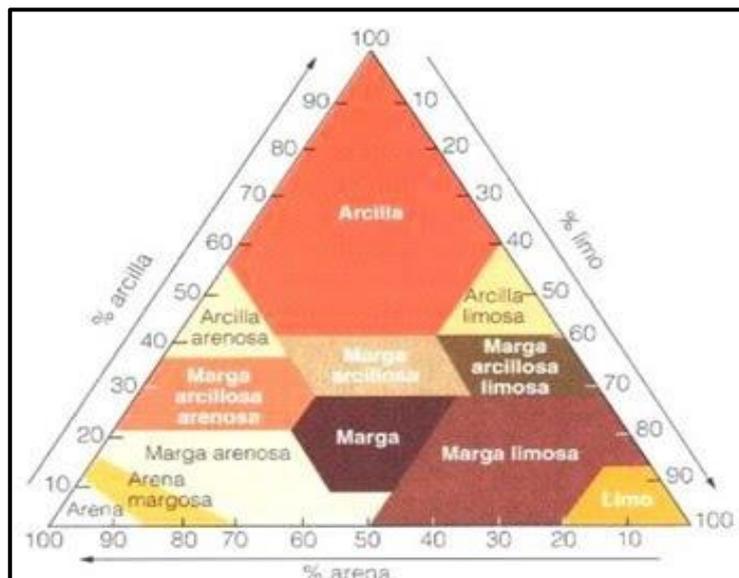


Figura 19: Triángulo de texturas (U.S.D.A., 1977)

- **Conductividad hidráulica (cm/seg) (Método de Darcy)**

Esta prueba consistió en observar la capacidad que tiene el suelo para permitir el paso del agua, el suelo estudiado fue arcilloso se tuvo un paso lento (ver Figura 20). Los resultados se muestran en la tabla 7.

Fórmula:

$$\text{Conductividad Hidráulica (K)} = \frac{H * \ln(a/b)}{T}$$

Dónde:

K: constante de conductividad hidráulica (cm/seg)

H: Altura del suelo en la probeta graduado en mm

Ln: Logaritmo neperiano

A/B: calibración superior e inferior

T: Tiempo en segundos.

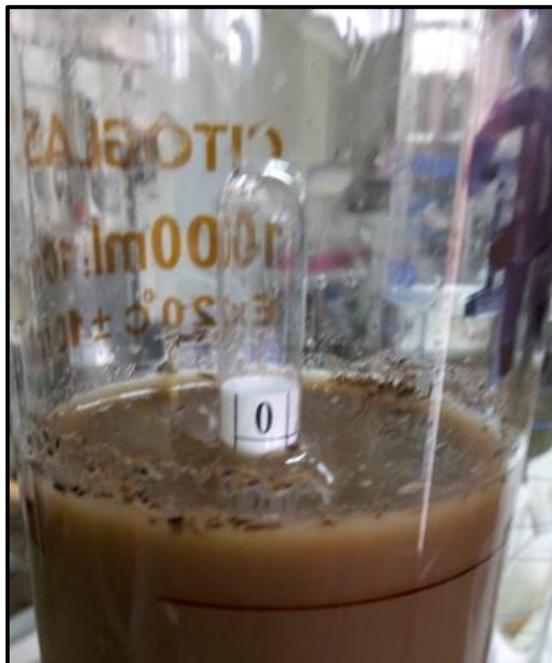


Figura 20: *Medición de la conductividad hidráulica*

- **Humedad gravimétrica (%) (método ASTM D 2216 / ISO 2010)**

Se evaluó el agua que tenía el suelo por el volumen del suelo, fue importante realizar este parámetro físico porque de aquí depende las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, esta fue realizado tomando un peso de suelo cuarteado, para pesarlo en un crisol, luego debió ser secado en una estufa a 105°C por 2 horas, se enfría y se vuelve a pesar aplicando la ecuación los resultados se encuentran en la tabla 7.

Cálculos:

$$HG (\%) = \frac{a - b}{b - c} * 100$$

Dónde:

a = suelo húmedo + recipiente (g)

b = suelo seco a 105°C + recipiente (g)

c = Peso del recipiente (g)

- **Densidad Aparente (mg/cm³) (Método del Cilindro Biselado)**

La densidad aparente (Da), en nuestra investigación fue realizada para observar cómo sería un cultivo ya que se pudo determinar su resistencia, y de acuerdo a su textura y materia orgánica existente. Los resultados se encuentran en la Tabla 7.

Fórmula:

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

V_c: Volumen del cilindro (cm³)

r: Radio del cilindro (cm)

h: Altura del cilindro (cm)

W_{ss}: Peso del suelo seco a 105 °C (g)

V_c: Volumen del cilindro biselado (cm³)

$$Da (g/cm^3) = \frac{W_{SS}}{V_c}$$

- **Carbono Orgánico Total (Método de Walkley - Black)**

El carbono orgánico total de suelo (COT), fue evaluado utilizando un oxidante fuerte como el dicromato de potasio como se muestra en la Figura 21 y 22, conjuntamente con un ácido fuerte como el ácido sulfúrico, obteniéndose una reacción exotérmica, para terminar, luego titulando la muestra con un reductor como es el sulfato ferroso, con indicador ferroína que al virar de azul a verde y rojo ladrillo entonces se termina la valoración. Sus resultados se encuentran en la Tabla 7.

Fórmula:

$$(B - M) * N * 0.003 * 1.3 * 100$$

Carbono orgánico total = _____

Wss

Dónde:

B: Volumen gastado en el blanco (ml)

M: Volumen gastado en la muestra

N: Normalidad del sulfato ferroso

0,003: Factor de oxidación de carbono

Wss: Peso de la muestra secado al aire



Figura 21: Agitación de la muestra



Figura 22: Pesado de muestra



Figura 23: Análisis de fósforo mediante el método de espectrofotometría

- **Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) (método del Acetato de Amonio a pH 7 – 1N)**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), nos proporciona un indicador del movimiento del plomo (II), en el proceso del tratamiento ya que a menor sales disueltas esta va ir disminuyendo siendo un claro indicador de la reducción del metal pesado en estudio (Ver figura 24). Los resultados se muestran en la tabla 14.

Fórmula:

$$\text{CIC (meq/100g)} = \frac{(\text{Vol. gast. Muestra} - \text{Vol. gast. Blanco}) * N * (100+W)}{W_{\text{ suelo seco al aire (g)}}$$

fN: Normalidad del NaOH

W: Peso del suelo seco al aire (g)

W: Humedad gravimétrica del suelo

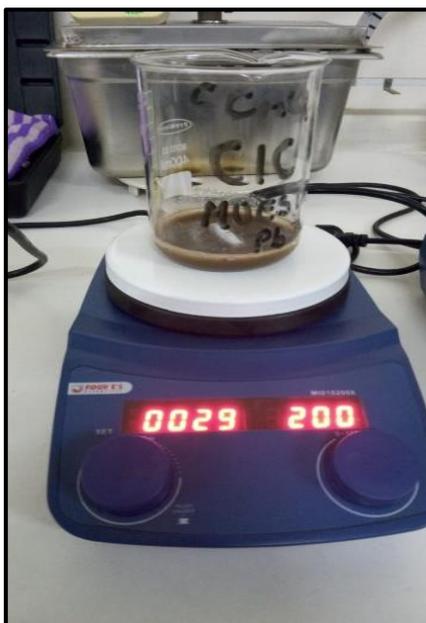


Figura 24: Medición de la capacidad del intercambio catiónico

c. Concentración inicial de plomo (II) (mg/kg)

La concentración del suelo con plomo (II), de acuerdo a la normativa de los estándares de calidad de suelo agrícola es de 70 mg/kg, habiéndose realizado el análisis por el método EPA 3050, se obtuvo una concentración de 120.8 mg/kg de plomo (II) (ver Anexo 4), lo que indica que agroquímicos utilizados con elementos inorgánicos para limpiar de plagas o hierbas que crecen en todo cultivo estas si originan este contaminante que llega al ser humano por cadena trófica.

3.5.3. Etapa 3:

a. Zona de recolección de la microalga *Chlorella vulgaris*

La zona de recolección de microalgas fue en una laguna en el distrito de Marcona provincia de Nazca en las coordenadas UTM Este: 483 917 y Norte: 830 1547 (ver figura 26), donde utilizamos la guía para métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú (ver Figura 25). Los instrumentos utilizados fueron: 2 baldes de 20 Litros cada uno, 1 jarra de 1 litro y GPS, los equipos de protección personal fueron: cofia, guantes de látex, botas de jebe y guardapolvo.



Figura 25: Recolección de microalgas

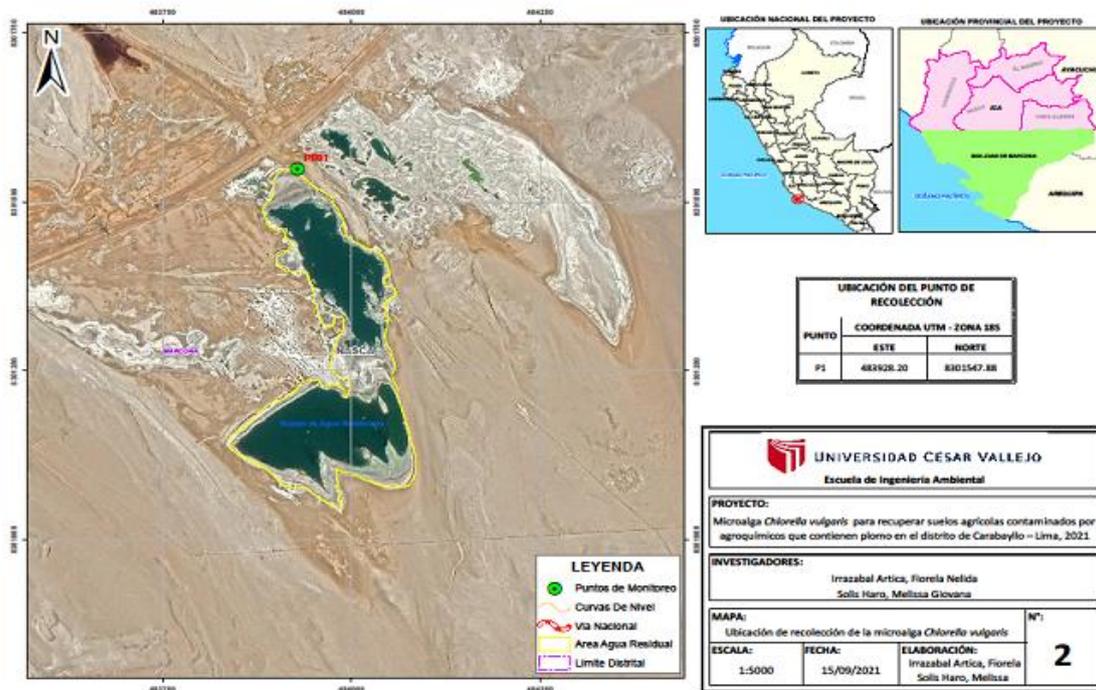


Figura 26: Ubicación de área de recojo de *Chlorella vulgaris*

b. Acondicionamiento

Obtenidos las microalgas estas se colocaron en un sistema de reactor de luz (ver Figura 27), importante porque estas son fotosintéticas, las que se oxigenaron por 2 horas diarias, y se realizó una remoción manual de 2 minutos a toda la cepa estas se realizan por tres veces al día, las que fueron de acuerdo a su crecimiento puestos en peceras de 60 litros (ver Figura 28), en un tiempo de 25 días se pudo obtener 20 litros de microalgas, las que sirvieron para iniciar el riego de acuerdo a

la programación especificada por la capacidad de campo, la textura, su densidad aparente, y como se infiltraba el agua en el suelo mediante la conductividad hidráulica calculada.



Figura 27: Sistema de reactor de luz



Figura 28: Crecimiento de microalgas en peceras

c. Conteo de cepas de microalga:

El método utilizado para las diluciones fue de tubos múltiples el cual consiste en diluciones sucesivas (ver Figura 29) de la cepa madre de microalga *Chlorella vulgaris*.

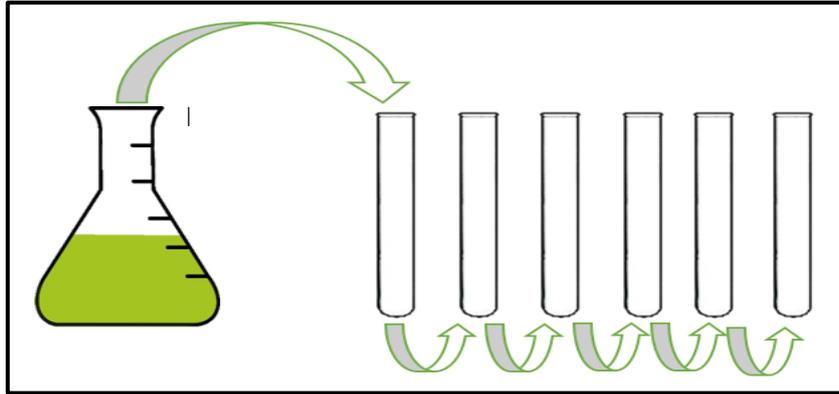


Figura 29: Método tubos múltiples

Se realizó 6 diluciones en relación 8mL de cepa y 2 ml de agua destilada en relaciones de 4/5, 2/3, 4/7, 2/4, 4/9 y 2/5. (ver Figura 30). Posterior a ello realizamos el conteo de microalgas en la cámara Neubauer donde sumamos la cantidad de microalgas que figuraban en los 4 cuadrantes A como se muestra en la figura 31 y para determinar las microalgas totales en cada solución se realizó una ecuación por cada una. Resultados en la Tabla 6.

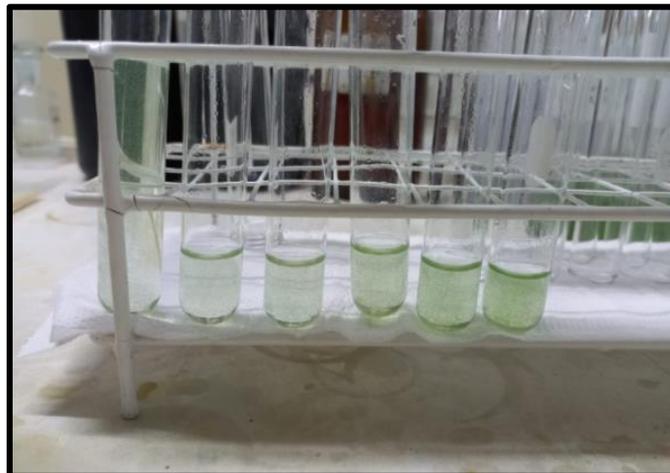


Figura 30: Método de tubos múltiples con diluciones de microalga *Chlorella Vulgaris*

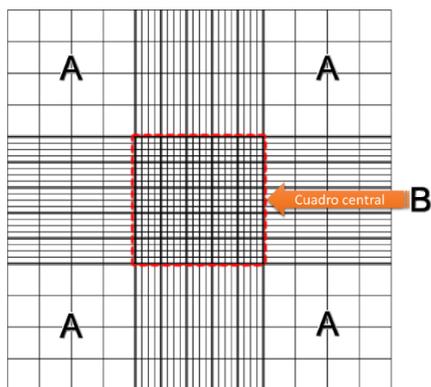


Figura 31: Cámara Neubauer

Para realizar el conteo de microalgas *Chlorella vulgaris* en las diluciones mediante el método de tubos múltiples se aplicó la siguiente fórmula:

$$\frac{\# \text{ Microalgas}}{\# \text{ Cuadrantes}} \times \frac{1 \text{ cuadrante}}{1 \times 1 \times 0,1 \text{ mm}^3} \times \frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ ml}} \times \text{FD} =$$

Dónde:

microalgas = al # de microalgas que figura en los cuadrantes de la cámara Neubauer

FD: Factor de dilución

$1 \times 1 \times 0,1 \text{ mm}^3$: Dimensiones de cada cuadrado

d. Parámetros Físicos y químicos

Se evaluaron su potencial de hidrogeno, para poder observar que no alteraría el suelo en estudio y pueda reducir el plomo (II) existente en el suelo, permitiendo ver su movimiento y llegar a realizar nuestra primera etapa asimismo se determinó la temperatura y conductividad eléctrica. Los resultados se observan en la Tabla 5.

3.5.4. Etapa 4:

Tratamiento del suelo

a. Peso de muestra

La muestra fue llevada a laboratorio para corroborar la presencia de plomo (II), posterior a ello fue pesada para luego ser distribuida de manera homogénea en 27

macetas con 2,5 kg de muestra cada una. El tratamiento consistió en 3 etapas y cada una de ellas con 9 macetas debidamente rotulada como se muestra en la Figura 32.



Figura 32: Rotulado de tratamiento por etapas y dosis

b. Tratamiento del suelo con la microalga *Chlorella vulgaris*

El sistema tratamiento duro 45 días dividida en tres tratamientos la primera de 15 días la segunda 30 días y la tercera 45 días, cada tratamiento contaba de 9 macetas con riegos de diferentes dosis de microalgas (ver Figura 33) al 2%, 4% y 6% por grupos de 3 el cual equivale 50 ml, 100 ml, y 150 ml respectivamente como muestra la tabla 4. Al cumplir los riegos para cada tratamiento se realizó un estudio de remoción de plomo (II) y de parámetros físicos y químicos.



Figura 33: Riego de la muestra con *Chlorella vulgaris*

Asimismo, se codificó cada muestra empleada en el tratamiento de acuerdo a cada dosis como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Sistema de riego con diferentes dosis

Tratamiento	Tratamiento 1 (T1)	Tratamiento 2 (T2)	Tratamiento 3 (T3)
Dosis de riego con <i>Chlorella vulgaris</i>	Código de muestra	Código de muestra	Código de muestra
2% (50 ml)	T1-1 (2%)	T2-1 (2%)	T3-1 (2%)
	T1-2 (2%)	T2-2 (2%)	T3-2 (2%)
	T1-3 (2%)	T2-3 (2%)	T3-3 (2%)
4% (100 ml)	T1-1 (4%)	T2-1 (4%)	T3-1 (4%)
	T1-2 (4%)	T2-2 (4%)	T3-2 (4%)
	T1-3 (4%)	T2-3 (4%)	T3-3 (4%)
6% (150 ml)	T1-1 (6%)	T2-1 (6%)	T3-1 (6%)
	T1-2 (6%)	T2-2 (6%)	T3-2 (6%)
	T1-3 (6%)	T2-3 (6%)	T3-3 (6%)

3.5.5. Etapa 5:

Resultados y utilización estadística SPSS, Anova, Tukey y Excel.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a pruebas estadísticas en Excel y SPSS.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos estuvo en función de métodos internacionales de los suelos como el departamento de agricultura de los estados unidos (USDA). luego la evaluación será realizada con el estadístico inferencial, para aceptar o rechazar la hipótesis nula o hipótesis alterna que se desarrollarán utilizando los programa SPSS26, para el almacenamiento de datos recogidos durante los procesos del tratamiento las que representarán en la parte experimental elaborados en Microsoft Excel 2020. Posteriormente a la realización de los análisis de datos se reflejará el incremento de los fertilizantes del suelo agrícola puesto en estudio.

3.7. Aspectos éticos

El desarrollo de investigación respetará la propiedad intelectual, citando a los autores y la ética en investigación de la universidad, RCU N° 0126-2017/UCV. Además, se ajusta a la Resolución Rectoral N°0089 -2019/UCV, Reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo y mediante Disposición N°7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017- VI/UCV: la cual se verificará mediante el turnitin la evidencia de no copia del proyecto de investigación.

IV. RESULTADOS

1.1. Caracterización y conteo de la microalga

La determinación de los parámetros físicos y químicos de la microalga *Chlorella vulgaris* se muestra en la Tabla 5 así como el conteo de estas en la Tabla 6.

Tabla 5: *Parámetros físico-químico de la microalga*

	Temperatura (°C)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$
Microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	21°C	7.8	50

En la Tabla 5, se aprecian los valores obtenidos de la medición de los parámetros físicos y químicos de la microalga *Chlorella vulgaris*.

Tabla 6: *Conteo de microalgas*

	Muestra	Volumen de agua destilada	Volumen de solución madre	Relación de microalga	Cantidades de microalga
A	Solución madre	100ml	200ml	1:2	$9,2 \times 10^4$
B	Solución madre	50ml	100ml	1:2	$2,875 \times 10^7$
C	Solución madre	25ml	50ml	1:2	$1,4375 \times 10^7$

En la Tabla 6, se observa el conteo de microalgas analizado mediante la cámara de Neubauer para determinar la cantidad de microalgas por riego.

1.2. Caracterización del suelo contaminado con plomo (II) por agroquímico

La caracterización de los parámetros físicos y químicos iniciales del suelo contaminado por Pb (II) me muestra en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 7: Caracterización físico-química inicial del suelo contaminado

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Temperatura	°C	18.4
Potencial de hidrógeno	ácido/base	6.18
Conductividad eléctrica	μS/cm	839
Potencial redox	mV	289.7
Humedad gravimétrica	%	5.29
Densidad aparente	g/cm ³	2.51
Conductividad hidráulica	cm/seg.	0.0055
Carbono orgánico total	%	0.98
Materia orgánica	%	1.67
Nitrógeno	%	0.08
Fosforo	mg/kg	10.4
Potasio	mg/kg	45.58
Relación C/N	C/N	12.25
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	16

En la Tabla 7, se observan los resultados de los parámetros físico-químicos iniciales del suelo contaminado los cuales fueron analizados mediante distintos métodos para cada parámetro. La temperatura inicial del suelo fue de 18.4°C con un potencial de hidrógeno de 6.18, asimismo, la conductividad eléctrica fue 839 μS/cm, la humedad gravimétrica fue 5.29%, la densidad aparente fue 2.51 g/cm³, así como la conductividad hidráulica fue 0.0055 cm/seg. También, el carbono orgánico total (COT) fue 0.98%, la materia orgánica fue 1.67%, el carbono nitrógeno fue 12.25 C/N y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue 16 meq/100g. Ver anexo 4.

Tabla 8: Textura del suelo (método de Bouyoucos) (Hidrómetro ASTM-152H)

% Arena	%Limo	% Arcilla
17.32	19.52	63.16

La textura del suelo es arcilloso hallado por el método del triángulo de la U.S.D.A. (Ver figura 34).

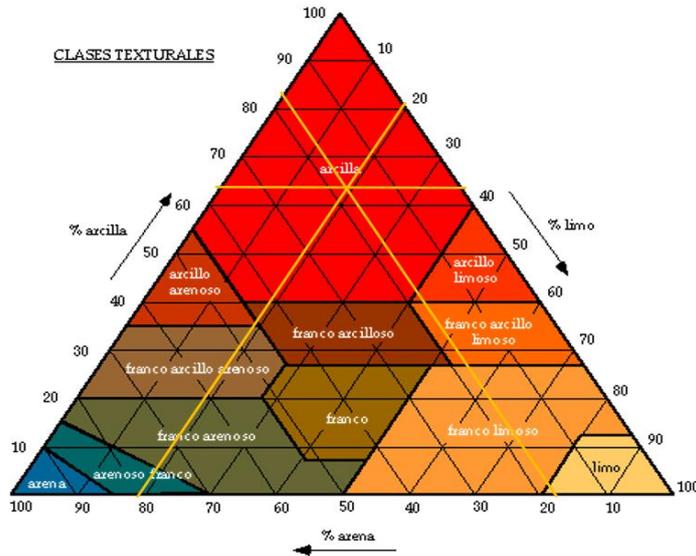


Figura 34: textura de la muestra del suelo

% Arena= 17.32
 % Limo = 19.52
 % Arcilla: 63.16

} Suelo Arcilloso

Los resultados de la Tabla 8, nos indica que la textura del suelo es arcillosa por ende tiene poros pequeños. Ver Anexo 4.

Tabla 9: Capacidad de campo (método Bodmam y Mahmud)

Código	Arena Factor	Limo factor	Arcilla factor	Capacidad de campo %
SCAQ-Pb	3.98	4.88	38.52	47.38

La Tabla 9, nos muestra el valor obtenido de la capacidad de campo mediante el método de Bodman y Mahmud lo cual se encuentra en un rango bueno. Ver Anexo 4.

1.3. Remoción del plomo (II)

Los valores iniciales y finales de cada tratamiento de la concentración de Pb (II) se muestran en la Tabla 10 y Figura 35.

Tabla 10: Concentración inicial y final de los niveles de Pb en el suelo

PLOMO Pb (II) (mg/kg)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	120.8	115.57
	T1-E2(2%)	120.8	115.48
	T1-E3(2%)	120.8	115.50
	PROMEDIO	120.8	115.52
	T1-E1(4%)	120.8	115.02
	T1-E2(4%)	120.8	114.98
	T1-E3(4%)	120.8	114.94
	PROMEDIO	120.8	114.98
	T1-E1 (6%)	120.8	112.28
	T1-E2 (6%)	120.8	112.16
	T1-E3 (6%)	120.8	112.11
	PROMEDIO	120.8	112.18
T2	T2-E1(2%)	120.8	105.35
	T2-E2(2%)	120.8	105.52
	T2-E3(2%)	120.8	105.54
	PROMEDIO	120.8	105.47
	T2-E1(4%)	120.8	100.35
	T2-E2(4%)	120.8	100.26
	T1-2E3(4%)	120.8	100.19
	PROMEDIO	120.8	100.27
	T2-E1 (6%)	120.8	95.02
	T2-E2 (6%)	120.8	94.99
	T2-E3 (6%)	120.8	94.95
	PROMEDIO	120.8	94.99
T3	T3-E1(2%)	120.8	92.24
	T3-E2(2%)	120.8	92.19
	T3-E3(2%)	120.8	92.22
	PROMEDIO	120.8	92.22
	T3-E1(4%)	120.8	81.54
	T3-E2(4%)	120.8	81.51
	T3-E3(4%)	120.8	81.49
	PROMEDIO	120.8	81.51
	T3-E1 (6%)	120.8	72.02
	T3-E2 (6%)	120.8	72.07
	T3-E3 (6%)	120.8	72.04
	PROMEDIO	120.8	72.04

En la Tabla 10, se muestran los valores iniciales y finales del plomo en el suelo durante los tres tratamientos con distintas dosis de microalgas, donde los periodos de tiempo fueron 15 días, 30 días y 45 días para los T1, T2 y T3 respectivamente.

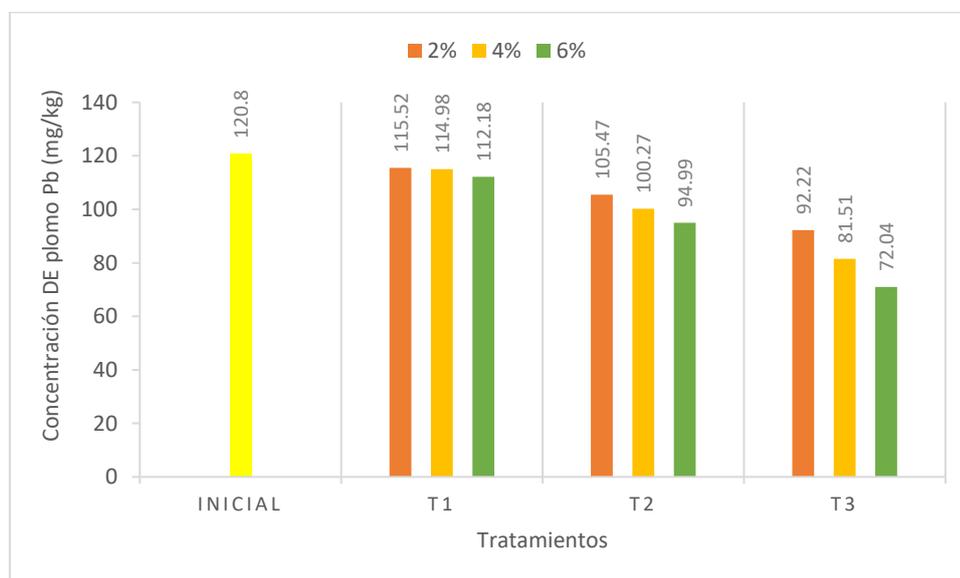


Figura 35: Concentración de Pb en el suelo

En la Figura 35, se muestra el valor inicial de la concentración del plomo en el suelo, así como los resultados de los tres tratamientos con su respectiva dosis de riego, como se puede observar el valor inicial del suelo contaminado fue de 120.8 mg/kg teniendo como mejor resultado de remoción el tratamiento tres al 6% de microalgas equivalente a 150 ml dando como resultado 72.04 mg/kg equivalente a 97.8% de remoción de plomo, asimismo el tratamiento uno con dosis al 2% fue la menos efectiva en remover ya que tuvo como resultados 115.52 mg/kg de plomo en el suelo equivalente al 34.9% de remoción de plomo.

- **Estadística inferencial de plomo:**

Se realizó la prueba de estadística inferencial de la concentración de Pb (II) en la prueba de normalidad, análisis de varianzas (ANOVA) y la prueba de Tukey mostrándose en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 11: Prueba de normalidad de Pb

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
CONCETRACIÓN DE PLOMO	Inicial	,800	3	,114
	Tratamiento 1 al (2%)	,907	3	,407
	Tratamiento 1 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (6%)	,947	3	,554
	Tratamiento 2 al (2%)	,828	3	,183
	Tratamiento 2 al (4%)	,995	3	,862
	Tratamiento 2 al (6%)	,993	3	,843
	Tratamiento 3 al (2%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (4%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (6%)	,987	3	,780

En la Tabla 11, se aprecia los valores obtenidos de la prueba de normalidad con respecto a la concentración de Pb (II), donde el estadístico se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son menores a 50, donde el **P valor** es mayor de **0.05** por lo tanto de acepta la **Ho**: Los datos de concentración de Pb (II) proceden de una distribución normal

- **Hipótesis**

Ho: Los datos de concentración de Pb (II) proceden de una distribución normal

H1: Los datos de concentración de Pb (II) no proceden de una distribución normal

Tabla 12: Análisis de varianzas de Pb

ANOVA					
CONCENTRACIÓN DE PLOMO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6819,647	9	757,739	194458,147	,000
Dentro de grupos	,078	20	,004		
Total	6819,725	29			

En la Tabla 12, se observa el análisis de varianzas (ANOVA) de la concentración de Pb (II) en el suelo, donde nos indica que la significancia es 0, asimismo el **P valor** es menor a **0,05** por ende se acepta la **H1** Las microalgas *Chlorella vulgaris* producirán efectos positivos en los suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II).

- **Prueba de hipótesis general**

Ho: Las microalgas *Chlorella vulgaris* producirán efectos negativos en los suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II).

H1: Las microalgas *Chlorella vulgaris* producirán efectos positivos en los suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II).

Tabla 13: Prueba Tukey de Pb

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Concentración de plomo						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	5,23000*	,05097	,000	5,0495	5,4105

	Tratamiento 1 al (4%)	5,76667*	,05097	,000	5,5862	5,9472
	Tratamiento 1 al (6%)	8,56333*	,05097	,000	8,3828	8,7438
	Tratamiento 2 al (2%)	15,27667*	,05097	,000	15,0962	15,4572
	Tratamiento 2 al (4%)	20,48000*	,05097	,000	20,2995	20,6605
	Tratamiento 2 al (6%)	25,76000*	,05097	,000	25,5795	25,9405
	Tratamiento 3 al (2%)	28,53000*	,05097	,000	28,3495	28,7105
	Tratamiento 3 al (4%)	39,23333*	,05097	,000	39,0528	39,4138
	Tratamiento 3 al (6%)	48,70333*	,05097	,000	48,5228	48,8838

En la Tabla 13, se observa la prueba Tukey de la concentración del Pb (II) en el suelo donde nos indica significancia 0, así como **P valor** es menor a **0.05** entonces se acepta la **H1**, Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4. Parámetros físicos y químicos del suelo

1.4.1. Temperatura del suelo

La temperatura inicial y final de los tratamientos se muestra en la Tabla 14 y Figura 36.

Tabla 14: Temperatura inicial y final de los tratamientos

TEMPERATURA °C			
TRATAMIENTO	CÓDIGO	INICAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	18.4	21.4
	T1-E2(2%)	18.4	21.4
	T1-E3(2%)	18.4	21.4
	PROMEDIO	18.4	21.4
	T1-E1(4%)	18.4	21.4
	T1-E2(4%)	18.4	21.4
	T1-E3(4%)	18.4	21.4
	PROMEDIO	18.4	21.4
	T1-E1 (6%)	18.4	21.4

	T1-E2 (6%)	18.4	21.4
	T1-E3 (6%)	18.4	21.4
	PROMEDIO	18.4	21.4
T2	T2-E1(2%)	18.4	20.6
	T2-E2(2%)	18.4	20.6
	T2-E3(2%)	18.4	20.6
	PROMEDIO	18.4	20.6
	T2-E1(4%)	18.4	20.6
	T2-E2(4%)	18.4	20.6
	T1-2E3(4%)	18.4	20.6
	PROMEDIO	18.4	20.6
	T2-E1 (6%)	18.4	20.6
	T2-E2 (6%)	18.4	20.6
	T2-E3 (6%)	18.4	20.6
	PROMEDIO	18.4	20.6
T3	T3-E1(2%)	18.4	21
	T3-E2(2%)	18.4	21
	T3-E3(2%)	18.4	21
	PROMEDIO	18.4	21
	T3-E1(4%)	18.4	21
	T3-E2(4%)	18.4	21
	T3-E3(4%)	18.4	21
	PROMEDIO	18.4	21
	T3-E1 (6%)	18.4	21
	T3-E2 (6%)	18.4	21
	T3-E3 (6%)	18.4	21
	PROMEDIO	18.4	21

En la Tabla 14, se observa el valor inicial obtenido de la temperatura y los valores posteriores a los tratamientos T1, T2 y T3 con distintas concentraciones de dosis de microalga *Chlorella vulgaris*, donde se observa que el incremento no fue significativo.

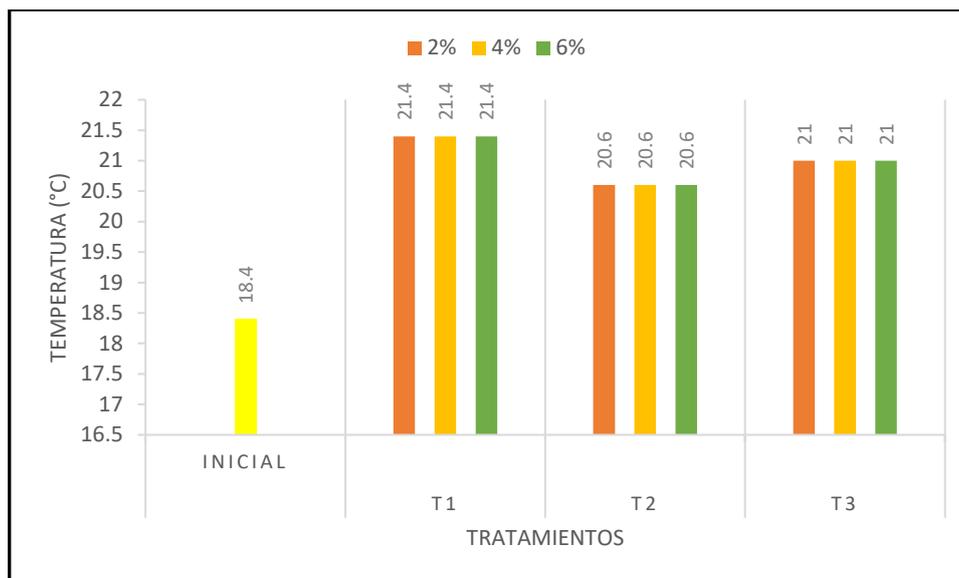


Figura 36: *Temperatura del suelo durante los tratamientos*

En la Figura 36, se puede observar el comportamiento de la temperatura antes y durante el tratamiento teniendo 18.4°C antes del inicio del tratamiento, en el primer tratamiento que consto de 15 días la temperatura se elevó a 21.4 °C en el segundo tratamiento equivalente a 30 días la temperatura disminuyo a 20.6 °C y en el tercer tratamiento con 45 días la temperatura final fue de 21 °C.

- **Estadística inferencial de la temperatura**

Se realizó la prueba de estadística inferencial de la temperatura del suelo con la prueba de normalidad (Tabla 15), análisis de varianzas (ANOVA) (Tabla 16) y la prueba de Tukey mostrándose en la Tabla 17.

Tabla 15: *Prueba de normalidad de temperatura*

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	Inicial	,987	3	,780
	Tratamiento 1 al (2%)	,267	3	,467
	Tratamiento 1 al (4%)	,544	3	,356
	Tratamiento 1 al (6%)	,578	3	,256

	Tratamiento 2 al (2%)	,256	3	,257
	Tratamiento 2 al (4%)	,355	3	,356
	Tratamiento 2 al (6%)	,245	3	,457
	Tratamiento 3 al (2%)	,754	3	,075
	Tratamiento 3 al (4%)	,276	3	,246
	Tratamiento 3 al (6%)	,256	3	,058

En la Tabla 15, se observa significancia mayor a 0 de la prueba de normalidad, para la prueba estadística se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son menores a 50, ya que el **P valor** es mayor de **0,05** se acepta la **H₀** Los datos de la temperatura proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

H₀: Los datos de la temperatura proceden de una distribución normal

H₁: Los datos de la temperatura no proceden de una distribución normal

Tabla 16: *Análisis de varianza de temperatura*

Temperatura					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21,508	9	2,390	37733,895	,000
Dentro de grupos	,001	20	,000		
Total	21,510	29			

En la Tabla 16, se observa el análisis de varianzas (ANOVA) de la temperatura, donde nos indica que la significancia es 0, asimismo el **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁** Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la temperatura.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la temperatura.

H1: Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la temperatura.

Tabla 17: Prueba Tukey de temperatura

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Temperatura						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	-3,02667*	,00650	,000	-3,0497	-3,0037
	Tratamiento 1 al (4%)	-3,02667*	,00650	,000	-3,0497	-3,0037
	Tratamiento 1 al (6%)	-3,02667*	,00650	,000	-3,0497	-3,0037
	Tratamiento 2 al (2%)	-2,22667*	,00650	,000	-2,2497	-2,2037
	Tratamiento 2 al (4%)	-2,22667*	,00650	,000	-2,2497	-2,2037
	Tratamiento 2 al (6%)	-2,22667*	,00650	,000	-2,2497	-2,2037
	Tratamiento 3 al (2%)	-2,62667*	,00650	,000	-2,6497	-2,6037
	Tratamiento 3 al (4%)	-2,62667*	,00650	,000	-2,6497	-2,6037
	Tratamiento 3 al (6%)	-2,62667*	,00650	,000	-2,6497	-2,6037

En la Tabla 17, se observa la prueba Tukey de la temperatura donde nos indica significancia 0, así como **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**, Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- Interpretación

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.2. pH del suelo

Los valores del pH inicial y final de cada tratamiento se muestran en la Tabla 18 y Figura 37.

Tabla 18: pH inicial y final de los tratamientos

pH			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	6.18	6.70
	T1-E2(2%)	6.18	6.89
	T1-E3(2%)	6.18	7.00
	PROMEDIO	6.18	6.86
	T1-E1(4%)	6.18	7.08
	T1-E2(4%)	6.18	7.09
	T1-E3(4%)	6.18	7.10
	PROMEDIO	6.18	7.09
	T1-E1 (6%)	6.18	7.25
	T1-E2 (6%)	6.18	7.22
	T1-E3 (6%)	6.18	7.17
PROMEDIO	6.18	7.21	
T2	T2-E1(2%)	6.18	6.36
	T2-E2(2%)	6.18	6.43
	T2-E3(2%)	6.18	6.39
	PROMEDIO	6.18	6.39
	T2-E1(4%)	6.18	6.93
	T2-E2(4%)	6.18	6.89
	T1-2E3(4%)	6.18	6.94
	PROMEDIO	6.18	6.92
	T2-E1 (6%)	6.18	7.01
	T2-E2 (6%)	6.18	7.09
	T2-E3 (6%)	6.18	7.11
PROMEDIO	6.18	7.07	
T3	T3-E1(2%)	6.18	6.42
	T3-E2(2%)	6.18	6.45
	T3-E3(2%)	6.18	6.48
	PROMEDIO	6.18	6.45
	T3-E1(4%)	6.18	7.05
	T3-E2(4%)	6.18	7.07
	T3-E3(4%)	6.18	7.04
	PROMEDIO	6.18	7.05

T3-E1 (6%)	6.18	7.12
T3-E2 (6%)	6.18	7.18
T3-E3 (6%)	6.18	7.21
PROMEDIO	6.18	7.17

En la Tabla 18, se observa el valor inicial del potencial de hidrógeno el cual fue analizado mediante el método potenciométrico y se registró el valor 6.18 siendo ligeramente ácido, el cual tuvo variación debido al riego con microalgas *Chlorella vulgaris* ya que el mayor valor final fue 7.21 lo cual significa que es neutro.

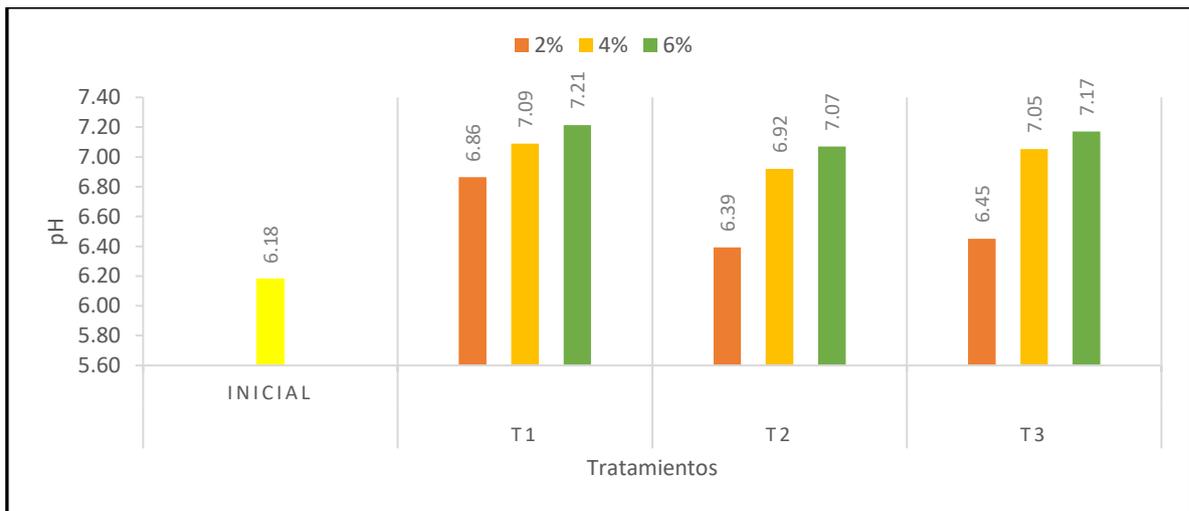


Figura 37: pH del suelo durante los tratamientos

En la Figura 37, se observa el comportamiento del pH del suelo inicial contaminado, así como el de los 3 tratamientos teniendo como valor inicial un pH de 6.18 equivalente a un suelo ácido, seguidamente en el primer tratamiento a los 15 días el pH tuvo un cambio a suelo ligeramente ácido ya que en la dosis del 2% fue de 6.86 en el 4% fue de 7.09 y en el 6% fue 7.21, en el segundo tratamiento el pH tuvo un suelo pasando a ligeramente alcalino ya que los valores en las dosis 2%, 4% y 6% fueron de 6.39, 6.92 y 7.07 respectivamente asimismo en el tercer tratamiento los pH variaron entre 6.45, 7.05 y 7.17 en las dosis 2%, 4% y 6% respectivamente, los pH que se mantuvieron entre 6.2 y 7 son los más aceptables para realizar un buen cultivo, así como la dosis al 2% del tratamiento 3 que se mantuvo en un suelo ligeramente ácido.

- **Estadística inferencial de pH**

Se realizó la prueba de estadística inferencial del pH a del suelo con la prueba de normalidad (Tabla 19), análisis de varianzas (ANOVA) (Tabla 20) y la prueba de Tukey mostrándose en la Tabla 21.

Tabla 19: Pruebas de normalidad de pH

Pruebas de normalidad				
		Shapiro-Wilk		
	Tratamientos	Estadístico	gl	Sig.
pH	Inicial	,923	3	,463
	Tratamiento 1 al (2%)	,977	3	,708
	Tratamiento 1 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (6%)	,980	3	,726
	Tratamiento 2 al (2%)	,993	3	,843
	Tratamiento 2 al (4%)	,893	3	,363
	Tratamiento 2 al (6%)	,893	3	,363
	Tratamiento 3 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3 al (4%)	,964	3	,637
	Tratamiento 3 al (6%)	,964	3	,637

En la Tabla 19, se observa que significancia mayor a 0 de la prueba de normalidad, para la prueba estadística se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son menores a 50, asimismo, el **P valor es** mayor a **0.05** aceptando la **H₀** Los datos del pH del suelo proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

H₀: Los datos del pH del suelo proceden de una distribución normal

H₁: Los datos del pH del suelo no proceden de una distribución normal

Tabla 20: Análisis de varianza de pH

ANOVA					
pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,637	9	,404	121,828	,000
Dentro de grupos	,066	20	,003		
Total	3,703	29			

En la Tabla 20, se observa el análisis de varianzas (ANOVA) del pH, donde nos indica que la significancia es 0, asimismo el **P valor** es menor a **0,05** entonces aceptamos la **H1** Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al pH.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al pH

H1: Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al pH

Tabla 21: Prueba Tukey de pH

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: pH						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	-,69000*	,04702	,000	-,8565	-,5235
	Tratamiento 1 al (4%)	-,91667*	,04702	,000	-1,0832	-,7502
	Tratamiento 1 al (6%)	-1,04000*	,04702	,000	-1,2065	-,8735

	Tratamiento 2 al (2%)	-,22000*	,04702	,000	-,3865	-,0535
	Tratamiento 2 al (4%)	-,74667*	,04702	,000	-,9132	-,5802
	Tratamiento 2 al (6%)	-,89667*	,04702	,000	-1,0632	-,7302
	Tratamiento 3 al (2%)	-,27667*	,04702	,000	-,4432	-,1102
	Tratamiento 3 al (4%)	-,88000*	,04702	,000	-1,0465	-,7135
	Tratamiento 3 al (6%)	-,99667*	,04702	,000	-1,1632	-,8302

En la Tabla 21, se observa la prueba Tukey de la temperatura donde nos indica significancia 0, así como **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **Ho** Los datos proceden de una distribución normal.

- **Interpretación**

Ho: Los datos proceden de una distribución normal

H1: Los datos no proceden de una distribución normal

1.4.3. Conductividad eléctrica del suelo

En la Tabla 22 y Figura 38, se presenta el comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo antes y después del tratamiento.

Tabla 22: Conductividad eléctrica inicial y final de los tratamientos

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA mS/cm			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	0.84	2.08
	T1-E2(2%)	0.84	2.04
	T1-E3(2%)	0.84	2.03
	PROMEDIO	0.84	2.05
	T1-E1(4%)	0.84	2.78
	T1-E2(4%)	0.84	2.80
	T1-E3(4%)	0.84	2.76
	PROMEDIO	0.84	2.78
	T1-E1 (6%)	0.84	2.67
	T1-E2 (6%)	0.84	2.64
	T1-E3 (6%)	0.84	2.68
	PROMEDIO	0.84	2.66
T2	T2-E1(2%)	0.84	2.94
	T2-E2(2%)	0.84	2.92
	T2-E3(2%)	0.84	2.88
	PROMEDIO	0.84	2.91

	T2-E1(4%)	0.84	3.10
	T2-E2(4%)	0.84	3.08
	T1-2E3(4%)	0.84	3.09
	PROMEDIO	0.84	3.09
	T2-E1 (6%)	0.84	3.25
	T2-E2 (6%)	0.84	3.29
	T2-E3 (6%)	0.84	3.31
	PROMEDIO	0.84	3.28
T3	T3-E1(2%)	0.84	4.19
	T3-E2(2%)	0.84	4.87
	T3-E3(2%)	0.84	4.69
	PROMEDIO	0.84	4.58
	T3-E1(4%)	0.84	2.83
	T3-E2(4%)	0.84	2.86
	T3-E3(4%)	0.84	2.92
	PROMEDIO	0.84	2.87
	T3-E1 (6%)	0.84	2.74
	T3-E2 (6%)	0.84	2.68
	T3-E3 (6%)	0.84	2.56
	PROMEDIO	0.84	2.66

En la Tabla 22, se muestran la conductividad eléctrica inicial la cual fue 0.84 mS/cm evidenciando así ser baja ya que no hay movimiento de aniones y cationes en el suelo por estar contaminado de plomo y se obtuvo como mayor valor final 4.58 mS/cm ya que la variación sucedió por la presencia de microalgas.

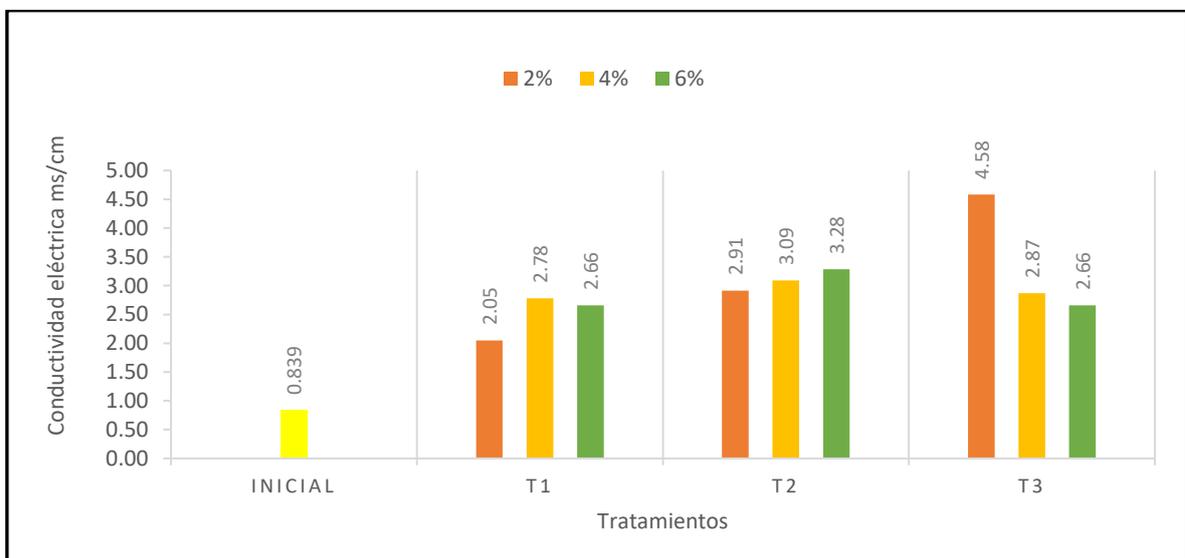


Figura 38: Conductividad eléctrica del suelo durante los tratamientos

En la Figura 38, se puede observar que la conductividad eléctrica inicial en el suelo contaminado fue de 0.839 siendo esta baja ya que el suelo está contaminado por el plomo asimismo durante los tratamientos la conductividad

eléctrica fue aumentando esto por el incremento de nutrientes de las microalgas asimismo el tratamiento 1 con dosis al 2% tuvo 2.05 ms/ cm y el tratamiento 3 al 6% teniendo 2.66 ms/ cm siendo estas dos las más aceptables para un suelo normal sin embargo el tratamiento 3 con dosis al 2% tuvo 4.58 ms/cm siendo esto un suelo ligeramente salido donde cultivos ligeros pueden verse afectados por la salinidad.

- **Estadística inferencial de conductividad eléctrica**

La estadística inferencial de la conductividad eléctrica se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianza y Tukey, como se muestran en las Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25, respectivamente.

Tabla 23: Prueba de normalidad de Conductividad eléctrica

Prueba de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Conductividad eléctrica	Inicial	,895	3	,371
	Tratamiento 1 al (2%)	,893	3	,363
	Tratamiento 1 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (6%)	,923	3	,463
	Tratamiento 2 al (2%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 2 al (6%)	,964	3	,637
	Tratamiento 3 al (2%)	,931	3	,493
	Tratamiento 3 al (4%)	,964	3	,637
	Tratamiento 3 al (6%)	,964	3	,637

En la Tabla 23, se muestra los valores obtenidos de la prueba de normalidad en base a Shapiro-Wilk ya que se trabajó con 29 muestras, donde **P valor** mayor a **0.05** lo cual nos indica que aceptamos la **H₀**: Los datos proceden de una distribución normal

- **Hipótesis:**

Ho: Los datos de conductividad eléctrica proceden de una distribución normal

H1: Los datos de conductividad eléctrica no proceden de una distribución normal

Tabla 24: *Análisis de varianza de conductividad eléctrica*

ANOVA					
Conductividad eléctrica					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24,209	9	2,690	193,787	,000
Dentro de grupos	,278	20	,014		
Total	24,486	29			

En la Tabla 24, se observa el análisis de varianzas (ANOVA) donde la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1** Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la conductividad.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la conductividad.

H1: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la conductividad.

Tabla 25: *Prueba Tukey de conductividad eléctrica*

Variable dependiente: Conductividad eléctrica
HSD Tukey

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	-1,24033*	,09620	,000	-1,5810	-,8997
	Tratamiento 1 al (4%)	-1,97033*	,09620	,000	-2,3110	-1,6297
	Tratamiento 1 al (6%)	-1,85367*	,09620	,000	-2,1943	-1,5130
	Tratamiento 2 al (2%)	-2,10367*	,09620	,000	-2,4443	-1,7630
	Tratamiento 2 al (4%)	-2,28033*	,09620	,000	-2,6210	-1,9397
	Tratamiento 2 al (6%)	-2,47367*	,09620	,000	-2,8143	-2,1330
	Tratamiento 3 al (2%)	-3,77367*	,09620	,000	-4,1143	-3,4330
	Tratamiento 3 al (4%)	-2,06033*	,09620	,000	-2,4010	-1,7197
	Tratamiento 3 al (6%)	-1,85033*	,09620	,000	-2,1910	-1,5097

En la Tabla 25, se observa la prueba de Tukey el cual nos indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** es menor de **0.05** y aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.4. Potencial redox del suelo

En la Tabla 26 y Figura 39 se presenta los valores iniciales y finales del potencial redox según cada tratamiento.

Tabla 26: *Potencial redox inicial y final de los tratamientos*

POTENCIAL REDOX mV			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	289.70	238.50
	T1-E2(2%)	289.70	239.80
	T1-E3(2%)	289.70	237.00
	PROMEDIO	289.70	238.43

	T1-E1(4%)	289.70	231.10
	T1-E2(4%)	289.70	229.50
	T1-E3(4%)	289.70	230.20
	PROMEDIO	289.70	230.27
	T1-E1 (6%)	289.70	205.50
	T1-E2 (6%)	289.70	204.90
	T1-E3 (6%)	289.70	205.10
	PROMEDIO	289.70	205.17
T2	T2-E1(2%)	289.70	208.50
	T2-E2(2%)	289.70	212.60
	T2-E3(2%)	289.70	211.20
	PROMEDIO	289.70	210.77
	T2-E1(4%)	289.70	199.70
	T2-E2(4%)	289.70	200.10
	T1-2E3(4%)	289.70	201.40
	PROMEDIO	289.70	200.40
	T2-E1 (6%)	289.70	194.90
	T2-E2 (6%)	289.70	192.50
	T2-E3 (6%)	289.70	193.80
	PROMEDIO	289.70	193.73
T3	T3-E1(2%)	289.70	237.70
	T3-E2(2%)	289.70	236.20
	T3-E3(2%)	289.70	230.80
	PROMEDIO	289.70	234.90
	T3-E1(4%)	289.70	218.50
	T3-E2(4%)	289.70	210.20
	T3-E3(4%)	289.70	200.80
	PROMEDIO	289.70	209.83
	T3-E1 (6%)	289.70	181.30
	T3-E2 (6%)	289.70	158.20
	T3-E3 (6%)	289.70	166.40
	PROMEDIO	289.70	168.63

En la Tabla 26, se aprecia los valores iniciales y finales del parámetro potencial redox el cual tuvo una variación significativa por la presencia de microalgas *Chlorella Vulgaris* en los riegos que se realizaron en los tres tratamientos, asimismo se observa el promedio de cada tratamiento por dosis.

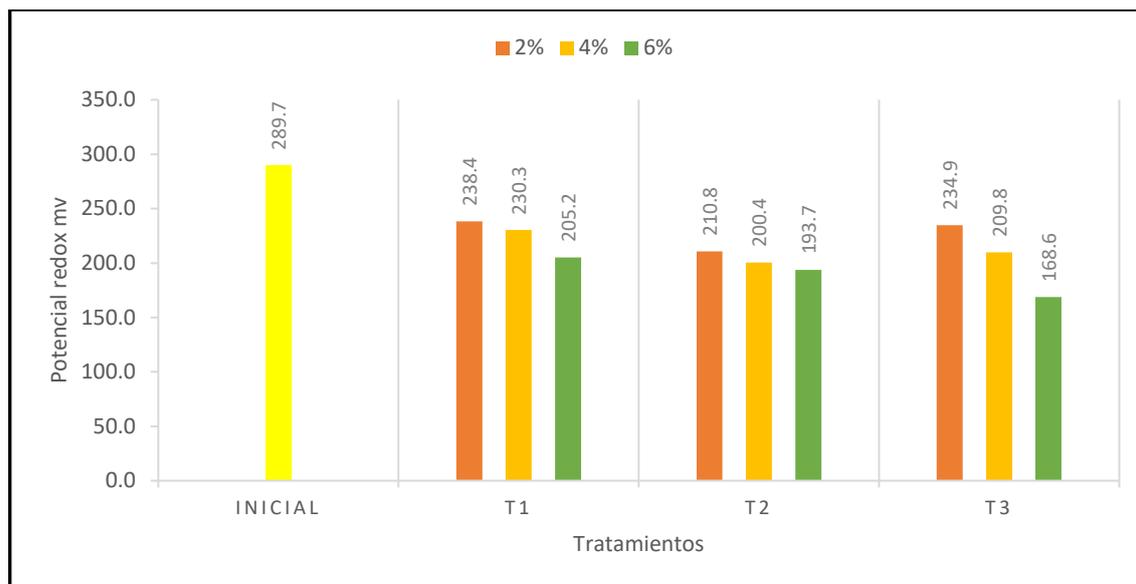


Figura 39: *Potencial redox del suelo durante los tratamientos*

En la Figura 39, se puede observar que el potencial redox inicial del suelo contaminado fue de 289,7 mV en el tratamiento 1 siendo los valores más altos como 288.4 mV, 230.3 mV, 205.2 mV al 2%,4% y 6% respectivamente sin embargo a más tiempo de tratamiento los niveles de potencial redox fueron disminuyendo en el tratamiento 2 los resultados fueron de 210.8, 200.4 y 193.7 al 2%, 4% y 6% respectivamente asimismo los niveles más bajos se dieron en el tercer tratamiento con 45 días teniendo como resultados al 2% 234,9 mv, 4% 209.8 mv y el 4% 168.6 mv como mejor potencial redox.

- **Estadística inferencial de Potencial redox**

La estadística inferencial del potencial redox se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianza y Tukey, como se muestran en la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29, respectivamente.

Tabla 27: *Prueba de normalidad de potencial redox*

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Potencial Redox	Inicial	,912	3	,424
	Tratamiento 1 al (2%)	,998	3	,921

	Tratamiento 1 al (4%)	,995	3	,862
	Tratamiento 1 al (6%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (2%)	,968	3	,654
	Tratamiento 2 al (4%)	,915	3	,433
	Tratamiento 2 al (6%)	,998	3	,908
	Tratamiento 3 al (2%)	,904	3	,398
	Tratamiento 3 al (4%)	,999	3	,932
	Tratamiento 3 al (6%)	,973	3	,683

En la Tabla 27, se observa la prueba de normalidad del parámetro potencial redox el cual se basó en el estadístico de Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras es menor a 50, donde nos indica que la significancia **P valor** es mayor de **0.05** por lo tanto, aceptamos la **H₀**: Los datos proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

H₀: Los datos del potencial redox proceden de una distribución normal

H₁: Los datos del potencial redox no proceden de una distribución normal

Tabla 28: *Análisis de varianza de potencial redox*

ANOVA					
Potencial Redox					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	29070,316	9	3230,035	135,444	,000
Dentro de grupos	476,953	20	23,848		
Total	29547,270	29			

En la Tabla 28, se presenta el análisis de varianzas respecto al potencial redox donde indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** es menor a **0.05** y aceptamos la **H₁**: Las microalgas influirán en las características físicas y

químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al potencial redox.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al potencial redox.

H1: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al potencial redox.

Tabla 29: Prueba Tukey de potencial redox

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Potencial redox						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	51,80000*	3,98729	,000	37,6806	65,9194
	Tratamiento 1 al (4%)	59,96667*	3,98729	,000	45,8473	74,0861
	Tratamiento 1 al (6%)	85,06667*	3,98729	,000	70,9473	99,1861
	Tratamiento 2 al (2%)	79,46667*	3,98729	,000	65,3473	93,5861
	Tratamiento 2 al (4%)	89,83333*	3,98729	,000	75,7139	103,9527
	Tratamiento 2 al (6%)	96,50000*	3,98729	,000	82,3806	110,6194
	Tratamiento 3 al (2%)	55,33333*	3,98729	,000	41,2139	69,4527
	Tratamiento 3 al (4%)	80,40000*	3,98729	,000	66,2806	94,5194
	Tratamiento 3 al (6%)	121,60000*	3,98729	,000	107,4806	135,7194

En la Tabla 29, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto al potencial redox donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** es menor de **0.05**, por consecuente aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.5. Humedad gravimétrica del suelo

En la Tabla 30 y Figura 40 se muestra los valores iniciales de la humedad gravimétrica asimismo los valores durante los 3 tratamientos con las microalgas.

Tabla 30: Humedad gravimétrica inicial y final de los tratamientos

HUMEDAD GRAVIMÉTRICA (%)			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	5.29	19.83
	T1-E2(2%)	5.29	19.76
	T1-E3(2%)	5.29	19.96
	PROMEDIO	5.29	19.85
	T1-E1(4%)	5.29	20.57
	T1-E2(4%)	5.29	20.61
	T1-E3(4%)	5.29	20.80
	PROMEDIO	5.29	20.66
	T1-E1 (6%)	5.29	21.30
	T1-E2 (6%)	5.29	21.78
	T1-E3 (6%)	5.29	21.67
	PROMEDIO	5.29	21.58
T2	T2-E1(2%)	5.29	19.39
	T2-E2(2%)	5.29	19.64
	T2-E3(2%)	5.29	19.87
	PROMEDIO	5.29	19.63
	T2-E1(4%)	5.29	22.19
	T2-E2(4%)	5.29	22.12
	T1-2E3(4%)	5.29	22.28
	PROMEDIO	5.29	22.20
	T2-E1 (6%)	5.29	24.37
	T2-E2 (6%)	5.29	24.17
T2-E3 (6%)	5.29	24.39	
PROMEDIO	5.29	24.31	
T3	T3-E1(2%)	5.29	19.40
	T3-E2(2%)	5.29	19.94
	T3-E3(2%)	5.29	19.76
	PROMEDIO	5.29	19.70
	T3-E1(4%)	5.29	21.70
	T3-E2(4%)	5.29	21.05
	T3-E3(4%)	5.29	21.37
	PROMEDIO	5.29	21.37
	T3-E1 (6%)	5.29	22.50
	T3-E2 (6%)	5.29	22.29
	T3-E3 (6%)	5.29	22.21
	PROMEDIO	5.29	22.33

En la Tabla 30 se puede apreciar que mediante el método ASTM D 2116/ISO 2010 se obtuvo el valor de la humedad gravimétrica inicial el cual fue 5.29%,

asimismo los valores post tratamiento, los cuales registran una variación significativa por presencia de microalgas *Chlorella vulgaris*.

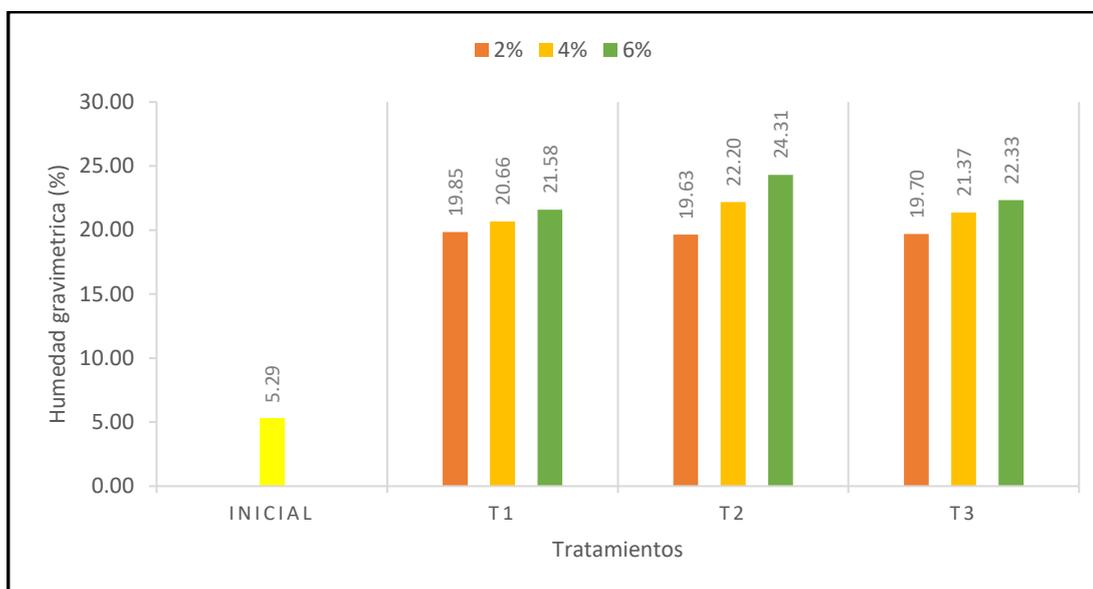


Figura 40: Humedad gravimétrica del suelo durante los tratamientos

En la Figura 40, se puede observar que al inicio el suelo agrícola tenía un nivel bajo humedad gravimétrica con el nivel de 5.29% así mismo los niveles de humedad gravimétrica fueron aumentando considerablemente en cada tratamiento siendo la más alta 24.1% en el tratamiento 2 con el 4% de microalgas.

- **Estadística inferencial de humedad gravimétrica**

Se realizó la estadística inferencial de los tratamientos en base a las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en la Tabla 31, Tabla 32 y Tabla 33 respectivamente.

Tabla 31: Prueba de normalidad de humedad gravimétrica

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Humedad gravimétrica	Inicial	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (2%)	,971	3	,672
	Tratamiento 1 al (4%)	,876	3	,312

	Tratamiento 1 al (6%)	,911	3	,421
	Tratamiento 2 al (2%)	,999	3	,954
	Tratamiento 2 al (4%)	,995	3	,862
	Tratamiento 2 al (6%)	,818	3	,157
	Tratamiento 3 al (2%)	,964	3	,637
	Tratamiento 3 al (4%)	1,000	3	,983
	Tratamiento 3 al (6%)	,937	3	,516

En la Tabla 31, se refleja los valores obtenidos de la prueba de normalidad donde se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son menores a 50 y nos indica que la significancia es **P valor** mayor de **0,05** entonces aceptamos la **H₀** Los datos proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis:**

H₀: Los datos de humedad gravimétrica proceden de una distribución normal.

H₁: Los datos de humedad gravimétrica no proceden de una distribución normal.

Tabla 32: Análisis de varianza de humedad gravimétrica

ANOVA					
Humedad gravimétrica					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3182,699	9	353,633	9504,566	,000
Dentro de grupos	,744	20	,037		
Total	3183,443	29			

En la Tabla 32, se presenta el análisis de varianzas respecto a la humedad gravimétrica donde indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** es menor a **0.05**, por consecuente, aceptamos la **H₁**: Las microalgas influirán en las

características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la humedad gravimétrica.

- **Prueba de hipótesis:**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la humedad gravimétrica.

H1: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la humedad gravimétrica.

Tabla 33: Prueba Tukey de humedad gravimétrica

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Humedad gravimétrica						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	35,47000*	,15749	,000	34,9123	36,0277
	Tratamiento 1 al (4%)	34,66000*	,15749	,000	34,1023	35,2177
	Tratamiento 1 al (6%)	33,73667*	,15749	,000	33,1790	34,2944
	Tratamiento 2 al (2%)	35,68667*	,15749	,000	35,1290	36,2444
	Tratamiento 2 al (4%)	33,12333*	,15749	,000	32,5656	33,6810
	Tratamiento 2 al (6%)	31,01000*	,15749	,000	30,4523	31,5677
	Tratamiento 3 al (2%)	35,62000*	,15749	,000	35,0623	36,1777
	Tratamiento 3 al (4%)	33,94667*	,15749	,000	33,3890	34,5044
	Tratamiento 3 al (6%)	32,98667*	,15749	,000	32,4290	33,5444

En la Tabla 33, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto a la humedad gravimétrica donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** es menor de **0.05**, por consecuente aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis:**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.4.6. Carbono orgánico total del suelo

En la tabla 34 y figura 41 se presenta los niveles iniciales y finales porcentaje del carbono orgánico total.

Tabla 34: Carbono orgánico total inicial y final de los tratamientos

CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT %)			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	0.98	0.89
	T1-E2(2%)	0.98	0.87
	T1-E3(2%)	0.98	0.86
	PROMEDIO	0.98	0.87
	T1-E1(4%)	0.98	1.11
	T1-E2(4%)	0.98	1.03
	T1-E3(4%)	0.98	1.05
	PROMEDIO	0.98	1.06
	T1-E1 (6%)	0.98	1.53
	T1-E2 (6%)	0.98	1.47
	T1-E3 (6%)	0.98	1.54
	PROMEDIO	0.98	1.51
T2	T2-E1(2%)	0.98	1.10
	T2-E2(2%)	0.98	1.13
	T2-E3(2%)	0.98	1.14
	PROMEDIO	0.98	1.12
	T2-E1(4%)	0.98	2.03
	T2-E2(4%)	0.98	2.06
	T1-2E3(4%)	0.98	2.05
	PROMEDIO	0.98	2.05
	T2-E1 (6%)	0.98	2.39

	T2-E2 (6%)	0.98	2.35
	T2-E3 (6%)	0.98	2.33
	PROMEDIO	0.98	2.36
T3	T3-E1(2%)	0.98	2.12
	T3-E2(2%)	0.98	2.18
	T3-E3(2%)	0.98	2.15
	PROMEDIO	0.98	2.15
	T3-E1(4%)	0.98	2.45
	T3-E2(4%)	0.98	2.44
	T3-E3(4%)	0.98	2.48
	PROMEDIO	0.98	2.46
	T3-E1 (6%)	0.98	2.60
	T3-E2 (6%)	0.98	2.64
	T3-E3 (6%)	0.98	2.98
	PROMEDIO	0.98	2.74

En la Tabla 34, se aprecian los valores del carbono orgánico total hallado mediante el método Walkley-Black, el cual nos indica que el valor inicial 0.98% es bajo debido tiene relación con el uso indiscriminado de los agroquímicos ya que estos eliminan la materia orgánica, sin embargo, este parámetro se fue incrementando debido al tratamiento con las distintas dosis de microalga y el mayor valor obtenido fue 2.74%

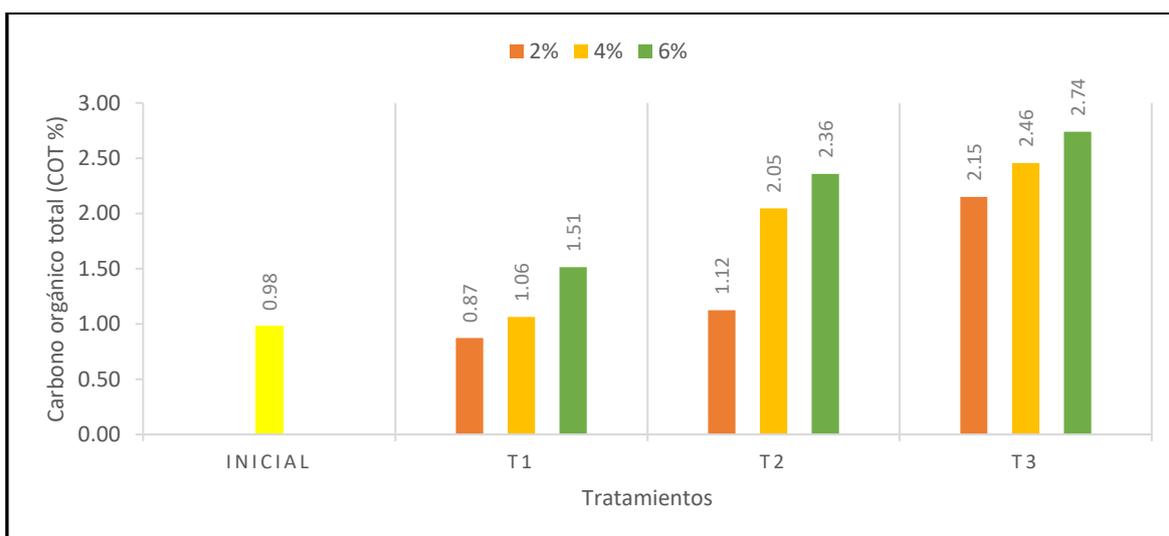


Figura 41: Carbono orgánico total del suelo durante los tratamientos

En la Figura 41, se presenta los niveles de carbono orgánico total inicial y durante los 3 tratamientos asimismo el nivel de COT inicial fue de 0.89% asimismo en el primer tratamiento el nivel del COT aumento ligeramente en 0.87%, 1.06 y 1.51% con el 2%, 4% y 6% de dosis; en el tratamiento dos los niveles de COT siguieron aumentando en las dosis de 2%, 4% y 6% en 1.12%, 2.05% y 2.36% respectivamente sin embargo en el tercer tratamiento los niveles de COT aumentaron notablemente como 2.15%, 2.46% y 2.74% en las dosis de 2%, 4% y 6% respectivamente.

- **Estadística inferencial de Carbono Orgánico Total (COT)**

El análisis estadístico del parámetro carbono orgánico total se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en las tablas 35, 36 y 37, respectivamente.

Tabla 35: Prueba de normalidad de carbono orgánico total

Pruebas de normalidad				
		Shapiro-Wilk		
	Tratamientos	Estadístico	gl	Sig.
COT	Inicial	,964	3	,637
	Tratamiento 1 al (2%)	,964	3	,637
	Tratamiento 1 al (4%)	,923	3	,463
	Tratamiento 1 al (6%)	,855	3	,253
	Tratamiento 2 al (2%)	,923	3	,463
	Tratamiento 2 al (4%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (6%)	,964	3	,637
	Tratamiento 3 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3 al (4%)	,923	3	,463
	Tratamiento 3 al (6%)	,828	3	,183

En la Tabla 35, se muestra la prueba de normalidad con respecto al COT donde el análisis se basó en Shapiro-Wilk debido a la cantidad menor de 50.

Asimismo, observamos que la significancia **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **H₀** Los datos proceden de una distribución normal

- **Hipótesis**

H₀: Los datos de carbono orgánico total proceden de una distribución normal

H₁: Los datos de carbono orgánico total no proceden de una distribución normal

Tabla 36: *Análisis de varianza de carbono orgánico total*

ANOVA					
COT					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13,196	9	1,466	292,266	,000
Dentro de grupos	,100	20	,005		
Total	13,296	29			

En la Tabla 36, se muestra el análisis de varianzas del carbono orgánico total en el cual indica que la significancia es **P valor** menor a **0.05**, por consecuente, aceptamos la **H₁**: Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al COT.

- **Prueba de hipótesis**

H₀: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al COT

H₁: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al COT.

Tabla 37: *Prueba Tukey de carbono orgánico total*

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: COT						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	,09000	,05783	,853	-,1148	,2948
	Tratamiento 1 al (4%)	-,10000	,05783	,768	-,3048	,1048
	Tratamiento 1 al (6%)	-,55000*	,05783	,000	-,7548	-,3452
	Tratamiento 2 al (2%)	-,16000	,05783	,213	-,3648	,0448
	Tratamiento 2 al (4%)	-1,08333*	,05783	,000	-1,2881	-,8785
	Tratamiento 2 al (6%)	-1,39333*	,05783	,000	-1,5981	-1,1885
	Tratamiento 3 al (2%)	-1,18667*	,05783	,000	-1,3915	-,9819
	Tratamiento 3 al (4%)	-1,49333*	,05783	,000	-1,6981	-1,2885
	Tratamiento 3 al (6%)	-1,77667*	,05783	,000	-1,9815	-1,5719

En la Tabla 37, se muestra que la significancia es 0 correspondiente a la prueba Tukey lo cual nos indica que **P valor** es menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis:**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.4.7. Materia orgánica del suelo

En la Tabla 38 y Figura 42 se presenta los porcentajes de materia orgánica inicial, así como en los tres tratamientos del suelo.

Tabla 38: *Materia orgánica inicial y final de los tratamientos*

MATERIA ORGÁNICA %			
TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	1.67	1.20
	T1-E2(2%)	1.67	1.30
	T1-E3(2%)	1.67	1.20
	PROMEDIO	1.67	1.23
	T1-E1(4%)	1.67	1.30
	T1-E2(4%)	1.67	1.30
	T1-E3(4%)	1.67	1.30
	PROMEDIO	1.67	1.30
	T1-E1 (6%)	1.67	1.40
	T1-E2 (6%)	1.67	1.50
	T1-E3 (6%)	1.67	1.40
	PROMEDIO	1.67	1.43
T2	T2-E1(2%)	1.67	1.90
	T2-E2(2%)	1.67	1.90
	T2-E3(2%)	1.67	2.00
	PROMEDIO	1.67	1.93
	T2-E1(4%)	1.67	3.50
	T2-E2(4%)	1.67	3.50
	T1-2E3(4%)	1.67	3.50
	PROMEDIO	1.67	3.50
	T2-E1 (6%)	1.67	4.10
	T2-E2 (6%)	1.67	4.00
	T2-E3 (6%)	1.67	4.00
	PROMEDIO	1.67	4.03
T3	T3-E1(2%)	1.67	3.60
	T3-E2(2%)	1.67	3.70
	T3-E3(2%)	1.67	3.70
	PROMEDIO	1.67	3.67
	T3-E1(4%)	1.67	4.20
	T3-E2(4%)	1.67	4.20
	T3-E3(4%)	1.67	4.30
	PROMEDIO	1.67	4.23
	T3-E1 (6%)	1.67	4.50
	T3-E2 (6%)	1.67	4.50
	T3-E3 (6%)	1.67	5.10
	PROMEDIO	1.67	4.70

En la Tabla 38, se observa el valor inicial de materia orgánica el cual fue 1.67% y nos indica que el nivel es bajo debido a la presencia de metales pesados en el suelo como el plomo, pero este fue incrementado por la remediación con microalga *Chlorella vulgaris*.

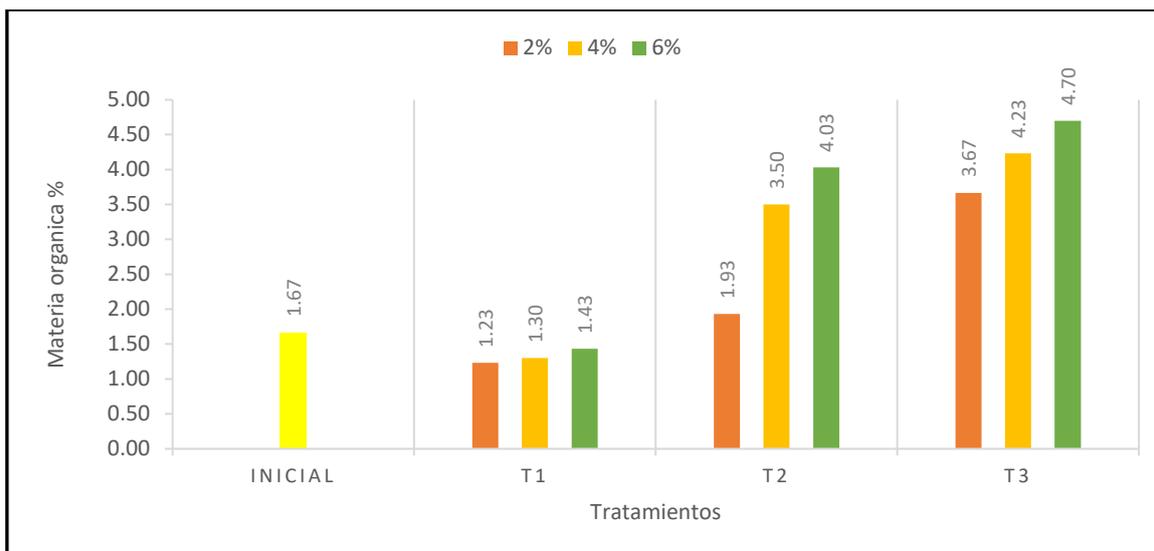


Figura 42: *Materia orgánica del suelo durante los tratamientos*

En la Figura 42, se muestra los niveles de materia orgánica del suelo asimismo el nivel de carbono orgánico en el suelo contaminado fue de 1.67% sin embargo en cada tratamiento los niveles de materia orgánica siendo en el tercer tratamiento con más altos niveles de carbono orgánico en 2%, 4% y 6% de las dosis de microalgas en 3.67%, 4.23% y 4.70% respectivamente.

- **Estadística inferencial de materia orgánica**

La estadística inferencial se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en las Tablas 39, 40 y 41, respectivamente.

Tabla 39: *Prueba de normalidad de materia orgánica de los tratamientos*

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Materia orgánica	Inicial	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (2%)	,750	3	,000
	Tratamiento 1 al (4%)	.	3	.
	Tratamiento 1 al (6%)	,750	3	,000
	Tratamiento 2 al (2%)	,750	3	,000

	Tratamiento 2 al (4%)	.	3	.
	Tratamiento 2 al (6%)	,750	3	,000
	Tratamiento 3 al (2%)	,750	3	,000
	Tratamiento 3 al (4%)	,750	3	,000
	Tratamiento 3 al (6%)	,750	3	,000

En la Tabla 39 se muestra la prueba de normalidad del parámetro materia orgánica, donde se trabajó en base al estadístico de Shapiro-Wilk debido a la cantidad de muestras y asimismo indica que la significancia es **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **Ho**: Los datos proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

Ho: Los datos de materia orgánica proceden de una distribución normal

H1: Los datos de materia orgánica no proceden de una distribución normal

Tabla 40: *Análisis de varianza de materia orgánica*

ANOVA					
Materia orgánica					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	51,323	9	5,703	402,720	,000
Dentro de grupos	,283	20	,014		
Total	51,606	29			

En la Tabla 40, el análisis de varianzas nos indica que la significancia es 0, entonces, **P valor** menor de **0.05** y aceptamos la **H1**: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la materia orgánica.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la materia orgánica

H1: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la materia orgánica.

Tabla 41: Prueba Tukey de materia orgánica

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Materia orgánica						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	,39667*	,09716	,000	,0526	,7407
	Tratamiento 1 al (4%)	,33000	,09716	,000	-,0141	,6741
	Tratamiento 1 al (6%)	,19667	,09716	,000	-,1474	,5407
	Tratamiento 2 al (2%)	-,30333	,09716	,000	-,6474	,0407
	Tratamiento 2 al (4%)	-1,87000*	,09716	,000	-2,2141	-1,5259
	Tratamiento 2 al (6%)	-2,40333*	,09716	,000	-2,7474	-2,0593
	Tratamiento 3 al (2%)	-2,03667*	,09716	,000	-2,3807	-1,6926
	Tratamiento 3 al (4%)	-2,60333*	,09716	,000	-2,9474	-2,2593
	Tratamiento 3 al (6%)	-3,07000*	,09716	,000	-3,4141	-2,7259

En la Tabla 41, se observa la prueba de Tukey de materia orgánica donde la significancia es **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Interpretación**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.8. Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

En la Tabla 42 y Figura 43, se presentan los porcentajes de la capacidad de intercambio catiónico del suelo agrícola contaminado por agroquímicos que fue medido al inicio y fin de los 3 tratamientos con dosis al 2 %, 4 % y 6 % de microalga *Chlorella vulgaris*.

Tabla 42: Capacidad de intercambio catiónico inicial y final de los tratamientos

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	16	20.48
	T1-E2(2%)	16	20.26
	T1-E3(2%)	16	20.39
	PROMEDIO	16	20.38
	T1-E1(4%)	16	33.18
	T1-E2(4%)	16	33.51
	T1-E3(4%)	16	33.31
	PROMEDIO	16	33.33
	T1-E1 (6%)	16	34.5
	T1-E2 (6%)	16	34.73
	T1-E3 (6%)	16	34.85
PROMEDIO	16	34.69	
T2	T2-E1(2%)	16	21.53
	T2-E2(2%)	16	21.74
	T2-E3(2%)	16	21.94
	PROMEDIO	16	21.74
	T2-E1(4%)	16	22.44
	T2-E2(4%)	16	22.56
	T1-2E3(4%)	16	22.58
	PROMEDIO	16	22.53
	T2-E1 (6%)	16	23.29
	T2-E2 (6%)	16	23.09
	T2-E3 (6%)	16	23.06
PROMEDIO	16	23.15	
T3	T3-E1(2%)	16	20.57
	T3-E2(2%)	16	20.88
	T3-E3(2%)	16	20.77
	PROMEDIO	16	20.74
	T3-E1(4%)	16	18.14

T3-E2(4%)	16	18.05
T3-E3(4%)	16	18.2
PROMEDIO	16	18.13
T3-E1 (6%)	16	19.34
T3-E2 (6%)	16	19.87
T3-E3 (6%)	16	19.98
PROMEDIO	16	19.73

En la tabla 42, se observa el valor del CIC inicial el cual fue bastante bajo, debido a que los agroquímicos afectan la movilidad impidiendo así la conservación de nutrientes razón y este valor fue incrementado debido a los riegos con microalgas, logrando el valor promedio mayor 19.73 meq/100g.

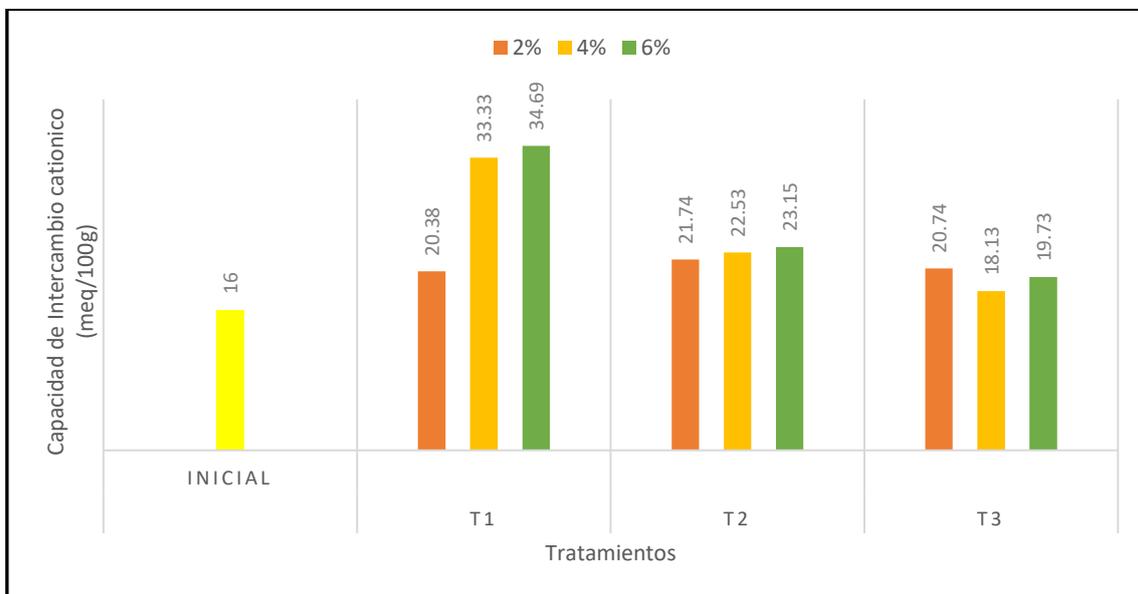


Figura 43: Capacidad de intercambio catiónico del suelo durante los tratamientos

En la Figura 43, se muestra el valor inicial de la Capacidad de Intercambio Catiónico que es 16 y valores finales del tratamiento con microalga, donde el tratamiento 1 obtuvo 20.38 para la dosis al 2%, 33.33 correspondiente a la dosis 4% y el valor 34.69 que corresponde a la dosis 6%. Seguidamente, el tratamiento dos al 2% de microalgas obtuvo 21.74, al 4% obtuvo 22.53 y al 6% obtuvo 23.15. Finalmente, en el tratamiento tres, los valores obtenidos fueron 20.74 correspondiente a la dosis 2%, 18.13 para la dosis 4% y 19.73 que corresponde a la dosis 6%. Evidenciando así que el valor inicial incrementó por los riegos con las microalgas *Chlorella vulgaris* y como mejor valor obtenido fue 34.69 que se

encuentra en el tratamiento 1 al 6% de microalga. Sin embargo, el menor valor obtenido durante del tratamiento fue 18.13 ubicado en el tratamiento 3 al 4% de microalga.

- **Estadística inferencial de CIC**

La estadística inferencial del CIC se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianza y Tukey, como se muestran en las Tabla 43, Tabla 44 y Tabla 45, respectivamente.

Tabla 43: Prueba de normalidad de la capacidad de intercambio catiónico

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
CIC	Inicial	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (2%)	,989	3	,800
	Tratamiento 1 al (4%)	,985	3	,767
	Tratamiento 1 al (6%)	,968	3	,657
	Tratamiento 2 al (2%)	1,000	3	,973
	Tratamiento 2 al (4%)	,855	3	,253
	Tratamiento 2 al (6%)	,846	3	,230
	Tratamiento 3 al (2%)	,973	3	,683
	Tratamiento 3 al (4%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (6%)	,874	3	,308

En la Tabla 43, se muestra los valores obtenidos de la prueba de normalidad en base a Shapiro-Wilk ya que se trabajó con 29 muestras, donde **P valor** mayor a **0.05** lo cual nos indica que aceptamos la **H₀**: Los datos del CIC proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

Ho: Los datos del CIC proceden de una distribución normal

H1: Los datos del CIC no proceden de una distribución normal

Tabla 44: Análisis de varianza de intercambio catiónico

ANOVA					
CIC					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1030,764	9	114,529	3552,400	,000
Dentro de grupos	,645	20	,032		
Total	1031,409	29			

En la Tabla 44, se observa el análisis de varianzas (ANOVA) donde la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H1** Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al CIC.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al CIC.

H1: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto al CIC.

Tabla 45: Prueba Tukey de la capacidad de intercambio catiónico

Comparaciones múltiples					
Variable dependiente: CIC					
HSD Tukey					
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos		Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%

		Diferencia de medias (I-J)			Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	-4,57667*	,14661	,000	-5,0958	-4,0575
	Tratamiento 1 al (4%)	-17,53333*	,14661	,000	-18,0525	-17,0142
	Tratamiento 1 al (6%)	-18,89333*	,14661	,000	-19,4125	-18,3742
	Tratamiento 2 al (2%)	-5,93667*	,14661	,000	-6,4558	-5,4175
	Tratamiento 2 al (4%)	-6,72667*	,14661	,000	-7,2458	-6,2075
	Tratamiento 2 al (6%)	-7,34667*	,14661	,000	-7,8658	-6,8275
	Tratamiento 3 al (2%)	-4,94000*	,14661	,000	-5,4591	-4,4209
	Tratamiento 3 al (4%)	-2,33000*	,14661	,000	-2,8491	-1,8109
	Tratamiento 3 al (6%)	-3,93000*	,14661	,000	-4,4491	-3,4109

En la Tabla 45, se observa la prueba de Tukey el cual nos indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.9. Relación carbono – nitrógeno del suelo

En la Tabla 46 y Figura 44, los valores de la relación carbono y nitrógeno se muestran en porcentajes.

Tabla 46: Relación carbono - nitrógeno de los tratamientos

RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	12.25	13.74
	T1-E2(2%)	12.25	12.24
	T1-E3(2%)	12.25	13.22
	PROMEDIO	12.25	13.07
	T1-E1(4%)	12.25	16.26
	T1-E2(4%)	12.25	14.40

	T1-E3(4%)	12.25	14.61
	PROMEDIO	12.25	15.09
	T1-E1 (6%)	12.25	20.18
	T1-E2 (6%)	12.25	18.69
	T1-E3 (6%)	12.25	20.38
	PROMEDIO	12.25	19.75
T2	T2-E1(2%)	12.25	10.84
	T2-E2(2%)	12.25	10.85
	T2-E3(2%)	12.25	10.48
	PROMEDIO	12.25	10.72
	T2-E1(4%)	12.25	6.19
	T2-E2(4%)	12.25	6.17
	T1-2E3(4%)	12.25	11.02
	PROMEDIO	12.25	7.79
	T2-E1 (6%)	12.25	9.70
	T2-E2 (6%)	12.25	9.84
	T2-E3 (6%)	12.25	11.51
	PROMEDIO	12.25	10.35
T3	T3-E1(2%)	12.25	11.17
	T3-E2(2%)	12.25	11.19
	T3-E3(2%)	12.25	11.18
	PROMEDIO	12.25	11.18
	T3-E1(4%)	12.25	11.28
	T3-E2(4%)	12.25	11.28
	T3-E3(4%)	12.25	11.29
	PROMEDIO	12.25	11.28
	T3-E1 (6%)	12.25	11.33
	T3-E2 (6%)	12.25	11.34
	T3-E3 (6%)	12.25	11.46
	PROMEDIO	12.25	11.38

En la Tabla 46, se observa el valor inicial de la relación carbono – nitrógeno 12.25 C/N el cual se incrementó ligeramente.

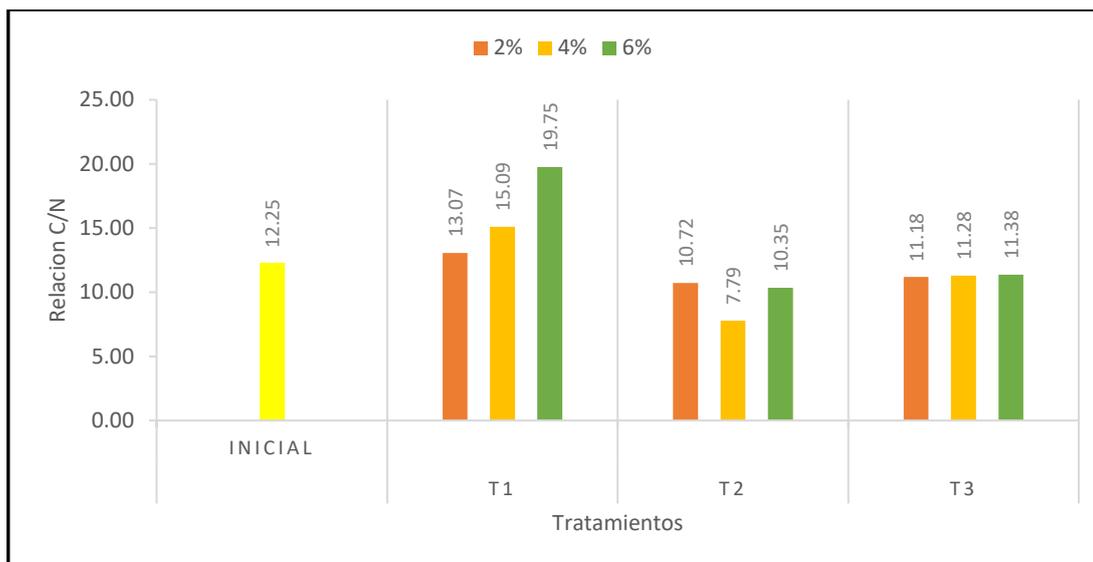


Figura 44: Relación carbono/nitrógeno del suelo durante los tratamientos

En la Figura 44, se refleja el comportamiento de la relación carbono nitrógeno donde el valor inicial presentado fue 12.25, el cual evidencia ser bajo. Posterior al tratamiento con las microalgas *Chlorella vulgaris*, los valores incrementaron en el tratamiento uno, donde los valores obtenidos fueron 13.07, 15.09 y 19.75 para las dosis de microalga al 2%, 4% y 6% respectivamente. Sin embargo, en el tratamiento dos, los valores decrecieron siendo 10.72, 7.79 y 10.35 de dosis de microalga al 2%, 4% y 6%. Con respecto al tratamiento tres, los valores obtenidos fueron 11.18, 11.28 y 11.38 correspondientes a las dosis de microalga 2%, 4% y 6%.

- **Estadística inferencial de relación carbono – nitrógeno**

La estadística inferencial se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en las Tablas 59, 60 y 61, respectivamente.

Tabla 47: Prueba de normalidad de la relación carbono/nitrógeno

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Relación C/N	Inicial	,964	3	,637
	Tratamiento 1 al (2%)	,970	3	,665

	Tratamiento 1 al (4%)	,833	3	,197
	Tratamiento 1 al (6%)	,837	3	,207
	Tratamiento 2 al (2%)	,770	3	,045
	Tratamiento 2 al (4%)	,753	3	,007
	Tratamiento 2 al (6%)	,808	3	,133
	Tratamiento 3 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3 al (4%)	,750	3	,000
	Tratamiento 3 al (6%)	,807	3	,132

En la Tabla 47, se muestra la prueba de normalidad del parámetro materia orgánica, donde se trabajó en base al estadístico de Shapiro-Wilk debido a la cantidad de muestras y asimismo indica que la significancia es **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **H₀**: Los datos de la relación carbono - nitrógeno proceden de una distribución normal.

- **Interpretación**

H₀: Los datos de la relación carbono - nitrógeno proceden de una distribución normal

H₁: Los datos de la relación carbono - nitrógeno no proceden de una distribución normal

Tabla 48: *Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno*

ANOVA					
Relación C/N					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	280,852	9	31,206	27,509	,000
Dentro de grupos	22,688	20	1,134		
Total	303,540	29			

En la Tabla 48, el análisis de varianzas nos indica que la significancia es 0, entonces, **P valor** menor de **0.05** y por consecuente aceptamos la **H1**: Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la relación carbón /nitrógeno.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: Las microalgas no influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la relación carbón /nitrógeno.

H1: Las microalgas influirán en las características físico-químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la relación carbón /nitrógeno.

Tabla 49: Prueba Tukey de la relación carbono/nitrógeno

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Relación C/N						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	-,85000	,86964	,000	3,9295	2,2295
	Tratamiento 1 al (4%)	-2,87333	,86964	,000	5,9528	,2061
	Tratamiento 1 al (6%)	-7,53333*	,86964	,000	10,6128	-4,4539
	Tratamiento 2 al (2%)	1,49333	,86964	,000	1,5861	4,5728
	Tratamiento 2 al (4%)	4,42333*	,86964	,000	1,3439	7,5028
	Tratamiento 2 al (6%)	1,86667	,86964	,000	1,2128	4,9461
	Tratamiento 3 al (2%)	1,03667	,86964	,000	2,0428	4,1161
	Tratamiento 3 al (4%)	,93333	,86964	,000	2,1461	4,0128

	Tratamiento 3 al (6%)	,84000	,86964	,000	2,2395	3,9195
--	-----------------------	--------	--------	------	--------	--------

En la tabla 49, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto a la relación carbono - nitrógeno donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** es menor de **0.05**, por consecuente aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Interpretación**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos

1.4.10. Densidad aparente de los tratamientos

En la Tabla 50 y Figura 45, se observan los resultados en porcentaje de la densidad aparente de los tres tratamientos utilizando la microalga *Chlorella vulgaris*.

Tabla 50: Densidad aparente de los tratamientos

DENSIDAD APARENTE DA (g/cm ³)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	2.51	0.53
	T1-E2(2%)	2.51	0.53
	T1-E3(2%)	2.51	0.53
	PROMEDIO	2.51	0.53
	T1-E1(4%)	2.51	0.56
	T1-E2(4%)	2.51	0.56
	T1-E3(4%)	2.51	0.57
	PROMEDIO	2.51	0.56
	T1-E1 (6%)	2.51	0.59
	T1-E2 (6%)	2.51	0.59
	T1-E3 (6%)	2.51	0.60
	PROMEDIO	2.51	0.59
T2	T2-E1(2%)	2.51	0.82
	T2-E2(2%)	2.51	0.81
	T2-E3(2%)	2.51	0.81
	PROMEDIO	2.51	0.81
	T2-E1(4%)	2.51	0.82
	T2-E2(4%)	2.51	0.89

	T1-2E3(4%)	2.51	0.89
	PROMEDIO	2.51	0.86
	T2-E1 (6%)	2.51	0.95
	T2-E2 (6%)	2.51	0.94
	T2-E3 (6%)	2.51	0.94
	PROMEDIO	2.51	0.94
T3	T3-E1(2%)	2.51	0.96
	T3-E2(2%)	2.51	0.96
	T3-E3(2%)	2.51	0.96
	PROMEDIO	2.51	0.96
	T3-E1(4%)	2.51	0.99
	T3-E2(4%)	2.51	0.99
	T3-E3(4%)	2.51	0.99
	PROMEDIO	2.51	0.99
	T3-E1 (6%)	2.51	1.02
	T3-E2 (6%)	2.51	1.21
	T3-E3 (6%)	2.51	1.23
	PROMEDIO	2.51	1.15

En la Tabla 50, se aprecia el valor inicial de densidad aparente 2.51 g/cm³ el cual fue alto ya que se encuentra contaminado por plomo y los valores finales fueron disminuyendo a medida que se realizaban los riegos.

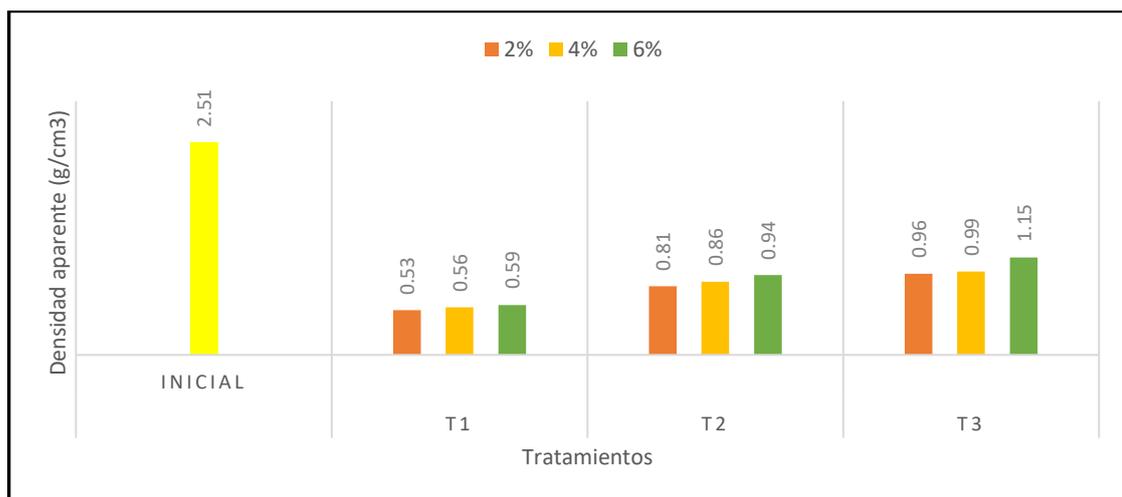


Figura 45: Densidad aparente del suelo durante los tratamientos

Como se observa en la Figura 45, el valor inicial de la densidad aparente fue 2.51 g/cm³ evidenciando ser un valor alto debido a la presencia del contaminante,

sin embargo, este valor decreció a medida que se fue regando el suelo con las distintas dosis de microalga *Chlorella vulgaris*. En el tratamiento uno, se obtuvo los menores valores que fueron 0.53, 0.56, 0.59 correspondientes a la dosis de microalga al 2%, 4% y 6% respectivamente. En el tratamiento dos, los valores oscilan entre 0.81, 0.86 y 0.94 correspondientes a las dosis empleadas al 2%, 4% y 6% de microalga respectivamente. Finalmente, en el tratamiento tres, se presentan los valores que menos reducción obtuvieron ya que fueron 0.96, 0.99 y 1.15 respecto a las dosis 2%, 4% y 6%.

- **Estadística inferencial de la densidad aparente**

Se realizó la estadística inferencial de los tratamientos en base a las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en las Tablas 51, 52 y 53 respectivamente.

Tabla 51: Prueba de normalidad de la densidad aparente

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Densidad aparente	Inicial	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (6%)	,997	3	,900
	Tratamiento 2 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 2 al (4%)	,770	3	,045
	Tratamiento 2 al (6%)	,953	3	,583
	Tratamiento 3 al (2%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (4%)	,923	3	,463
	Tratamiento 3 al (6%)	,821	3	,165

En la Tabla 51, se refleja los valores obtenidos de la prueba de normalidad donde se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son

menores a 50 y nos indica que la significancia es **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **H₀** Los datos proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis:**

H₀: Los datos de la densidad aparente proceden de una distribución normal.

H₁: Los datos de la densidad aparente no proceden de una distribución normal.

Tabla 52: *Análisis de varianza de la densidad aparente*

ANOVA					
Densidad aparente					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,830	9	,981	620,093	,000
Dentro de grupos	,032	20	,002		
Total	8,862	29			

En la Tabla 64, se presenta el análisis de varianzas respecto a la humedad gravimétrica donde indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0,05** entonces aceptamos la **H₁**: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la densidad aparente.

- **Prueba de hipótesis:**

H₀: Las microalgas no influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la densidad aparente.

H₁: Las microalgas influirán en las características físicas y químicas del suelo agrícola contaminado por el uso de agroquímicos, con respecto a la densidad aparente.

Tabla 53: Prueba Tukey de la densidad aparente

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Densidad aparente						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	1,98200*	,03248	,000	1,8670	2,0970
	Tratamiento 1 al (4%)	1,94800*	,03248	,000	1,8330	2,0630
	Tratamiento 1 al (6%)	1,91967*	,03248	,000	1,8047	2,0347
	Tratamiento 2 al (2%)	1,69600*	,03248	,000	1,5810	1,8110
	Tratamiento 2 al (4%)	1,64633*	,03248	,000	1,5313	1,7613
	Tratamiento 2 al (6%)	1,56633*	,03248	,000	1,4513	1,6813
	Tratamiento 3 al (2%)	1,54867*	,03248	,000	1,4337	1,6637
	Tratamiento 3 al (4%)	1,52267*	,03248	,000	1,4077	1,6377
	Tratamiento 3 al (6%)	1,35667*	,03248	,000	1,2417	1,4717

En la Tabla 53, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto a la densidad aparente donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**, Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis:**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.5. Micronutrientes del suelo

1.5.1. Concentración de nitrógeno en el suelo

En la Tabla 54 y Figura 46, se presentan las concentraciones del parámetro Nitrógeno del suelo agrícola contaminado por agroquímicos en porcentaje que fue medido al inicio y fin de los 3 tratamientos con dosis al 2 %, 4 % y 6 % de microalga *Chlorella vulgaris*.

Tabla 54: Nitrógeno inicial y final de los tratamientos

NITRÓGENO (%)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	0.08	0.07
	T1-E2(2%)	0.08	0.07
	T1-E3(2%)	0.08	0.07
	PROMEDIO	0.08	0.07
	T1-E1(4%)	0.08	0.07
	T1-E2(4%)	0.08	0.07
	T1-E3(4%)	0.08	0.07
	PROMEDIO	0.08	0.07
	T1-E1 (6%)	0.08	0.08
	T1-E2 (6%)	0.08	0.08
	T1-E3 (6%)	0.08	0.08
	PROMEDIO	0.08	0.08
T2	T2-E1(2%)	0.08	0.10
	T2-E2(2%)	0.08	0.10
	T2-E3(2%)	0.08	0.11
	PROMEDIO	0.08	0.10
	T2-E1(4%)	0.08	0.18
	T2-E2(4%)	0.08	0.19
	T1-2E3(4%)	0.08	0.18
	PROMEDIO	0.08	0.18
	T2-E1 (6%)	0.08	0.21
	T2-E2 (6%)	0.08	0.21
	T2-E3 (6%)	0.08	0.21
	PROMEDIO	0.08	0.21
T3	T3-E1(2%)	0.08	0.19
	T3-E2(2%)	0.08	0.20
	T3-E3(2%)	0.08	0.19
	PROMEDIO	0.08	0.19
	T3-E1(4%)	0.08	0.22
	T3-E2(4%)	0.08	0.22
	T3-E3(4%)	0.08	0.22
	PROMEDIO	0.08	0.22
	T3-E1 (6%)	0.08	0.23
	T3-E2 (6%)	0.08	0.23
	T3-E3 (6%)	0.08	0.26
	PROMEDIO	0.08	0.24

En la Tabla 54, se observa el valor inicial del parámetro nitrógeno 0.08 % el cual fue incrementado debido a los riegos con microalga en sus distintas dosis, obteniendo como mayor valor final 0.24%.

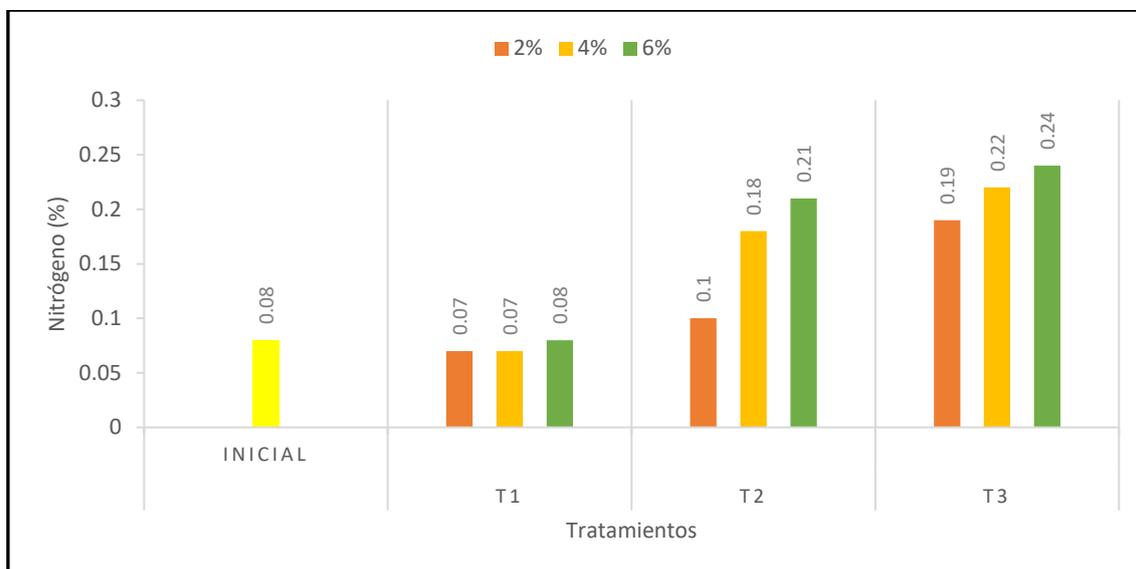


Figura 46: Nitrógeno del suelo durante los tratamientos

Como se observa en la Figura 46, el valor inicial del parámetro nitrógeno fue 0.08 ppm y este sufrió variación a medida que se fue regando el suelo con las microalgas. En el tratamiento 1, se obtuvo 0.07 correspondiente al riego con 2% y 4% de microalga, asimismo para la dosis al 6% se obtuvo 0.08. En el tratamiento 2, los valores obtenidos fueron 0.1 para la dosis al 2% de microalga, 0.18 para la dosis al 4% y 0.21 correspondiente a la dosis al 6% de microalga *Chlorella vulgaris*. Finalmente, en el tratamiento 3, los valores fueron mayores a diferencia de los demás, se obtuvo 0.19 para el riego al 2% de microalga, 0.22 para la dosis al 4% y 0.24 correspondiente a la dosis al 6% siendo este el valor superior a todos.

- **Estadística inferencial de nitrógeno**

La estadística inferencial de nitrógeno se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianza y Tukey, como se muestran en las tablas 55, 56 y 57, respectivamente.

Tabla 55: Prueba de normalidad de nitrógeno

Pruebas de normalidad	
Tratamientos	Shapiro-Wilk

		Estadístico	gl	Sig.
Nitrógeno	Inicial	1,000	3	1,000
	Tratamiento 1 al (2%)	,750	3	,000
	Tratamiento 1 al (4%)	,750	3	,000
	Tratamiento 1 al (6%)	,923	3	,463
	Tratamiento 2 al (2%)	,923	3	,463
	Tratamiento 2 al (4%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (6%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (2%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (4%)	,923	3	,463
	Tratamiento 3 al (6%)	,845	3	,227

En la Tabla 55, se observa la prueba de normalidad de Nitrógeno el cual se basó en el estadístico se Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras es menor a 50, donde nos indica que la significancia **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **Ho**: Los datos de Nitrógeno proceden de una distribución normal.

- **Interpretación**

Ho: Los datos de nitrógeno proceden de una distribución normal.

H1: Los datos de nitrógeno no proceden de una distribución normal.

Tabla 56: *Análisis de varianza de nitrógeno*

ANOVA					
Nitrógeno					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,138	9	,015	356,439	,000
Dentro de grupos	,001	20	,000		
Total	,139	29			

En la Tabla 56, se presenta el análisis de varianzas respecto a nitrógeno donde indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado no influirá para mejorar la calidad del suelo.

H1: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

Tabla 57: Prueba Tukey de nitrógeno

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente:Nitrógeno						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	,00300	,00535	1,000	-,0160	,0220
	Tratamiento 1 al (4%)	-,00067	,00535	1,000	-,0196	,0183
	Tratamiento 1 al (6%)	-,00667	,00535	,955	-,0256	,0123
	Tratamiento 2 al (2%)	-,03333 [*]	,00535	,000	-,0523	-,0144
	Tratamiento 2 al (4%)	-,11367 [*]	,00535	,000	-,1326	-,0947
	Tratamiento 2 al (6%)	-,13933 [*]	,00535	,000	-,1583	-,1204
	Tratamiento 3 al (2%)	-,12267 [*]	,00535	,000	-,1416	-,1037
	Tratamiento 3 al (4%)	-,14767 [*]	,00535	,000	-,1666	-,1287
	Tratamiento 3 al (6%)	-,17067 [*]	,00535	,000	-,1896	-,1517

En la Tabla 57, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto a nitrógeno donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis:**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.5.2. Concentración de Fósforo del suelo

En la Tabla 58 y Figura 47, se presentan las concentraciones de fósforo en porcentaje.

Tabla 58: Fósforo inicial y final de los tratamientos

FÓSFORO P (ppm)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	10.4	6.98
	T1-E2(2%)	10.4	6.84
	T1-E3(2%)	10.4	6.89
	PROMEDIO	10.4	6.90
	T1-E1(4%)	10.4	7.07
	T1-E2(4%)	10.4	7.13
	T1-E3(4%)	10.4	7.27
	PROMEDIO	10.4	7.16
	T1-E1 (6%)	10.4	8.29
	T1-E2 (6%)	10.4	8.23
	T1-E3 (6%)	10.4	8.32
	PROMEDIO	10.4	8.28
T2	T2-E1(2%)	10.4	30.86
	T2-E2(2%)	10.4	30.66
	T2-E3(2%)	10.4	30.56
	PROMEDIO	10.4	30.69
	T2-E1(4%)	10.4	31.58
	T2-E2(4%)	10.4	31.78
	T1-2E3(4%)	10.4	31.47
	PROMEDIO	10.4	31.61
	T2-E1 (6%)	10.4	33.03
	T2-E2 (6%)	10.4	33.24
	T2-E3 (6%)	10.4	33.13
	PROMEDIO	10.4	33.13
T3	T3-E1(2%)	10.4	48.23
	T3-E2(2%)	10.4	48.49
	T3-E3(2%)	10.4	48.36
	PROMEDIO	10.4	48.36

T3-E1(4%)	10.4	50
T3-E2(4%)	10.4	50.14
T3-E3(4%)	10.4	50.28
PROMEDIO	10.4	50.14
T3-E1 (6%)	10.4	52.12
T3-E2 (6%)	10.4	52.25
T3-E3 (6%)	10.4	52.11
PROMEDIO	10.4	52.16

La Tabla 58, nos muestra la variación del valor inicial y el valor final de la medición del fósforo, al principio de la experimentación este fue bajo y se fue incrementando debido a los riegos con microalga.

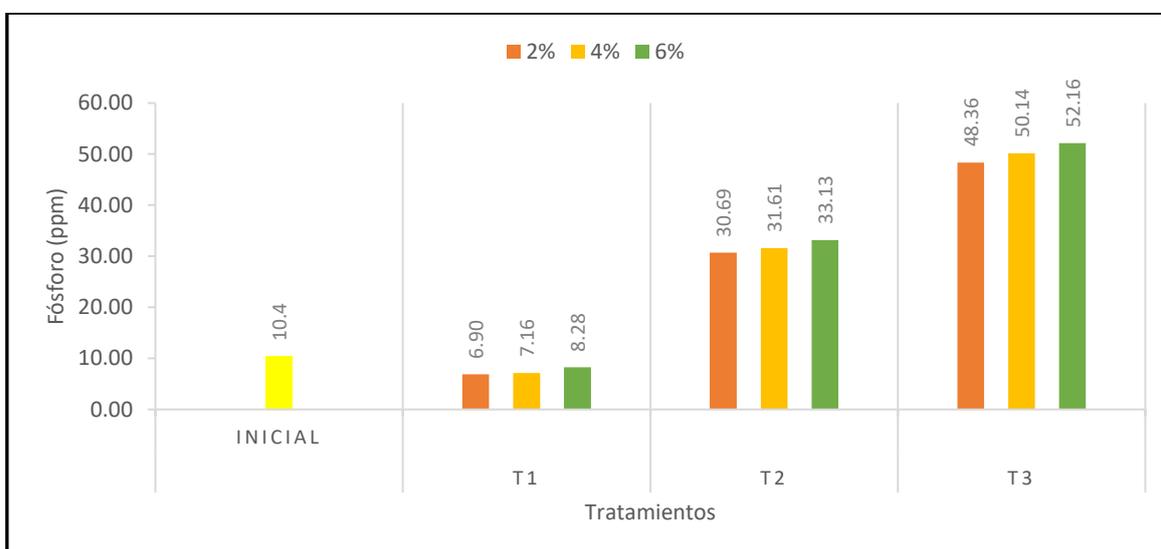


Figura 47: Fósforo del suelo durante los tratamientos

Como se observa en la Figura 47, el valor inicial de la concentración de fósforo existente en el suelo agrícola fue 6.9 ppm y éste sufrió variación al someterlo en los tratamientos con la microalga *Chlorella vulgaris*. En el tratamiento uno, los valores obtenidos fueron 6.9 ppm, 7.16 ppm y 8.28 correspondientes a las dosis 2%, 4% y 6% respectivamente. En el tratamiento dos, los valores incrementaron a 30.69 ppm, 31.61 ppm y 33.13 ppm para las dosis al 2%, 4% y 6%. En el tratamiento tres, los valores obtenidos para la dosis al 2% fue 48.63 ppm, para la dosis al 4% fue 50.14 ppm y para la dosis de microalga al 6% fue 52.16 ppm, el cual presentó mayor concentración de fósforo.

- **Estadística inferencial de fósforo**

La estadística inferencial de fósforo se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianza y Tukey, como se muestran en las Tablas 59, 60 y 61, respectivamente.

Tabla 59: Prueba de normalidad de fósforo

Pruebas de normalidad				
		Shapiro-Wilk		
	Tratamientos	Estadístico	gl	Sig.
Fósforo	Inicial	,923	3	,463
	Tratamiento 1 al (2%)	,974	3	,688
	Tratamiento 1 al (4%)	,949	3	,567
	Tratamiento 1 al (6%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (2%)	,964	3	,637
	Tratamiento 2 al (4%)	,973	3	,683
	Tratamiento 2 al (6%)	,999	3	,948
	Tratamiento 3 al (2%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 3 al (6%)	,803	3	,122

En la Tabla 59, se refleja los valores obtenidos de la prueba de normalidad donde se trabajó en base a Shapiro-Wilk debido que la cantidad de muestras son menores a 50 y nos indica que la significancia es **P valor** mayor de **0.05** entonces aceptamos la **H₀**: Los datos de fósforo proceden de una distribución normal.

- **Interpretación**

H₀: Los datos de fósforo proceden de una distribución normal.

H₁: Los datos de fósforo no proceden de una distribución normal.

Tabla 60: Análisis de varianza de fósforo

ANOVA					
Fósforo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9340,956	9	1037,884	86658,838	,000
Dentro de grupos	,240	20	,012		
Total	9341,196	29			

En la Tabla 60, se presenta el análisis de varianzas respecto a fósforo donde indica que la significancia es 0, por lo tanto, **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado no influirá para mejorar la calidad del suelo.

H1: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

Tabla 61: Prueba Tukey de fósforo

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Fósforo						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	3,48000*	,08936	,000	3,1636	3,7964
	Tratamiento 1 al (4%)	3,22667*	,08936	,000	2,9102	3,5431

	Tratamiento 1 al (6%)	2,10333*	,08936	,000	1,7869	2,4198
	Tratamiento 2 al (2%)	-20,31000*	,08936	,000	-20,6264	-19,9936
	Tratamiento 2 al (4%)	-21,22667*	,08936	,000	-21,5431	-20,9102
	Tratamiento 2 al (6%)	-22,75000*	,08936	,000	-23,0664	-22,4336
	Tratamiento 3 al (2%)	-37,97667*	,08936	,000	-38,2931	-37,6602
	Tratamiento 3 al (4%)	-39,75667*	,08936	,000	-40,0731	-39,4402
	Tratamiento 3 al (6%)	-41,77667*	,08936	,000	-42,0931	-41,4602

En la tabla 61, se muestran los resultados obtenidos de la prueba Tukey respecto a fósforo donde la significancia es 0. Entonces, **P valor** es menor de **0.05**, por consecuente aceptamos la **H1**: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Interpretación**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.5.3. Concentración de potasio del suelo

En la Tabla 62 y Figura 48, se presentan las concentraciones en porcentajes de potasio existente en el suelo agrícola contaminado por agroquímicos.

Tabla 62: Potasio inicial y final de los tratamientos

POTASIO K (ppm)			
TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN	INICIAL	FINAL
T1	T1-E1(2%)	45.58	6.32
	T1-E2(2%)	45.58	6.33
	T1-E3(2%)	45.58	6.30
	PROMEDIO	45.58	6.32
	T1-E1(4%)	45.58	6.68
	T1-E2(4%)	45.58	6.75
	T1-E3(4%)	45.58	6.80
	PROMEDIO	45.58	6.74
	T1-E1 (6%)	45.58	6.94
	T1-E2 (6%)	45.58	6.98
	T1-E3 (6%)	45.58	6.97

	PROMEDIO	45.58	6.96
T2	T2-E1(2%)	45.58	45.25
	T2-E2(2%)	45.58	45.32
	T2-E3(2%)	45.58	45.31
	PROMEDIO	45.58	45.29
	T2-E1(4%)	45.58	46.23
	T2-E2(4%)	45.58	46.31
	T1-2E3(4%)	45.58	46.39
	PROMEDIO	45.58	46.31
	T2-E1 (6%)	45.58	48.58
	T2-E2 (6%)	45.58	48.60
	T2-E3 (6%)	45.58	48.63
	PROMEDIO	45.58	48.60
T3	T3-E1(2%)	45.58	82.23
	T3-E2(2%)	45.58	82.31
	T3-E3(2%)	45.58	82.29
	PROMEDIO	45.58	82.28
	T3-E1(4%)	45.58	84.12
	T3-E2(4%)	45.58	84.14
	T3-E3(4%)	45.58	84.16
	PROMEDIO	45.58	84.14
	T3-E1 (6%)	45.58	86.34
	T3-E2 (6%)	45.58	86.38
	T3-E3 (6%)	45.58	86.41
	PROMEDIO	45.58	86.38

En la Tabla 62, se observa el incremento del potasio logrando obtener 86.38 ppm de concentración ya que su valor inicial fue 45.58 ppm evidenciando así que las microalgas benefician las propiedades del suelo.

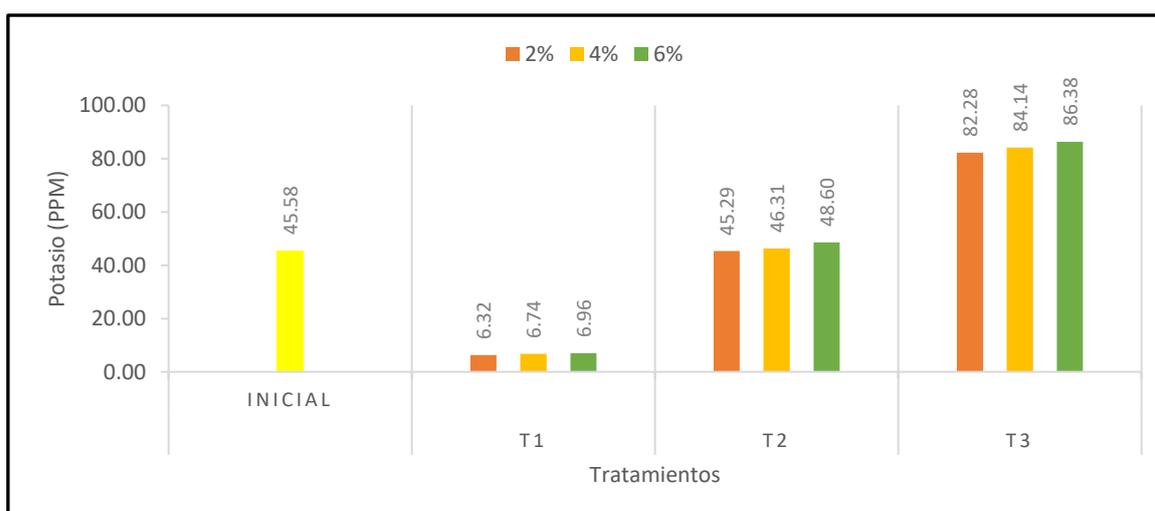


Figura 48: Potasio del suelo durante los tratamientos

En la Figura 48, se muestran los valores obtenidos de la concentración de potasio presente en la muestra de suelo inicial y posterior a los tres tratamientos. Al inicio la concentración de K existente en el suelo fue 45.58 ppm sin embargo este disminuyó en el primer tratamiento siendo los valores 6.23 ppm para el riego de microalgas al 2%, 6.74 ppm para la dosis al 4% y 6.96 ppm correspondiente a la dosis al 6.96 ppm. Sin embargo, en el tratamiento dos, los valores incrementaron significativamente siendo 45.29 ppm para el riego con 2% de microalga *Chlorella vulgaris*, 46.31 ppm correspondiente a la dosis 4% y 48.60 ppm para la dosis al 6% de microalga. Finalmente, en el tratamiento tres, los valores fueron 82.28 ppm, 84.14 ppm, 86.38 ppm para las dosis de microalga al 2%, 4% y 6% respectivamente, donde el mayor valor se encuentra en el tratamiento tres al 6% y el menor valor obtenido durante los tratamientos fue el primero al 2% de microalga.

- **Estadística inferencial de potasio**

El análisis estadístico de potasio se basó en las pruebas de normalidad, análisis de varianzas y prueba Tukey como se muestran en las tablas 63, 64 y 65, respectivamente.

Tabla 63: Prueba de normalidad de potasio

Pruebas de normalidad				
	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Potasio	Inicial	,893	3	,363
	Tratamiento 1 al (2%)	,964	3	,637
	Tratamiento 1 al (4%)	,991	3	,817
	Tratamiento 1 al (6%)	,923	3	,463
	Tratamiento 2 al (2%)	,855	3	,253
	Tratamiento 2 al (4%)	1,000	3	1,000
	Tratamiento 2 al (6%)	,987	3	,780
	Tratamiento 3 al (2%)	,923	3	,463
	Tratamiento 3 al (4%)	1,000	3	1,000

	Tratamiento 3 al (6%)	,993	3	,843
--	-----------------------	------	---	------

En la Tabla 63, se muestra la prueba de normalidad con respecto a potasio donde el análisis se basó en Shapiro-Wilk debido a la cantidad menor de 50. Asimismo, observamos que la significancia es **P valor** mayor de **0,05** entonces aceptamos la **H₀** Los datos de potasio proceden de una distribución normal.

- **Hipótesis**

H₀: Los datos de potasio proceden de una distribución normal.

H₁: Los datos de potasio no proceden de una distribución normal.

Tabla 64: *Análisis de varianza de potasio*

ANOVA					
Potasio					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	27144,034	9	3016,004	1592959,727	,000
Dentro de grupos	,038	20	,002		
Total	27144,072	29			

En la Tabla 64, se muestra el análisis de varianzas de potasio en el cual indica que la significancia es **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H₁**: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

- **Prueba de hipótesis**

H₀: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado no influirá para mejorar la calidad del suelo.

H₁: El mejor volumen de cepas de microalgas utilizadas en el tratamiento del suelo contaminado influirá para mejorar la calidad del suelo.

Tabla 65: Prueba Tukey de potasio

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Potasio						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Inicial	Tratamiento 1 al (2%)	39,2433*	,0355	,000	39,118	39,369
	Tratamiento 1 al (4%)	38,8167*	,0355	,000	38,691	38,942
	Tratamiento 1 al (6%)	38,5967*	,0355	,000	38,471	38,722
	Tratamiento 2 al (2%)	,2667*	,0355	,000	,141	,392
	Tratamiento 2 al (4%)	-,7500*	,0355	,000	-,876	-,624
	Tratamiento 2 al (6%)	-3,0433*	,0355	,000	-3,169	-2,918
	Tratamiento 3 al (2%)	-36,7167*	,0355	,000	-36,842	-36,591
	Tratamiento 3 al (4%)	-38,5800*	,0355	,000	-38,706	-38,454
	Tratamiento 3 al (6%)	-40,8167*	,0355	,000	-40,942	-40,691

En la Tabla 65, se muestra que la significancia es 0 correspondiente a la prueba Tukey lo cual nos indica que **P valor** menor de **0.05** entonces aceptamos la **H1**, Existe alguna significancia entre los tratamientos.

- **Hipótesis:**

H0: No existe alguna significancia entre los tratamientos.

H1: Existe alguna significancia entre los tratamientos.

1.6. Eficiencia de remoción de Pb del suelo

En la Tabla 66 y Figura 49, se presentan la eficiencia de remoción de Pb (II) del suelo agrícola contaminado por agroquímicos.

Tabla 66: Porcentaje de remoción de Pb (II)

ÍTEM	Tratamiento	Código de muestra	Dosis de microalga (ml)	Concentración inicial de plomo (II) (mg/kg)	Remoción de concentración por periodo (mg/kg)	Periodo	Remoción por periodo (%)	Promedio de remoción por tratamiento de dosis de microalga (%)
1	T 1	T1-1 (2%)	50	120.8	115.57	15 días	34.90	34.98
2		T1-2 (2%)			115.48		35.03	
3		T1-3 (2%)			115.5		35.00	
4		T1-1 (4%)	100		115.02		35.69	35.74
5		T1-2 (4%)			114.98		35.74	
6		T1-3 (4%)			114.94		35.80	
7		T1-1 (6%)	150		112.28		39.60	39.74
8		T1-2 (6%)			112.16		39.77	
9		T1-3 (6%)			112.11		39.84	
1	T2	T2-1 (2%)	50	120.8	105.35	30 días	49.50	49.33
2		T2-2 (2%)			105.52		49.26	
3		T2-3 (2%)			105.54		49.23	
4		T2-1 (4%)	100		100.35		56.64	56.76
5		T2-2 (4%)			100.26		56.77	
6		T2-3 (4%)			100.19		56.87	
7		T2-1 (6%)	150		95.02		64.26	64.30
8		T2-2 (6%)			94.99		64.30	
9		T2-3 (6%)			94.95		64.36	
1	T3	T3-1 (2%)	50	120.8	92.24	45 días	68.23	68.26
2		T3-2 (2%)			92.19		68.30	
3		T3-3 (2%)			92.22		68.26	
4		T3-1 (4%)	100		81.54		83.51	83.55
5		T3-2 (4%)			81.51		83.56	
6		T3-3 (4%)			81.49		83.59	
7		T3-1 (6%)	150		72.02		97.11	97.08
8		T3-2 (6%)			72.07		97.04	
9		T3-3 (6%)			72.04		97.09	

La Tabla 66, refleja el porcentaje de remoción de Pb (II) fue determinado por cada tratamiento con distintas dosis de microalga *Chlorella vulgaris* y distintos

periodos de tiempo, evidenciando así la reducción entre los valores iniciales y finales de la concentración de plomo.

Para determinar la remoción de plomo se empleó la siguiente fórmula:

$$R(\%) = \left(\frac{P_{bi} - P_{bf}}{P_{bi}} \right) \times 100$$

Dónde:

R: Remoción por periodo

P_{bi}: Concentración de plomo inicial

P_{bf}: Concentración de plomo final

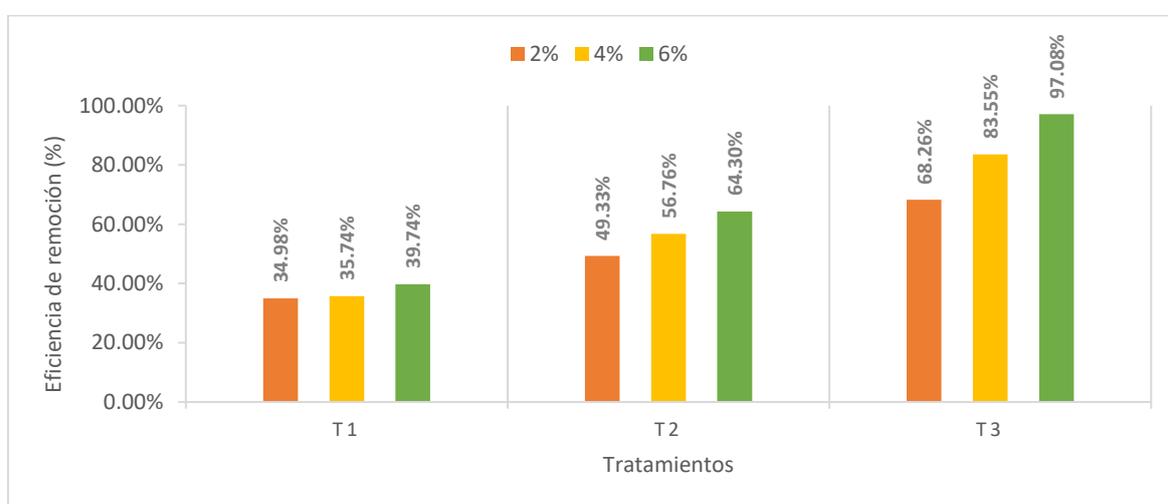


Figura 49: Eficiencia de remoción de Pb (II) en el suelo

En la Figura 49, se observa la eficiencia de remoción de Pb (II) donde la eficiencia es mayor que el 60% por lo tanto se rechaza la H1 y se aprueba la Ho: La eficiencia de remoción de plomo (II) en el suelo contaminado por agroquímicos usando microalga *Chlorella vulgaris* será mayor del 60%.

- **Prueba de hipótesis**

Ho: La eficiencia de remoción de plomo (II) en el suelo contaminado por agroquímicos usando microalga *Chlorella vulgaris* será mayor del 60%.

H1: La eficiencia de remoción de plomo (II) en el suelo contaminado por agroquímicos usando microalga *Chlorella vulgaris* no será mayor del 60%.

- **Decisión**

Si % eficiencia > 60%. Aceptamos la Ho

V. DISCUSIÓN

Con respecto a la concentración de plomo (II) en el suelo, se determinó que tras el uso de la microalga se produjo la mayor reducción en el tratamiento 3 al 6% de microalgas (150 ml) la cual disminuyó de 120.8 mg/kg de Pb hasta 72.02 mg/kg de Pb. Rumaldo (2019), planteó reducir los niveles de plomo en el suelo mediante el uso de *Urtica urens* y *Fuertesimalva echinata*, en el cual aplicó el tratamiento con gallinaza en 5%, 10% y 20%, respectivamente, en el cual se evidenció que el tratamiento que permitió una mayor remoción de plomo fue el de 10%, presentando una reducción del 61.73%. Asimismo, Vargas (2019), usó el compost y humus generados de flores para disminuir la concentración de plomo en el suelo, la investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, en la cual se concluyó que el tratamiento de 12 semanas, disminuyó la concentración de plomo de 727.20 ppm a 547.81 ppm. Cordeña (2017), aplicó biocarbón de bagazo de caña en concentraciones de 3%, 5%, 10% y 50% por kilo de suelo, en la cual se evidenció que tras someter por 45 días en tratamiento de 10%, el plomo disminuyó en un 30% respecto a la concentración inicial. También, Liñan (2017), en su investigación uso la fitorremediación como método para evaluar la remoción de plomo durante un periodo de 3 meses, para ello evaluó la remoción de plomo con respecto al inicial, evidenciándose que esta disminuyó en un 34.05% esto gracias al aumento de materia orgánica por el método de fitorremediación en el suelo. De igual forma Febres (2019), en su investigación usó semillas de girasoles y estiércol animal, con la finalidad de reducir plomo en el suelo, para lo cual realizó 4 tratamientos de 5%,10%,15% y 20% de estiércol, con lo cual se puede evidenciar que el uso de este tratamiento generó una reducción de 80.21% de plomo. La reducción de plomo de los demás autores fueron distintos debido a que las concentraciones iniciales fueron distintas y también por el método de remediación que emplearon.

La presente investigación determinó que, tras el uso de las microalgas, la temperatura fue constante y no presentó cambios durante todo el periodo de experimentación. Asimismo, lo mencionado se evidencia en la investigación de Londoño (2020), que en su investigación aplicó microorganismos y bacterias para la disminución de metales pesados tales como el plomo, en la cual se evidenció

que la temperatura no presentó una variación significativa, ya que siempre se mantuvo a 25°C.

Por otra parte, la presente investigación determinó que, tras el uso de las microalgas, el pH tuvo un ligero cambio de 6.18 a 7.17 durante todo el periodo de experimentación. De igual forma, lo mencionado en la investigación de Liñan (2017), usó la fitorremediación como método para evaluar la remoción de plomo, durante un periodo de 3 meses, para ello evaluó el pH inicial el cual fue de 3.7 y tras aplicar el tratamiento este se incrementó a 4.9. Asimismo, Febres (2019) en su investigación usó semillas de girasoles y estiércol animal, con la finalidad de reducir plomo en el suelo, para lo cual realizó 4 tratamientos de 5%,10%,15% y 20% con lo cual se puede evidenciar que el uso de este tratamiento generó una reducción de pH el cual fue de 6.78 y aumentó a 7.5, evidenciándose la efectividad de este tratamiento. No obstante, Londoño (2020), en su investigación aplicó microorganismos y bacterias para la disminución de metales pesados tales como el plomo, en la cual se evidenció que el parámetro pH, se mantuvo estable durante toda la investigación. El aumento del pH sucedió debido a la adición de microorganismos al suelo

Con respecto al parámetro conductividad eléctrica, Vargas (2019), en su investigación planteó usar el compost y humus generados de flores para disminuir la concentración de plomo en el suelo, para ello la investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, en la cual se determinó que el tratamiento de 12 semanas, aumentó ligeramente la conductividad eléctrica siendo de 4.61 dS/m a 4.69 dS/m, generándose este cambio debido a la alta presencia de carbonatos presentes en el humus. Además, Liñan (2017), en su investigación usó la fitorremediación como método para evaluar la remoción de plomo, durante un periodo de 3 meses para ello evaluó el valor de la conductividad eléctrica inicial siendo este 5.08 dS/m y tras aplicar el tratamiento esta disminuyó a 3.45 dS/m, esta disminución se produce gracias al aumento de materia orgánica por el método de fitorremediación. Igualmente, el presente estudio determinó que la conductividad eléctrica presentó un ligero aumento de 2.08 mS/cm a 2.68 mS/cm, corroborando lo expuesto por los autores mencionados anteriormente.

En la presente investigación se determinó que, tras el uso de las microalgas, la materia orgánica incrementó presentando un valor inicial de 1.67% a 5.1%. Tras lo mencionado se evidencia que los resultados con respecto a la materia orgánica, son totalmente diferentes a lo mencionado en las investigaciones de Vargas (2019), quien planteó usar el compost y humus generados de flores para disminuir el nivel de concentración de plomo existente en el suelo, dicha investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, donde se concluyó que el tratamiento de 12 semanas fue el que presentó un mayor cambio disminuyendo la materia orgánica de 7.91% a 6.13%, esto sucede debido a la rápida degradación generada por el humus.

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico, Vargas (2019), en su investigación planteó usar el compost y humus generados de flores para disminuir la concentración de plomo en el suelo para ello, la investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, donde concluyó que el tratamiento de 12 semanas, aumentó la capacidad de intercambio catiónico de 1.84 meq/100g a 18.50 meq/100g, generándose este cambio debido a la alta presencia de carbonatos presentes en el humus. Así como Febres (2019), en su investigación usó semillas de girasoles y estiércol animal, con el objetivo de reducir plomo en el suelo, para lo cual realizó 4 tratamientos de 5%, 10%, 15% y 20% con lo cual se puede evidenciar que el uso de este tratamiento generó un aumento de CIC de 9.720 meq/100g a 27.872 meq/100g. En la presente investigación se determinó que, tras el uso de las microalgas, aumentó la capacidad de intercambio catiónico de 16 meq/100g a 34.85 meq/100g, corroborando lo evidenciado en las investigaciones mencionadas anteriormente.

Con respecto al nitrógeno se evidenció que en la presente investigación este aumentó de 0.08 % a 0.26 %, corroborando lo expuesto por Febres (2019) que en su investigación usó semillas de girasoles y estiércol animal, con la finalidad de reducir plomo en el suelo, para lo cual realizó 4 tratamientos de 5%, 10%, 15% y 20% con lo cual se puede evidenciar que el uso de este tratamiento incrementó los niveles de nitrógeno en el suelo, evidenciándose un aumento de un 35% con respecto al nitrógeno inicial.

Con respecto al fósforo, se evidenció que el uso de las microalgas aumentó los niveles de este parámetro, evidenciándose un incremento de 15% con respecto

a la caracterización inicial. Vargas (2019), en su investigación planteó usar el compost y humus generados de flores para disminuir la concentración de plomo en el suelo para ello, la investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, en la cual se concluyó que el tratamiento de 12 semanas, evidenció una disminución de fósforo en un 55%, eso debido a que los niveles de potasio aumentaron. Febres (2019) en su investigación usó semillas de girasoles y estiércol animal, con la finalidad de reducir plomo en el suelo, para lo cual realizó 4 tratamientos de 5%,10%,15% y 20% con lo cual se puede evidenciar que el uso de este tratamiento incrementó los niveles de fósforo en el suelo, evidenciándose un incremento de un 22 % con respecto al fósforo inicial, esto se debe a que el estiércol usado, presenta altos niveles de fósforo.

El potasio durante el proceso de experimentación se incrementó, al igual que lo expuesto por Vargas (2019), en su investigación planteó usar el compost y humus generados de flores para disminuir la concentración de plomo en el suelo para ello, la investigación duró un periodo de 4, 8 y 12 semanas, en la cual se concluyó que el tratamiento de 12 semanas, el potasio presentó un aumento del 37%, eso debido a que los niveles de fósforo disminuyeron.

VI. CONCLUSIONES

- Las características del suelo con presencia de plomo (II) presentaron una variación significativa, con respecto a los valores iniciales, en la cual se determinó que algunos parámetros tuvieron un incremento como el pH, en un 14%, la conductividad eléctrica en 81.68%, el carbono orgánico total un 64,23%, la materia orgánica 64,46%, la capacidad de intercambio catiónico 53.87%, la relación carbono/ nitrógeno 37.97%, humedad gravimétrica 73.05%, asimismo hay parámetros que sus resultados disminuyeron como el potencial redox 33.12% y la densidad aparente 78.96%.
- Se determinó que el mejor volumen de cepa con microalga *Chlorella vulgaris* fue 150ml con tratamiento de 45 días ya que fue la que más influyó en mejorar la calidad del suelo pudiéndose evidenciar un aumento de 66.6% de nitrógeno, 80% de fósforo y 47.22% de potasio.
- Se determinó que el uso de las microalgas *Chlorella vulgaris* permite recuperar suelos agrícolas contaminados por plomo (II), en la cual se evidenció que el tratamiento 3 con dosis del 6% de microalga fue la que tuvo mejores resultados, reduciendo de 120.8 kg/mg hasta 72.02 kg/mg de plomo (II) equivalente al 97.08% de remoción del contaminante presente en el suelo.
- Se evidenció que el uso de las microalgas *Chlorella vulgaris* en concentraciones de 50 ml, 100 ml y 150 ml, con tratamientos de 15, 30 y 45 días respectivamente, permite recuperar los suelos teniendo efectos positivos en el proceso de reducción de Pb (II) del suelo agrícola potenciando los nutrientes existentes y equilibrando sus propiedades.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar periodos más extensos para los tratamientos y así lograr valores por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelo.
- Experimentar con un tipo diferente de microalgas para la eliminación del plomo en el suelo, ya que la mayoría de los estudios se han realizado en agua.
- Al realizar el acondicionamiento de las microalgas, examinar las condiciones donde estas se desarrollan, manteniendo el pH y temperatura.
- Encender las bombas de aire mínimo una hora diaria en el cultivo de microalgas para evitar la pérdida de estas.

REFERENCIAS

ABAD, Yuri. Caracterización, identificación y evaluación de microorganismos autóctonos biorremediadores de suelos contaminados por agroquímicos en la provincia de Loja. Tesis (Magister en agroecología y ambiente). Ecuador: Universidad de Cuenca, facultad de medio ambiente y agroecología, 2017.

ALMENDHI, Ahmed [et al.]. Old leaves accumulate more heavy metals than other parts of the desert shrub *Calotropis procera* at a traffic-polluted site as assessed by two analytical techniques. *International Journal of Phytoremediation* [en línea]. Octubre 2019. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/15226514.2019.1619164>

ISSN: 1522-6514

ARIAS, Jesús; VILLASÍS, Miguel; MIRANDA, María. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista alergia México* [en línea]. 2016. vol. 63, no. 2. [Fecha de consulta: 15 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>

ISSN 2448-9190, 0002-5151.

ASTOCONDOR, Mauro; MAYTA, Egma; MONTOYA, Haydee y TARAZONA, Ronald. Crecimiento poblacional y productividad de la microalga nativa *Chlorella peruviana* bajo diferentes salinidades. *Rev. investig. vet. Perú* [en línea]. 2017, vol.28, n.4 [Fecha de consulta: 15 de julio de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000400023&lng=es&nrm=iso

ISSN 1609-9117.

AVELINO, Carmen. Degradación de plaguicidas sintéticos de suelos agrícolas mediante la aplicación del Compostaje. Informe de investigación,

Perú: Universidad Nacional del Callao, facultad de ingeniería química. 2020.
Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5163>

AWA, Soo y HADIBARATA, Tony. Removal of Heavy Metals in Contaminated Soil by Phytoremediation Mechanism: a Review. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea]. Enero 2020. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-020-4426-0>

ISSN: 1573-2932

BUMANDALAI, Odgerel. Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. *International Journal of Aquatic* [en línea]. Octubre 2019. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2021]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/336769854_Effect_of_Chlorella_vulgaris_as_a_biofertilizer_on_germination_of_tomato_and_cucumber_seeds

ISSN: 2322-5270

BURGOS, Erika. Percepción campesina sobre el uso de agroquímicos en la comunidad Wila Mocco del distrito de Mañazo. tesis (licenciada en antropología), Perú: Universidad Nacional del Altiplano Puno, facultad de ciencias sociales, 2019. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2912160>

BWAPWA, Joseph, JAIYEOLA, Adesoji y CHETTY, Raj. Bioremediation of acid mine drainage using algae strains: A review. *South African Journal of Chemical Engineering* [en línea]. Diciembre 2017. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S102691851630035X#!>

ISSN: 1026-9185

CARVALHO, Fernando. Pesticides, environment and food safety. *Food and Energy Security* [en línea]. Junio 2017. [Fecha de consulta: 10 Setiembre de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.108>

ISSN: 2048-3694

CASTILLO, Bessy [et al.]. Contaminación por palguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). Revista Espacios [en línea]. Febrero 2020. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html>

ISSN: 07981015

CHABUKDHA, Mayuri, GUPTA, Sanjay y GODOI, Manashjit. Phycoremediation of Heavy Metals Coupled with Generation of Bioenergy [en línea]. Cham: Springer International Publishing, 2017 [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51010-1_9

ISBN 978-3-319-51010-1.

CONDEÑA, Edwin. Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA. HH Ramón Castilla – Callao 2017. Tesis (Ingeniero ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/13006>

CONDOR, Minger. Biorremoción de plomo en soluciones acuosas mediadas por microalgas a escala de laboratorio. Tesis (Ingeniero ambiental). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2020. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1795>

COULTER, Jeffrey. Sustainable Cropping Systems. Agronomy [en línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/494>

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 02 de diciembre de 2017.

DELGADO, Jaime, ALVAREZ, Aldo y YÁÑEZ, Jaime. Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en Perú.

Revista Panamericana de Salud Pública [en línea]. Junio 2018. [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2018.v42/e3/>

ISSN 1680-5348

ELAHI, Ehsan [et al.]. Agricultural intensification and damages to human health in relation to agrochemicals: Application of artificial intelligence. Land Use Policy [en línea]. Abril 2019. [Fecha de consulta: 04 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837718308548>

ISSN: 0264-8377

FAWZY, Manal [et al.]. Techno-economic and environmental approaches of Cd²⁺ adsorption by olive leaves (*Olea europaea* L.) waste. International Journal of Phytoremediation [en línea]. Mayo 2019. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2019.1612848?journalCode=bijp20>

ISSN: 1522-6514

FEBRES, Shadai. Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas. Tesis (Ingeniera ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12074/IAfelflse.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

FU, Pengcheng y SECUNDO, Francesco. Algae and Their Bacterial Consortia for Soil Bioremediation. Chemical Engineering Transactions [en línea]. Mayo 2016. [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1649072>

ISSN 2283-9216

GAMBOA Michael. Estadística aplicada a la investigación. Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores [en línea]. Enero 2018. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/427>

ISSN: 2007-7890

GARRIDO, Jose [et al.]. Microalgae research worldwide. Algal Research [en línea]. Noviembre 2018. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926418303436>

GONÇALVES, Ana. The Use of Microalgae and Cyanobacteria in the Improvement of Agricultural Practices: A Review on Their Biofertilising, Biostimulating and Biopesticide Roles. Applied Sciences [en línea]. Enero 2021. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/871>

EISSN 2076-341

GUERRERO, Maria. La investigación Cualitativa. INNOVA Research Journal [online].2016, vol. 1 (2), pp. 1-9 [Fecha de consulta: 15 de julio de 2021]. Disponible: <https://doi.org/10.33890/innova.v1.n2.2016.7>

ISSN 2477-9024.

GUEVARA, Gladis, VERDESOTO, Alexis, CASTRO, Nelly. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). RECIMUNDO, [en línea]. Junio 2020. vol. 4, no. 3, [Fecha de consulta: 15 de julio de 2021). Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>

ISSN 2588-073X.

HAJNAL Timea, DJURIC Simonida y STAMENOV Dragana. Influence of green algae *Chlorella vulgaris* on initial growth of different agricultural crops. Zbornik Matice srpske za prirodne nauke [en línea]. Diciembre 2021. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311627214_Influence_of_green_algae_Chlorella_vulgaris_on_initial_growth_of_different_agricultural_crops/fulltext/5851680208ae0c0f321a658b/Influence-of-green-algae-Chlorella-vulgaris-on-initial-growth-of-different-agricultural-crops.pdf

IZQUIERDO, Juan. Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín. Tesis (Ingeniero ambiental). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14712>

LIÑAN, Kevin. Fitorremediación de suelos mediante la absorción de Pb al aplicar Sábila (*Aloe vera*); nivel de laboratorio, Ancash-2017. Tesis (Ingeniero ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31979>

LONDOÑO, Iveth. Biorremediación como estrategia para la recuperación de suelos mineros contaminados con mercurio, cadmio y plomo (Hg, Cd, Pb). Tesis (Ingeniera ambiental). Argentina: Universidad de Córdoba, 2020. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3831>

LOPEZ Nelly y SANDOVAL Irma. Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa [en línea]. Octubre 2020. [Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/176>

MANDAL Asit [et al.]. Chapter 7 - Impact of agrochemicals on soil health. Majeti Naracimha Vara Prasad [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081030172000076>

ISBN: 9780081030172

MEENA, Ram [et al.]. Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. Land [en línea]. Enero 2020. [Fecha de consulta: 04 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34>

EISSN: 2073-445X

MORENO Leslie y SUYON N. Efecto de microorganismos en la degradación de agroquímicos presentes en suelos agrícolas. REFI: Revista de de Formación en Investiagción [en línea]. Marzo 2020. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revistas.upn.edu.pe/index.php/refi/article/download/74/110>

PETROUTSOS, Dimitris [et al.]. Microalgae Biology and Biotechnology. Frontiers in Plant Science [en línea]. Enero 2021. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2020.628267>

ISSN: 1664-462X

PURIS, Karen. Aplicación de la microalga *Chorella vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg, Cd en aguas. Tesis (Ingeniera ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2019. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2456>

QAYYUM, Sadia [et al.]. A review on remediation technologies for heavy metals contaminated soil. Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation [en línea]. Febrero 2020. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: http://www.caspress.com/article_101129.html

ISSN: 2717-0519

RAZANAMAHANDRY, Lovasoa [et al.]. Bioremediation of soil and water polluted by cyanide: A review. African Journal of Environmental Science and Technology [en línea]. Junio 2017. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://academicjournals.org/journal/AJEST/article-abstract/A02C9AA64350>

ISSN: 1996-0786

REMIGIO, Sandra. Uso del biochar de excretas porcina y avícola en la reducción de cadmio en suelo agrícola contaminado, Huaral, 2018. Tesis (Ingeniera ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/21230>

RENUKA, Nirmal [et al.]. Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges [en línea]. *Biotechnology advances* [en línea]. Abril 2018. [Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29673972/>

RIZWAN, Muhamma [et al.]. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Setiembre 2018. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118302557>

ISSN: 1364-0321

RUMALDO, Michael. Descontaminación de suelos con plomo usando *Urtica urens* y *Fuertesimalva echinata* fertilizada con gallinaza en el Callao. Tesis (Ingeniero ambiental). Lima: Universidad Cesar vallejo, 2019. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38373/Rumaldo_RMD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAAVEDRA, Ricardo [et al.]. Influence of organic matter and CO₂ supply on bioremediation of heavy metals by *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus almeriensis* in a multimetallic matrix. *Ecotoxicology and environmental safety* [en línea]. Octubre 2019. [Fecha de consulta: 08 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31299473/>

SCHILD, Carlos [et al.]. Acute lead arsenate poisoning in beef cattle in Uruguay. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* [en línea]. Febrero 2019. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1040638719831413>

ISSN: 1040-6387

SCHWARZ, Max. Guía de referencia para la elaboración de una investigación aplicada. Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas [en línea]. 2017. [Fecha de consulta 08 de setiembre del 2021]. Disponible en: <http://repositorio-anterior.ulima.edu.pe/handle/ulima/6029>

SHAH, Vijendra y DAVEREY, Achlesh. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. Environmental Technology & Innovation [en línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340383763_Phytoremediation_A_multidisciplinary_approach_to_clean_up_heavy_metal_contaminated_soil

TARLA, Divine [et al.]. Phytoremediation and Bioremediation of Pesticide – Contaminated Soil. Applied Sciences [en línea]. Febrero 2020. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1217>

THIRUMAGAL J. y PANNEERSELVAM A. Phycoremediation of malachite green and reduction of physico-chemical parameters from polluted water using *Chlorella pyrenoidosa*. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology [en línea]. Octubre 2014. [Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2021]. Disponible en: <https://ijret.org/volumes/2014v03/i10/IJRET20140310041.pdf>

eISSN: 2319-1163

VARGAS, Klintons. Eficiencia del maiz (zea mays) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero Catac–Recuay, Ancash 2017. Tesis (Ingeniero ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017.

Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3615>

VAZIRZADEH Arya [et al.]. Removal of nitrate and phosphate from simulated agricultural runoff water by *Chlorella vulgaris*. *Science of The Total Environment* [en línea]. Enero 2021. [Fecha de consulta 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721050634>.

ISSN: 0048-9697

VIEIRA Henrique [et al.]. Microalgae in a global world: New solutions for old problems?. *Renewable Energy* [en línea]. Abril 2021. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120317456>

ISSN 0960-1481

YEN Hong-Wei [et al.]. The use of autotrophic *Chlorella vulgaris* in chromium (VI) reduction under different reduction conditions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea]. Mayo 2017. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107016302930>

ISSN: 0718-3607

ANEXOS

Anexo 1:Operacionalización de variables

Título: Microalga <i>Chlorella vulgaris</i> para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II) en el distrito de Carabayllo-Lima, 2021					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente microalga <i>Chlorella vulgaris</i>	La microalga <i>Chlorella vulgaris</i> es unicelular, de reproducción asexual y de pigmento verde. Tiene forma esférica con un diámetro de 2 a 10 µm, tiene gran capacidad para remover metales pesados y se adapta a distintas fuentes de nutrientes y a condiciones fotoautótrofas, heterotróficas y mixotróficas. (Thirumagal y Pannerselvam, 2014)	El empleo de las microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> fue medido en base a las propiedades físicas-químicas y volúmenes de tratamiento para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II).	Propiedades físicas y químicas de <i>Chlorella vulgaris</i>	Temperatura	°C
				Potencial de Hidrógeno	ácido/base
				Conductividad eléctrica	µS/cm
				Conteo de microalgas	células/ml
			Crecimiento	días	
			Condición de operación	2,4,6	%
Variable dependiente Suelos contaminados por agroquímicos que contienen plomo (II)	Los contaminantes agrícolas vienen en una variedad de formas, como los agroquímicos, como los fertilizantes, los residuos animales y los pesticidas. (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2018)	La muestra de suelo fue caracterizada pre tratamiento, para luego someterlo a un diseño experimental que consistió en 9 repeticiones por cada tratamiento y así medir la remoción del contaminante presente en el suelo agrícola contaminado por Pb (II) así como los parámetros post tratamiento.	Caracterización del suelo contaminado pre y post tratamiento	Potencial de Hidrógeno	0 al 14
				Temperatura	°C
				Conductividad eléctrica	mS/cm
				Humedad gravimétrica	%
				Textura	%

			Conductividad Hidráulica	Cm/seg
			Carbono Orgánico Total	%
			Capacidad de campo	%
			Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g
			Densidad aparente	g/cm ³
			Potencial Redox	mv
			Materia Orgánica	%
			Concentración de Nitrógeno	%
			Concentración de Fósforo	ppm
			Concentración de Potasio	ppm
			Concentración de Pb (II)	mg/kg
			Relación Carbono-Nitrógeno	C/N
		Diseño de tratamiento	3 x3 x 3	Muestra
			10, 30, 45	Días
		Eficiencia de la remoción de Pb (II) del suelo	$P_{bi} - P_{bf} * 100 / P_{bi}$	%

Anexo 2: Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de instrumentos



FICHA 1		RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE SUELO		
TÍTULO	Microalga Chlorella Vulgaris para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo en el distrito de Carabayllo, Lima - 2021.			
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales			
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura			
RESPONSABLES	Irrazabal Artica, Fiorela Nelida / Solis Haro, Melissa Giovana			
ASESOR	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro			
DATOS DEL LUGAR DE ESTUDIO				
LUGAR		DISTRITO		
PROVINCIA		DEPARTAMENTO		
ÁREA (m2)				
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA				
DATOS DE PUNTO DE MUESTREO				
N° DE MUESTRA	COORDENADAS UTM		HORA DE LA TOMA DE MUESTRA	FECHA
	N	E		

Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro
 Ing. Químico
 Universidad César Vallejo
 Callejeños 10000000
 CIP 15486

Atentamente,

 Justin Julio Ochoa Galvez
 DNI: 08447308

Firmado digitalmente por
 Freddy Pillpa Aliaga
 Nombre de reconocimiento
 (DN): cn=Freddy Pillpa Aliaga,
 o=Colegio de Ingenieros del
 Perú, ou=CIP 196897,
 email=fpillpaa@gmail.com,
 c=PE
 Fecha: 2021.11.23 15:31:23
 -05'00'



FICHA 2		CARACTERIZACIÓN DE SUELO PRE Y POST TRATAMIENTO		
TÍTULO	Microalga Chlorella Vulgaris para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo en el distrito de Carabayllo, Lima - 2021.			
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales			
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura			
RESPONSABLES	Irrazabal Artica, Fiorela Nelida / Solis Haro, Melissa Giovana			
ASESOR	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro			
FECHA				
PARÁMETROS FÍSICOS				
INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS		
		PRE TRATAMIENTO	POST TRATAMIENTO	
TEMPERATURA	°C			
HUMEDAD GRAVIMÉTRICA	%			
TEXTURA	%			
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	cm/seg			
DENSIDAD APARENTE	g/cm3			
CAPACIDAD DE CAMPO	%			
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100g			
PARÁMETROS QUÍMICOS				
INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	PRE TRATAMIENTO	RESULTADOS	POST TRATAMIENTO
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	0 al 14			
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	mS/cm			
POTENCIAL REDOX	mV			
MATERIA ORGÁNICA	%			
CONCENTRACIÓN DE N	%			
CONCENTRACIÓN DE P	ppm			
CONCENTRACIÓN DE K	ppm			
CONCENTRACIÓN DE Pb (II)	mg/kg			
RELACIÓN CARBONO- NITRÓGENO	C/N			
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	%			

Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro
 Ing. Químico
 Universidad César Vallejo
 Callejeños 10000000
 CIP 15486

Atentamente,

 Justin Julio Ochoa Galvez
 DNI: 08447308

Firmado digitalmente por
 Freddy Pillpa Aliaga
 Nombre de reconocimiento
 (DN): cn=Freddy Pillpa Aliaga,
 o=Colegio de Ingenieros del
 Perú, ou=CIP 196897,
 email=fpillpaa@gmail.com,
 c=PE
 Fecha: 2021.11.23 15:32:39
 -05'00'

FICHA 3			RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO Y QUÍMICA DE LAS MICROALGAS		
TÍTULO	Microalga Chlorella Vulgaris para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo en el distrito de Carabaylo, Lima - 2021.				
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales				
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura				
RESPONSABLES	Irrazabal Artica, Fiorela Nelida / Solis Haro, Melissa Giovana				
ASESOR	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro				
FECHA					
RECOLECCIÓN DE LA MICROALGA					
LUGAR					DISTRITO
PROVINCIA					DEPARTAMENTO
COORDENADAS UTM	N:				E:
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA					
TAXONOMÍA DE LA MICROALGA					
REINO	DIVISION			CLASE	
ORDEN	FAMILIA			GENERO	
ESPECIE					
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA MICROALGA					
INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA			RESULTADOS	
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	0 al 14				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm				
TEMPERATURA	°C				
GENERACIÓN DE N	%				
GENERACIÓN DE P	ppm				
GENERACIÓN DE K	ppm				



Dr. Elmer G. BENITES ALFARO
ING. QUÍMICO
MAGISTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
Código Prof. 17034818
CIP 71301

Atentamente,



Jhain Julio Chirinos Galvez
DNI: 08447308

Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Aliaga
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=Freddy Pillpa Aliaga,
o=Colegio de Ingenieros del
Perú, ou=CIP 196897,
email=fpillpaa@gmail.com, c=PE
Fecha: 2021.11.23 15:31:41 -05'00'

FICHA 4		DISEÑO Y TRATAMIENTO DE LA MUESTRA				
TÍTULO	Microalga Chlorella Vulgaris para recuperar suelos agrícolas contaminados por agroquímicos que contienen plomo en el distrito de Carabaylo, Lima - 2021.					
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Calidad y gestión de recursos naturales					
FACULTAD	Facultad de ingeniería y arquitectura					
RESPONSABLES	Irrazabal Artica, Fiorela Nelida / Solis Haro, Melissa Giovana					
ASESOR	Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro					
DATOS DEL TRATAMIENTO						
DURACIÓN	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3			
FECHA INICIO						
FECHA FIN						
NÚMERO DE DÍAS						
CANTIDAD DE RIEGOS						
INTERVALO DE RIEGO A RIEGO						
TRATAMIENTO NÚMERO:						
CÓDIGO DE MUESTRA	VOLUMEN DE MICROALGA	CRONOGRAMA DE RIEGO				
		DÍA 1	DÍA 4	DÍA 7	DÍA 10	DÍA 13



Dr. Elmer G. BENITES ALFARO
ING. QUÍMICO
MAGISTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
Código Prof. 17034818
CIP 71301

Atentamente,



Jhain Julio Chirinos Galvez
DNI: 08447308

Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Aliaga
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=Freddy Pillpa Aliaga,
o=Colegio de Ingenieros del Perú,
ou=CIP 196897,
email=fpillpaa@gmail.com,
c=PE
Fecha: 2021.11.23 15:31:57 -05'00'

FICHA 5		FICHA DE RESULTADOS DEL PROCESO											
TÍTULO		Microalga Chlorella Vulgaris para recuperar suelos agrícola contaminados por agroquímicos que contienen plomo en el distrito de Carabaylo, Lima - 2021.											
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN		Calidad y gestión de recursos naturales											
FACULTAD		Facultad de ingeniería y arquitectura											
RESPONSABLES		Irrazabal Artica, Fiorela Nelida / Solis Haro, Melissa Giovana											
ASESOR		Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro											
RESULTADOS DEL TRATAMIENTO													
DOSIS DE MICROALGA	REDUCCIÓN DE PLOMO (mg/kg)												
	TRATAMIENTO 1				TRATAMIENTO 2				TRATAMIENTO 3				
	T1-1	T1-2	T1-3	% EFICIENCIA DE MICROALGA	T2-1	T2-2	T2-3	% EFICIENCIA DE MICROALGA	T3-1	T3-2	T3-3	% EFICIENCIA DE MICROALGA	
2%													
4%													
6%													



Dr. Elmer Gonzales Benites Alfaro
Ing. Químico
Investigador Científico
Código Profesional: 170248252
CIP 17486

Atentamente,



Jhón Julio Chodonar Galvez
DNI: 08447308



Firmado digitalmente
por Freddy Pillpa Aliaga
Nombre de
reconocimiento (DN):
cn=Freddy Pillpa Aliaga,
o=Colegio de Ingenieros
del Perú, ou=CIP 196897,
email=fpillpaa@gmail.co
m, c=PE
Fecha: 2021.11.23
15:32:16 -05'00'

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
 1.2. Cargo e institución donde labora:
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Resultados del tratamiento
 1.5. Autores de Instrumento: Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solis Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE						
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100				
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible												X					
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.																	X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación																	X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.																	X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales																	X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.																	X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.																	X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.																	X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.																	X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.																	X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, 15 de agosto del 2021

DNI:

Telf:


 Dr. JAVIER A. BENÍTEZ ALVARADO
 INGENIERO EN SISTEMAS DE CALIDAD
 CALIDAD GENERAL COORDINADOR
 CALIDAD GENERAL PROCESOS
 0171346

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: Ordoñez Galvez, Juan Julio
 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente investigador de la UCV
 1.3 Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: Recolección de muestra del suelo
 1.5 Autores de Instrumento: Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solis Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE						
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100				
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible																	X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.																	X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación																	X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.																	X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales																	X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.																	X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.																	X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.																	X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.																	X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.																	X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308


 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Ordoñez Galvez, Juan Julio
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente investigador de la UCV
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Calidad y gestión de los recursos naturales
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Diseño y tratamiento de la muestra
- 1.5. **Autores de Instrumento:** Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solis Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

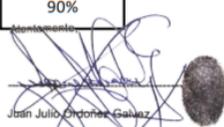
CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible												X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.												X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.												X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

SI
90%


 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Ordoñez Galvez, Juan Julio
- 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente investigador de la UCV
- 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Calidad y gestión de los recursos naturales
- 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Resultados del tratamiento
- 1.5. **Autores de Instrumento:** Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solis Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.													X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.													X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

SI
90%


 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308
 LIT: 08447308

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 **Apellidos y Nombres:** Pillpa Aliaga, Freddy
 1.2 **Cargo e institución donde labora:** Docente de la UCV
 1.3 **Especialidad o línea de investigación:** Calidad y gestión de los recursos naturales
 1.4 **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Recolección de muestra del suelo
 1.5 **Autores de Instrumento:** Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solís Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible											X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.											X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, de agosto del 2021

DNI:

Telf:



Firmado digitalmente por
 Freddy Pillpa Aliaga
 Nombre de reconocimiento (DN):
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,
 o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897,
 email=fpillpa@gmail.com, c=PE
 Fecha: 2021.11.23 15:34:11 -05'00'

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1 **Apellidos y Nombres:** Pillpa Aliaga, Freddy
 1.2 **Cargo e institución donde labora:** Docente investigador de la UCV
 1.3 **Especialidad o línea de investigación:** Calidad y gestión de los recursos naturales
 1.4 **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Caracterización de suelo pre y post tratamiento
 1.5 **Autores de Instrumento:** Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solís Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.													X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.													X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

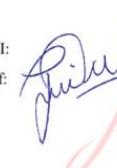
IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

--

Lima, de agosto del 2021

DNI:

Telf:



Firmado digitalmente por
 Freddy Pillpa Aliaga
 Nombre de reconocimiento (DN):
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,
 o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897,
 email=fpillpa@gmail.com, c=PE
 Fecha: 2021.11.23 15:34:50 -05'00'

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Píllpa Alíaga, Freddy
 1.2. **Cargo e institución donde labora:** Docente investigador de la UCV
 1.3. **Especialidad o línea de investigación:** Calidad y gestión de los recursos naturales
 1.4. **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Resultados del tratamiento
 1.5. **Autores de Instrumento:** Irrazabal Artica, Fiorela Nelida y Solis Haro, Melissa Giovana

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.													X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis.													X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, de agosto del 2021

DNI:

Telf:



Firmado digitalmente por Freddy Píllpa Alíaga
 Nombre de reconocimiento (DN): cn=Freddy Píllpa Alíaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897, email=fpillpa@gmail.com, c=PE
 Fecha: 2021.11.23 15:37:03 -05'00'

Anexo 3. Constancia de identificación taxonómica de microalga

CONSTANCIA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

Conste por medio del presente documento quien suscribe **Alfredo Ronald Junco Quillo** con DNI **44374330**, Biólogo de profesión con N° de colegiatura **12737**.

Dejo constancia y doy fe que en el ejercicio de mi profesión y amparado en la ley del Biólogo N° 28847 he realizado la identificación taxonómica de la especie según La taxonomía actual en criptógamas siendo:

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Phylum	Chlorophyta
Clase	Trebouxiophyceae
Orden	Chlorellales
Familia	Chlorellaceae
Género	Chlorella
Especie	<i>Chlorella vulgaris</i>

Para obtener la muestra se realizó la obtención en el distrito de Marcona provincia de Nazca, el cual se ubica en las coordenadas:

COORDENADAS: WGS 84 – UTM 18	
ESTE: 483 917	NORTE: 830 1547

La muestra para extraer fue proporcionada por el propio cliente.

En ejercicio de mi derecho profesional extendiendo la presente constancia a solicitud de la Srta. Irrazabal Artica, Fiorela Nelida identificada con DNI 74801450 requerido para fines de estudio.


Alfredo Ronald Junco Quillo
Biólogo
CBP. 12737

01 de Setiembre del 2021

Firma y sello

Anexo 4. Certificado de análisis

- Caracterización inicial de suelo contaminado con plomo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : FIORELA IRRAZABAL ARTICA

Procedencia de muestra : Parcela Punchauca, cooperativa María Parado de Bellido Km 34 – carretera Canta – Carabaylo - Lima

Recepción de muestra : Lima, 10 de Setiembre del 2021

Análisis de caracterización de suelo contaminado con plomo

Código	Temperatura °C	Potencial de hidrogeno Acido/base	Conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$	Potencial redox mv
SCAQ-Pb	18.4	6.18	839	289.7

Código	Humedad gravimétrica %	Densidad aparente g/cm^3	Conductividad hidráulica cm/seg.	Carbono orgánico %	Materia orgánica %
SCAQ-Pb	5.29	2.51	0.0055	0.98	1.67

Código	Nitrógeno %	Fosforo mg/kg	Potasio mg/kg	Relación C/N	CIC meq/100g
SCAQ-Pb	0.08	3.21	5.12	12.25	16

Código	% Arena	%Limo	% Arcilla	Capacidad de campo %	Plomo Inicial mg/kg
SCAQ-Pb	17.32	19.52	63.16	47.38	120.8

Métodos: Potenciométrico, Norma ASTM D 2116/ISO 2010, cilindro, Darcy, Walkley – Black, EPA 3050, Espectrofotometría UV, Hidrómetro ASTM-152H, Bodmam y Mahmud, Acetato de Amonio pH7-1N.

Lima, 16 de Setiembre del 2021


MSc. Atilio Mendoza Apolaya
Jefe Lab. Espectrometría



Av. Túpac Amarú N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

- Caracterización del primer tratamiento de suelo agrícola contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : FIORELA IRRAZABAL ARTICA

Procedencia de muestra : Parcela Punchauca, cooperativa María Parado de Bellido Km 34 – carretera Canta – Carabayllo - Lima

Recepción de muestra : Lima, 10 de Octubre del 2021

Análisis de suelo por Pb (II), tratado con Microalgas Chlorella

PRIMER TRATAMIENTO

TRATAMIENTO 1	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno acido/base	Conductividad Eléctrica mS/cm	Potencial Redox mv
T1-1(2%)	21.4	6.70	2.08	238.5
T1-2(2%)	21.4	6.89	2.04	239.8
T1-3(2%)	21.4	7.00	2.03	237.0
T1-1(4%)	21.4	7.08	2.78	231.1
T1-2(4%)	21.4	7.09	2.80	229.5
T1-3(4%)	21.4	7.10	2.76	230.2
T1-1(6%)	21.4	7.25	2.67	205.5
T1-2(6%)	21.4	7.22	2.64	204.9
T1-3(6%)	21.4	7.17	2.68	205.1

TRATAMIENTO 1	Humedad Gravimétrica (%)	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Materia Orgánica %	Carbono Orgánico total (%)
T1-1(2%)	19.83	20.48	1.2	0.89
T1-2(2%)	19.76	20.26	1.3	0.87
T1-3(2%)	19.96	20.39	1.2	0.86
T1-1(4%)	20.57	33.18	1.3	1.11
T1-2(4%)	20.61	33.51	1.3	1.03
T1-3(4%)	20.80	33.31	1.3	1.05
T1-1(6%)	21.30	34.50	1.4	1.53
T1-2(6%)	21.78	34.73	1.5	1.47
T1-3(6%)	21.67	34.85	1.4	1.54

Métodos: Potenciométrico, Norma ASTM D 2116/ISO 2010, Walkley – Black, Acetato de Amonio pH7-1N.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245

e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

TRATAMIENTO 1	Nitrógeno %	Fosforo ppm	Potasio ppm	Relación C/N	Densidad Aparente g/cm ³
T1-1(2%)	0.065	6.98	6.32	13.74	0.525
T1-2(2%)	0.071	6.84	6.33	12.24	0.531
T1-3(2%)	0.065	6.89	6.30	13.22	0.528
T1-1(4%)	0.068	7.07	6.68	16.26	0.556
T1-2(4%)	0.072	7.13	6.75	14.40	0.562
T1-3(4%)	0.072	7.27	6.80	14.61	0.568
T1-1(6%)	0.076	8.29	6.94	20.18	0.585
T1-2(6%)	0.079	8.23	6.98	18.69	0.590
T1-3(6%)	0.075	8.32	6.97	20.38	0.596

TRATAMIENTO 1	Concentración Pb en suelo mg/kg	ECA para suelo agrícola mg/kg	Concentración inicial de Pb mg/kg
T1-1(2%)	115,57	70	120.8
T1-2(2%)	115,48	70	120.8
T1-3(2%)	115,50	70	120.8
T1-1(4%)	115,02	70	120.8
T1-2(4%)	114,98	70	120.8
T1-3(4%)	112,94	70	120.8
T1-1(6%)	112,28	70	120.8
T1-2(6%)	112,16	70	120.8

Métodos Kjeldahl, Espectrofotometría UV, EPA 3050 A.A., Cilindro

Lima, 15 de Octubre del 2021


MSc. Atilio Mendoza Apolaya
Jefe Lab. Espectrometría



Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

- Caracterización del segundo tratamiento de suelo agrícola contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : FIORELA IRRAZABAL ARTICA

Procedencia de muestra : Parcela Punchauca, cooperativa María Parado de Bellido Km 34 – carretera Canta – Carabaylo - Lima

Recepción de muestra : Lima, 25 de Octubre del 2021

Análisis de suelo por Pb (II), tratado con Microalgas Chlorella

SEGUNDO TRATAMIENTO

TRATAMIENTO 2	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno acido/base	Conductividad Eléctrica mS/cm	Potencial Redox mv
T2-1(2%)	20.6	6.36	2.94	208.5
T2-2(2%)	20.6	6.43	2.92	212.6
T2-3(2%)	20.6	6.39	2.88	211.2
T2-1(4%)	20.6	6.93	3.10	199.7
T2-2(4%)	20.6	6.89	3.08	200.1
T2-3(4%)	20.6	6.94	3.09	201.4
T2-1(6%)	20.6	7.01	3.25	194.9
T2-2(6%)	20.6	7.09	3.29	192.5
T2-3(6%)	20.6	7.11	3.31	193.8

TRATAMIENTO 2	Humedad Gravimétrica (%)	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Materia Orgánica %	Carbono Orgánico total (%)
T2-1(2%)	19.39	21.53	1.9	1.10
T2-2(2%)	19.64	21.74	1.9	1.13
T2-3(2%)	19.87	21.94	2.0	1.14
T2-1(4%)	22.19	22.44	3.5	2.03
T2-2(4%)	22.12	22.56	3.5	2.06
T2-3(4%)	22.28	22.58	3.5	2.05
T2-1(6%)	24.37	23.29	4.1	2.39
T2-2(6%)	24.17	23.09	4.0	2.35
T2-3(6%)	24.39	23.06	4.0	2.33

Métodos: Potenciométrico, Norma ASTM D 2116/ISO 2010, Walkley – Black, Acetato de Amonio pH7-1N.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301 – Perú

Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245

e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

TRATAMIENTO 2	Nitrógeno %	Fosforo ppm	Potasio ppm	Relación C/N	Densidad Aparente g/cm ³
T2-1(2%)	0.101	30.86	45.25	10.84	0.823
T2-2(2%)	0.104	30.66	45.32	10.85	0.805
T2-3(2%)	0.105	30.56	45.31	10.48	0.814
T2-1(4%)	0.182	31.58	46.23	6.19	0.815
T2-2(4%)	0.185	31.78	46.31	6.17	0.889
T2-3(4%)	0.184	31.47	46.39	11.02	0.887
T2-1(6%)	0.212	33.03	48.58	9.70	0.951
T2-2(6%)	0.209	33.24	48.6	9.84	0.938
T2-3(6%)	0.207	33.13	48.63	11.51	0.942

TRATAMIENTO 2	Concentración Pb en suelo mg/kg	ECA para suelo agrícola mg/kg	Concentración inicial de Pb mg/kg
T2-1(2%)	105,35	70	120.8
T2-2(2%)	105,52	70	120.8
T2-3(2%)	105,54	70	120.8
T2-1(4%)	100,35	70	120.8
T2-2(4%)	100,26	70	120.8
T2-3(4%)	100,19	70	120.8
T2-1(6%)	95,02	70	120.8
T2-2(6%)	94,99	70	120.8
T2-3(6%)	94,95	70	120.8

Métodos Kjeldahl, Espectrofotometría UV, EPA 3050 A.A., Cilindro

Lima, 30 de Octubre del 2021


MSc. Atilio Mendoza Apolaya
Jefe Lab. Espectrometría



Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

- Caracterización del tercer tratamiento de suelo agrícola contaminado por agroquímicos que contienen plomo (II)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR : FIORELA IRRAZABAL ARTICA

Procedencia de muestra : Parcela Punchauca, cooperativa María Parado de
Bellido Km 34 – carretera Canta – Carabayllo - Lima

Recepción de muestra : Lima, 10 de Noviembre del 2021

Análisis de suelo por Pb (II), tratado con Microalgas Chlorella

TERCER TRATAMIENTO

TRATAMIENTO 3	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno acido/base	Conductividad Eléctrica mS/cm	Potencial Redox mv
T3-1(2%)	21.0	6.42	4.19	237.7
T3-2(2%)	21.0	6.45	4.87	236.2
T3-3(2%)	21.0	6.48	4.69	230.8
T3-1(4%)	21.0	7.05	2.83	218.5
T3-2(4%)	21.0	7.07	2.86	210.2
T3-3(4%)	21.0	7.04	2.92	200.8
T3-1(6%)	21.0	7.12	2.74	181.3
T3-2(6%)	21.0	7.18	2.68	158.2
T3-3(6%)	21.0	7.21	2.56	166.4

TRATAMIENTO 3	Humedad Gravimétrica (%)	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Materia Orgánica %	Carbono Orgánico total (%)
T3-1(2%)	19.40	20.57	3.6	2.12
T3-2(2%)	19.94	20.88	3.7	2.18
T3-3(2%)	19.76	20.77	3.7	2.15
T3-1(4%)	21.70	18.14	4.2	2.45
T3-2(4%)	21.05	18.05	4.2	2.44
T3-3(4%)	21.37	18.20	4.3	2.48
T3-1(6%)	22.50	19.34	4.5	2.60
T3-2(6%)	22.29	19.87	4.5	2.64
T3-3(6%)	22.21	19.98	5.1	2.98

Métodos: Potenciométrico, Norma ASTM D 2116/ISO 2010, Walkley – Black, Acetato de Amonio pH7-1N.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301 –Perú

Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245

e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

TRATAMIENTO 3	Nitrógeno %	Fosforo ppm	Potasio ppm	Relación C/N	Densidad Aparente g/cm ³
T3-1(2%)	0.190	48.23	82.23	11.17	0.964
T3-2(2%)	0.195	48.49	82.31	11.19	0.959
T3-3(2%)	0.193	48.36	82.29	11.18	0.961
T3-1(4%)	0.217	50.00	84.12	11.28	0.985
T3-2(4%)	0.216	50.14	84.14	11.28	0.988
T3-3(4%)	0.220	50.28	84.16	11.29	0.989
T3-1(6%)	0.229	52.12	86.34	11.33	1.020
T3-2(6%)	0.233	52.25	86.38	11.34	1.210
T3-3(6%)	0.260	52.11	86.41	11.46	1.230

TRATAMIENTO 3	Concentración Pb en suelo mg/kg	ECA para suelo agrícola mg/kg	Concentración inicial de Pb mg/kg
T3-1(2%)	92,24	70	120.8
T3-2(2%)	92,19	70	120.8
T3-3(2%)	92,22	70	120.8
T3-1(4%)	81,54	70	120.8
T3-2(4%)	81,51	70	120.8
T3-3(4%)	81,49	70	120.8
T3-1(6%)	72,02	70	120.8
T3-2(6%)	72,07	70	120.8
T3-3(6%)	72,04	70	120.8

Métodos Kjeldahl, Espectrofotometría UV, EPA 3050 A.A., Cilindro

Lima, 15 de Noviembre del 2021


MSc. Atilio Mendoza Apolaya
Jefe Lab. Espectrometría



Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301 -Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe