



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

**Aplicación de Lixiviados de Relleno Sanitario como Fuente de Nutriente para  
la Producción de Biomasa de Microalgas en el Departamento de Arequipa,  
2021.**

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

**AUTORA:**

Arias Carbajal, Geraldine Nathaly (ORCID: 0000-0002-7397-4506)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA:**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi esposo que me ha apoyado y ha hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

### **AGRADECIMIENTO:**

A todos mis colegas profesionales que me apoyaron con sus aportes y conocimientos en mi investigación.

A mis asesores por su constante motivación durante el desarrollo de mi investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria: .....	iii
Agradecimiento: .....	iii
Índice De Contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de Gráficos y figuras .....	vi
Resumen.....	viii
Abstract .....	ixx
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	20
3.2. Variables y operacionalización.....	20
3.3. Población muestra y muestreo, unidad de análisis.....	21
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	21
3.5. Procedimientos .....	22
3.6. Método de análisis de datos .....	27
3.7. Aspectos éticos.....	27
IV. RESULTADOS .....	28
V. DISCUSIÓN .....	44
VI. CONCLUSIONES .....	45
VII. RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS .....	48
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Esquema de los tratamientos .....	22
Tabla 2: Análisis fisicoquímico de lixiviados de relleno sanitario.....	28
Tabla 3: Crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> en cel/mL a diferentes concentraciones de lixiviado.....	29
Tabla 4: Tasa de crecimiento <i>Chlorella vulgaris</i> .....	30
Tabla 5: Crecimiento de <i>Scenedesmus sp.</i> en cel/mL a diferentes concentraciones de lixiviados.....	31
Tabla 6: Tasa de crecimiento <i>Scenedesmus sp.</i> .....	32
Tabla 7: Crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> en peso seco a diferentes concentraciones de lixiviado.....	32
Tabla 8: Peso seco de <i>Scenedesmus sp.</i> en g/L a diferentes concentraciones de lixiviados.....	33
Tabla 9: Porcentaje de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio.....	34
Tabla 10 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Chlorella vulgaris</i> en peso seco de día 1 por Concentración Lixiviado.....	34
Tabla 11 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Chlorella vulgaris</i> en peso seco de día 3 por Concentración Lixiviado.....	35
Tabla 12 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Chlorella vulgaris</i> en peso seco día 5 por Concentración Lixiviado.....	36
Tabla 13 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Chlorella vulgaris</i> en peso seco día 7 por Concentración Lixiviado.....	37
Tabla 14 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Scenedesmus sp</i> en peso seco día 1 por Concentración Lixiviado.....	39
Tabla 15 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Scenedesmus sp</i> en peso seco día 3 por Concentración Lixiviado.....	40
Tabla 16 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Scenedesmus sp</i> en peso seco día 5 por Concentración Lixiviado.....	40
Tabla 17 Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento <i>Scenedesmus sp</i> en peso seco día 7 por Concentración Lixiviado.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Disposición de tratamientos en las unidades experimentales .....	23
Figura 2: Esquematización del diseño de investigación .....	23
Figura 3: Muestreo y medida de parámetros fisicoquímicos de lixiviados (pH, sólidos totales, OD, N, P y K. ....	26

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1 comparación de crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> por lixiviados.....	35
Gráfica 2 comparación de crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> por lixiviados.....	36
Gráfica 3 comparación de crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> por lixiviados.....	37
Gráfica 4 comparación de crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> por lixiviados.....	38
Gráfica 5 comparación de crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> por lixiviados.....	38
Gráfica 6 comparación de crecimiento de <i>Scenedesmus</i> sp por lixiviados.....	39
Gráfica 7 comparación de crecimiento de <i>Scenedesmus</i> sp por lixiviados.....	40
Gráfica 8 comparación de crecimiento de <i>Scenedesmus</i> sp por lixiviados.....	41
Gráfica 9 comparación de crecimiento de <i>Scenedesmus</i> sp por lixiviados.....	42
Gráfica 10 interacción entre crecimiento de <i>Scenedesmus</i> sp por lixiviados.....	42

## RESUMEN

El uso de nutrientes para la producción de algas es una alternativa de biomasa muy amigable con el ambiente. Sin embargo, encontrar la más adecuada es uno de los principales pilares de estudio de los investigadores. La presente investigación muestra una alternativa de fuente de nutrientes obtenida a partir de los lixiviados originados en los rellenos sanitarios. En ese sentido la investigación tuvo como objetivo general determinar cuál es el efecto de la concentración de lixiviados en la biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus quadricauda*, para ello usó una metodología con enfoque cuantitativo y diseño experimental, mediante el análisis físico químico de los lixiviados, concentración de N total, P total y K; así como la productividad y remoción de la biomasa en diferentes concentraciones de lixiviados. Respecto a los resultados, para el análisis de los lixiviados se obtuvo un pH de 8, 40, conductividad eléctrica de 22.4 mS/cm, sólidos totales de 26.5 g/L, 1320 mg/L de N, 19.40 mg/L de P y 820 mg/L de K, asimismo, el crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados resultó al 10% de concentración, en el T1 se obtuvo 29 en el día 8, en el T2 se obtuvo 28 en el día 8 y en el T3 se obtuvo 30 en el día 8. Al 50% de concentración, en el T1 se obtuvo 81 en el día 8, en el T2 se obtuvo 87 en el día 8 y en el T3 se obtuvo 83 en el día 8. Al 100% de concentración, en el T1 se obtuvo 30 en el día 8, en el T2 se obtuvo 31 en el día 8 y en el T3 se obtuvo 33 en el día 8.

**Palabras clave:** Lixiviados, relleno sanitario, Biomasa, Microalgas

## ABSTRACT

The use of nutrients for the production of algae is a very environmentally friendly biomass alternative. However, finding the most suitable is one of the main pillars of study for researchers. The present research shows an alternative nutrient source obtained from leachate originating from landfills. In this sense, the general objective of the research was to determine what is the effect of the concentration of leachates in the biomass of the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*, for this it used a methodology with a quantitative approach and experimental design, through the physical-chemical analysis of the leachate, concentration of total N, total P and K; as well as the productivity and removal of biomass in different concentrations of leachate. Regarding the results, for the analysis of the leachates, a pH of 8.40, electrical conductivity of 22.4 mS / cm, total solids of 26.5 g / L, 1320 mg / L of N, 19.40 mg / L of P and 820 mg / L of K, likewise, the growth of microalgae in different concentrations of leachates resulted in a 10% concentration, in T1 29 was obtained on day 8, in T2 28 was obtained on day 8 and in T3 30 was obtained on day 8. At 50% concentration, in T1, 81 was obtained on day 8, in T2, 87 was obtained on day 8 and in T3, 83 was obtained on day 8. At 100% concentration, in T1, 30 was obtained on day 8, in T2, 31 was obtained on day 8, and in T3, 33 was obtained on day 8.

**Keywords:** Leachate, landfill, Biomass, Microalgae

## I. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, los vertederos se han utilizado como uno de los métodos convencionales para el tratamiento de residuos municipales en todo el mundo (Li et al. 2011). su composición puede cambiar según la edad del relleno sanitario y el tipo de desecho (Peng 2013). Debido a su mal uso de los lixiviados se genera contaminantes complejos y alto contenido de compuestos tóxicos la descarga directa de lixiviados en un sistema acuático tiene un impacto adverso en la calidad del agua subterránea y específicamente en la salud animal y humana (Nhari et al. 2014).

El lixiviado de vertederos se puede caracterizar de acuerdo con varios parámetros como el pH, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos disueltos totales (STD) (Jumaah et al.2016).

Los vertederos de relleno sanitario generan un residuo denominado lixiviado, el cual es un tipo de residuo líquido que contiene una gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas (Colombo et al., 2019), así como pueden contener compuestos diversificados, como metales pesados, contaminantes orgánicos, sales inorgánicas y compuestos de nitrógeno (Tigini et al. 2014). El lixiviado contiene contaminantes complejos y la descarga directa de este componente en los cuerpos de agua puede causar una contaminación severa, como la eutrofización y la muerte de organismos acuáticos (Gautam et al., 2019).

Se informó que las microalgas crecen en lixiviados generalmente después de algún tratamiento o dilución del lixiviado en entornos de laboratorio (Edmundson y Wilkie, 2013), a su vez también que se han explorado algunas especies de algas para el tratamiento biológico de efluentes lixiviado (Cheah et al., 2016). Las microalgas son posibles candidatos biológicos para la bioremediación de efluente debido a su rápido metabolismo para asimilar compuestos orgánicos e inorgánicos (Sriram y Seenivasan 2012). De hecho, son capaces de asimilar compuestos inorgánicos de nitrógeno, fósforo y potasio y disminuir la materia orgánica disuelta en las aguas residuales (Jia y Yuan 2016). Actualmente, los métodos de tratamiento de relleno sanitario incluyen principalmente; separación de membrana, procesos de oxidación avanzados (AOP), carbón activado y carbón activado biológico. Pero todavía hay

muchos problemas que impiden la aplicación de estas técnicas entre los que destacan su alto costo y mantenimiento (Ghuge y Saroha, 2018).

En la región de Arequipa no existe un adecuado tipo de control, manejo y tratamiento de lixiviados de relleno sanitario, menos aún el aprovechamiento y valorización de estos residuos.

La producción de biomasa nos permitirá simultáneamente remediar y reciclar contribuyendo a la reducción de lixiviados.

el método utilizado permitirá aprovechar un producto subutilizado (lixiviados) para producir biomasa que podría ser usados para diferentes usos energética (combustibles biogás), bioproductos (biofertilizantes).

Los tratamientos biológicos han ganado importancia ya que han sido considerados como los tratamientos más exitosos (Klauck et al. 2015). Numerosas ventajas defienden el uso de microalgas en lugar de las macrófitas en la fitorremediación, incluida su rentabilidad, formación mínima de lodos, poder de secuestro de gases de efecto invernadero, bajos requerimientos de energía y producción potencial de biomasa útil (Lyon et al.2015). En general, las microalgas se conocen como organismos operativos terciarios eficientes en el tratamiento de aguas residuales (Schwarzenbach et al. 2006).

Para mejorar la rentabilidad en la industria de la producción de las algas se debe enfocar en la fuente de nutrientes. La producción de biomasa de microalgas ha crecido a un ritmo elevado en los últimos años lo que conlleva a un mayor uso de fertilizantes para abastecer la demanda de nutrientes. En este sentido se depende, en gran medida, de los fertilizantes importados, sobre todo los fertilizantes de nitrógeno, fosfato y potasio. Para evitar el uso de fuentes primarias en la fertilización de los campos se están desarrollando nuevas alternativas relacionadas con la revalorización de residuos. Así, los lixiviados tienen un enorme contenido en nutrientes que pueden ser recuperados.

Respecto a la formulación del problema se cuestiona ¿Cuál es el efecto de la concentración de lixiviados en la biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus quadricauda*? Asimismo, los problemas específicos: 1) ¿Como influye los parámetros fisicoquímicos,  $N_{total}$ ,  $P_{total}$  y la cantidad de potasio de

lixiviados en la producción de biomasa de microalgas? 2) ¿Cómo influye las concentraciones de lixiviados en el crecimiento de las microalgas? 3) ¿Cómo influye la concentración optima de lixiviados en el crecimiento de las microalgas? y 4) ¿Cómo influye la concentración de lixiviados en la productividad de la biomasa y el porcentaje de remoción de N, P y K?

El cultivo de microalgas para la producción de biomasa es una tecnología novedosa sostenible y de bajo costo para controlar la contaminación de residuos. Como Objetivo general: Determinar cuál es el efecto de la concentración de lixiviados en la biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus quadricauda*  
Objetivos específicos: 1) Realizar el muestreo y el análisis fisicoquímico de nitrógeno fosforo y potasio de lixiviados de relleno sanitario. 2) Evaluar el crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados. 3) Determinar la concentración optima de lixiviado para el crecimiento de microalgas. 4) Determinar la productividad de biomasa y el porcentaje de remoción de nitrógeno, fosforo y potasio.

Como Hipótesis Alterna: la concentración de lixiviados (Nitrógeno Fosforo y Potasio) tienen un efecto positivo en la producción optima de biomasa de microalgas Hipótesis Nula: la concentración de lixiviados (Nitrógeno Fosforo y Potasio) tienen un efecto negativo en la producción optima de biomasa de microalgas.

## II. MARCO TEÓRICO

Haggerty, Alfred P. (2011) Biomass Crops: Production, Energy and the Environment

En la industria energética, la biomasa se refiere al material biológico que puede utilizarse como combustible o para la producción industrial. La biomasa incluye la materia vegetal cultivada para su uso como biocombustible, así como la materia vegetal o animal utilizada para la producción de fibras, productos químicos o calor. Este nuevo libro presenta la investigación actual en el estudio de los cultivos de biomasa, incluida la conversión de madera en combustibles líquidos; la producción de biomasa de alfalfa; la gasificación de biomasa en medios acuosos y el potencial de producción de biocombustibles.

Almeida et al. (2020). Tratamiento de lixiviados crudos mediante coagulación/floculación y poa solar

El presente trabajo evaluó la eficiencia del pretratamiento del lixiviado crudo de relleno sanitario por coagulación/floculación seguido del proceso oxidativo homogéneo solar ( $H_2O_2/UV$ ). Se realizaron pruebas en Jar-Test, con  $Al_2(SO_4)_3$  y  $FeCl_3$ , para determinar las mejores condiciones de coagulación/floculación, teniendo como variables-respuesta: la eliminación del color verdadero y la turbidez. A continuación, la mejor condición de cada coagulante se sometió al proceso solar  $H_2O_2/UV$ , y se evaluaron las muestras para determinar el color verdadero, la turbidez y la DQO total. En la combinación de coagulación/floculación con  $Al_2(SO_4)_3$  (600 mg $Al_2+L^{-1}$ , pH 5), seguida del proceso solar  $H_2O_2/UV$ , se eliminó el 95,26% del color verdadero, el 69,36% de la turbidez y el 53,92% de la DQO total. El proceso con  $FeCl_3$  (450 mg $Fe_3+L^{-1}$ , pH 4) seguido de  $H_2O_2/UV$  solar obtuvo eliminaciones del 97,01% del color, 79,57% de la turbidez y 62,85% de la DQO total. Se concluyó que el tratamiento utilizado era eficiente y puede ayudar en la aplicación posterior de un tratamiento biológico.

Las microalgas crecen en lixiviados generalmente después de algún tratamiento o dilución del lixiviado en entornos de laboratorio (Edmundson y Wilkie, 2013), a su vez también que se han explorado algunas especies de microalgas para el tratamiento biológico de efluentes lixiviado (Cheah et al., 2016). Khanzada y Ovez (2017) demostraron que el  $NH_4$  presente en los lixiviados se eliminó por completo

diluyendo el lixiviado al 10% con agua dulce, pero las microalgas exhibieron un perfil de crecimiento deficiente debido a la baja cantidad de nutrientes ya que se realizó una dilución al 10% de lixiviado. Se pudo adquirir una concentración máxima de biomasa seca de 1,67 g/L controlando las proporciones de lixiviado al 50%, lo que proporcionó más nutrientes para el crecimiento de microalgas a diferencia de la tasa de dilución del 10%. Para reducir la utilización de agua durante la dilución, Moreno-Garcia et al. (2019) mezclaron cuatro aguas residuales diferentes y obtuvieron una productividad máxima de biomasa de 22.76 mg/L / d. Sin embargo, esta productividad de la biomasa fue baja debido a que las células de microalgas se inhibieron cuando la proporción de lixiviado superó el 13.33%. Para solucionar esto se intentaron otros métodos como el aislamiento de cepas de microalgas tolerantes para resolver la inhibición del crecimiento causada por la toxicidad lixiviado (Paskuliakova et al., 2016), esto mejoró el crecimiento de microalgas y el rendimiento del tratamiento de lixiviado en cierta medida. Pero las cepas de microalgas aisladas no pudieron aplicarse ampliamente a otros tipos de lixiviado ya que las composiciones (especialmente los orgánicos recalcitrantes) de lixiviado de diferentes posiciones variaron significativamente. Hasta ahora, falta un método factible para compensar los efectos inhibidores del lixiviado sobre el crecimiento de microalgas causado por los compuestos orgánicos tóxicos (Chang et al., 2019). El cultivo de algas en aguas residuales puede lograr dos objetivos simultáneamente: producir biomasa de algas para energía (combustibles) y bioproductos y remediar agua de baja calidad para reciclar y reutilizar.

Lin y col. (2007) examinaron la posibilidad de cultivo de microalgas con lixiviados de vertederos y descubrieron que *Chlorella. pyrenoidosa* creció bien en los lixiviados con una concentración de nitrógeno amoniacal de menos de 100 ppm. Edmundson y Wilkie (2013) demostraron que se puede obtener una productividad máxima de 0,55 g/L/ día y un rendimiento celular del 91% con *Scenedesmus sp.*, ajustando el pH del lixiviado a  $7.0 \pm 0.1$ . La mayoría de las microalgas difícilmente pueden crecer en el lixiviado de los vertederos sin tratar, debido a una alta toxicidad (Cheah et al., 2016). Si bien la composición del lixiviado de los vertederos varía según el componente de los desechos sólidos y las condiciones de funcionamiento del vertedero, el lixiviado generalmente contiene altas concentraciones de contaminantes que son altamente inhibitorios para las células de microalgas, como

el nitrógeno amoniacal, materias orgánicas recalcitrantes y color intenso (Sonawane et al., 2017). Por ejemplo, el lixiviado de los vertederos generalmente contiene más de 500 mg/L de nitrógeno amoniacal (Moody y Townsend, 2017). Se informó que la concentración máxima de biomasa de *Chlorella vulgaris* se redujo severamente cuando la concentración de amoníaco en el medio de cultivo de microalgas fue superior a 50 mg/L (Liu et al., 2015). Por lo tanto, el crecimiento de microalgas generalmente es pobre cuando las microalgas se cultivan directamente en lixiviados de vertederos no pretratados y es necesario explorar algunos métodos para evitar los efectos tóxicos del lixiviado de vertederos en las células de microalgas (Richards & Mullins, 2013). (Zhao et al., 2014) realizaron estudios previos de cultivo con lixiviados de vertederos para mejorar la productividad de los lípidos a base de microalgas, ellos se centraron principalmente en; encontrar especies de microalgas tolerantes, realizar tratamiento previo de los lixiviados de vertederos y la optimización de las condiciones de cultivo. Por ejemplo, Zhao et al. (2014) mejoraron la eficiencia de eliminación de nitrógeno amoniacal del 50% al 90% con el consorcio de microalgas-bacterias al reducir la proporción de lixiviados de vertederos en agua dulce del 20% al 10%. Al mismo tiempo, la productividad máxima de lípidos se mejoró de 12.5 a 24.1 mg/L/d. Se probaron otros 5 métodos, como la selección de microalgas tolerantes al nitrógeno amoniacal y la optimización de las condiciones de cultivo de microalgas, para mejorar la biomasa y los lípidos de las microalgas (Paskuliakova et al., 2016). Por lo tanto, el lixiviado de los vertederos puede convertirse en una fuente sostenible de agua y nutrientes en el cultivo de microalgas para la producción de biocombustibles (Salama et al., 2017). Sin embargo, hasta ahora, falta un enfoque efectivo que pueda evitar el efecto tóxico del lixiviado en las células de microalgas y evitar el pretratamiento del lixiviado.

Luego de describir los antecedentes de la investigación, se definirá los conceptos más representativos con la investigación.

Respecto a los rellenos sanitarios, el depósito en un vertedero sigue siendo el método más utilizado para la eliminación de residuos sólidos municipales en casi todos los estados. El relleno sanitario puede considerarse como un entorno complejo, donde tienen lugar muchos procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan. El proceso de degradación de los desechos sólidos municipales en los

vertederos es un evento a largo plazo. Un problema importante con respecto a la eliminación de desechos es la falta de sitios de vertedero disponibles, así como la producción de lixiviados y biogás, que consisten principalmente en dióxido de carbono y metano, que tiene un potencial de calentamiento global 28 veces mayor que el CO<sub>2</sub> (IPPC, 2013).

En cambio, el manejo adecuado puede reducir la cantidad y calidad del lixiviado, pero no puede eliminarse por completo. El lixiviado de los vertederos se genera como una mezcla de percolación del agua de lluvia a través de los desechos, también se produce por la biodegradación de los desechos y el agua presente en los desechos al momento de la deposición (Renou, et al 2008). Su composición se basa en el tipo y cantidad de residuos depositados, así como su madurez y la construcción del vertedero (Kurniawan, Lo y Chan 2006). Las principales etapas consecutivas distintas y consecutivas involucradas en la estabilización de los vertederos son (Worell y Vesilind 2012).

Fase aeróbica, caracterizada por procesos habilitados por el oxígeno presente. En esta fase de aclimatación, se desarrolla suficiente humedad para soportar comunidades microbianas activas. Los cambios iniciales en los compuestos ocurren para establecer las condiciones apropiadas para una mayor degradación bioquímica.

Etapa de hidrólisis y fermentación, donde las moléculas complejas se rompen en fragmentos más pequeños y un ambiente aeróbico se transfiere a uno anaeróbico, la cantidad de oxígeno atrapado se reduce drásticamente y se producen las condiciones reductoras. Los principales aceptores de electrones son nitratos y sulfatos.

Etapa acetogénica anaeróbica, caracterizada por la hidrólisis continua de desechos sólidos, precedida por la producción de ácidos grasos volátiles a altas concentraciones. Los bajos niveles de hidrógeno promueven la actividad de las bacterias metanogénicas, que producen metano y dióxido de carbono a partir de ácidos orgánicos. Esta etapa podría reconocerse por una alta concentración de metales en el lixiviado, debido a su mayor movilidad debido al pH más bajo, incluso por debajo de 4.

Etapa metanogénica anaeróbica, donde la producción significativa de metano es evidente. El pH se incrementa nuevamente a 7-8, debido a la degradación de los ácidos intermedios y la capacidad de amortiguación de los bicarbonatos. La concentración de metales pesados se reduce nuevamente, debido a su complejación y precipitación. Durante esta etapa, las bacterias mesofílicas, que son activas en temperaturas de 30 °C-35 °C, y las bacterias termofílicas, activas en el rango de 45° C-65 °C, dominan la población microbiana.

La etapa de maduración, como la etapa final de la estabilización de los vertederos, podría reconocerse por la baja actividad microbiana debido a la degradación de la fracción biodegradable y al impacto limitante de los nutrientes. Como resultado, la producción de metano disminuye, al igual que la cantidad de contaminantes en el lixiviado, que generalmente se mantiene en un nivel constante. La actividad de degradación lenta de los contaminantes orgánicos resistentes puede observarse mediante la producción de sustancias húmicas y fúlvicas.

La duración de cada fase depende de muchos factores, y el desarrollo y la actividad de los microorganismos dependen del mantenimiento de las condiciones apropiadas. Los lixiviados de vertederos se caracterizan por altas concentraciones de numerosos productos químicos tóxicos y cancerígenos, metales pesados y materia orgánica e inorgánica. Entre los compuestos orgánicos detectados en el lixiviado del vertedero, los compuestos principales son diferentes hidrocarburos, ésteres, alcoholes y cetonas, así como compuestos aromáticos y heterocíclicos (Zhang et al 2013). Además, los lixiviados también pueden contaminarse con bacterias, incluidas bacterias aeróbicas, psicofílicas y mesofílicas, coliformes coliformes y fecales, bacterias formadoras de esporas y numerosos hongos (Zhang et al 2013).

Las concentraciones de compuestos orgánicos, expresados como DQO y demanda de oxígeno biológico en la prueba de 5 días (DBO 5), en el lixiviado joven son altas (fase de formación aeróbica y ácida), mientras que los lixiviados de los vertederos estabilizados (formación de metano y fase de maduración) contienen niveles más bajos. de materia orgánica (Klimiuk y Kulikowska 2006). Varios autores han informado que, en los vertederos jóvenes, la DQO podría variar de 5,000 a incluso más de 60,000 mg L<sup>-1</sup>, con DBO5 a partir de 3,000 L<sup>-1</sup> a incluso 40,000 mg L<sup>-1</sup> [Robinson, 1998]. Esos valores son significativamente más bajos en los lixiviados

de los vertederos maduros, como resultado de los procesos de estabilización biótica en el cuerpo del vertedero. La cantidad total del lixiviado del vertedero producido puede estimarse utilizando datos empíricos basados en mediciones de flujo, o utilizando el balance de masa de agua entre precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial y capacidad de almacenamiento de humedad. Las cubiertas impermeables y los diferentes revestimientos contribuyen mucho a la reducción de la calidad de los lixiviados de los vertederos, pero no pueden reducirla por completo. Ambos parámetros (calidad y cantidad de lixiviados) afectan los intentos de diseño uniforme de los sistemas de tratamiento de lixiviados. La solución de tratamiento óptima puede cambiar con el tiempo debido a la calidad y cantidad cambiantes del lixiviado, y al desarrollo de nuevas tecnologías y la legislación (Williams 2005).

En el muestreo de lixiviados, una vez que el lixiviado ingresa a una instalación de almacenamiento o entra en contacto con el aire, está sujeto a reacciones físicas, químicas y biológicas que pueden cambiar la composición del lixiviado. Por lo tanto, la muestra mejor representativa debe recolectarse lo más cerca posible del punto de generación del lixiviado, idealmente tan pronto como el lixiviado abandone los residuos. La ubicación de recolección de lixiviados debe seleccionarse con este objetivo en mente. Por lo general, el lixiviado se recolecta mediante muestras al azar, es decir, muestras únicas tomadas en momentos específicos. El lixiviado se colecta por gravedad o por bombeo. Si el lixiviado se elimina por gravedad, la recolección de muestras en el emisor del flujo por gravedad permite recolectar una muestra de lixiviado representativa. Si el lixiviado fluye hacia un pozo húmedo, la muestra debe recolectarse del lixiviado que fluye hacia el pozo húmedo; este líquido proporcionará una muestra representativa de mejor calidad que el líquido acumulado en el pozo húmedo o la descarga bombeada del pozo húmedo. Si el lixiviado se elimina de la unidad de relleno sanitario mediante bombeo, las muestras tomadas en la descarga de la bomba proporcionan la muestra mejor representativa, pero solo cuando el nivel de líquido en el sumidero se acerca a su punto de ajuste más bajo, ya que este lixiviado abandonó recientemente la masa de residuos sólidos urbanos. Este lixiviado está relativamente sin mezclar ya que la mayor parte del lixiviado previamente generado almacenado en el sumidero se eliminó antes de alcanzar el punto de ajuste más bajo.

El lixiviado almacenado en un depósito de evaporación y almacenamiento se altera por reacciones in situ, evaporación y precipitación. Por lo tanto, la cuenca de lixiviados es un lugar inaceptable para tomar muestras para predecir la reducción y / o terminación de PCC. Se debe recolectar muestras de lixiviado separadas de cada unidad de relleno sanitario y es más representativa de la estabilidad de los desechos de la unidad que una muestra de lixiviado tomada de varias unidades contribuyentes. Sin embargo, se sugiere que se recolecte una muestra combinada de lixiviados que represente todas las unidades para confirmar los resultados de las unidades individuales y definir la cantidad y composición final del lixiviado.

Respecto a la frecuencia de mediciones, la capacidad de definir una tendencia en la composición del lixiviado y la cantidad / tasa de flujo dependerá de la frecuencia de las mediciones. Las mediciones más frecuentes permitirán una mejor determinación de la composición del lixiviado y la cantidad / tasa de flujo en cada unidad de operación del relleno. Aunque no es obligatorio, se recomienda inicialmente muestrear unidades individuales y corrientes de lixiviado combinadas trimestralmente para proporcionar datos adecuados para el análisis de tendencias. Esta información se puede utilizar para determinar el tipo de datos que se recopilarán, la frecuencia a largo plazo de la recopilación de datos (al menos una vez al año) y la metodología propuesta para evaluar los datos en términos de establecer la reducción y / o terminación del PCC. Deben utilizarse métodos estadísticos apropiados (no paramétricos) para hacer comparaciones a largo plazo de la composición y cantidad de lixiviados. Si el relleno sanitario tiene un sistema de recolección y control de gas, es mejor realizar el muestreo de gas de relleno sanitario al mismo tiempo que el muestreo de lixiviados de la misma unidad (es) para que se puedan hacer correlaciones más útiles entre los dos conjuntos de datos. para caracterizar la estabilización de los rellenos sanitarios.

Las herramientas, dispositivos y métodos pueden variar con la forma, consistencia y localización de los materiales de desechos que van a ser muestreados. Como parte del proceso de OCD (Objetivo de Calidad de Datos), se identifica el sitio (tipo de unidad u otro recurso de descripción) a partir de las muestras que van a ser recolectadas y la "dimensión" del problema del muestreo (una dimensión, dos dimensiones). En el proceso de OCD, también se puede especificar el tamaño,

forma, orientación y otras características para cada muestra (llamada muestra soporte).

Respecto a los tipos de desecho o medio a ser muestreado, pueden incluir líquidos, sedimentos, lodos, varios sólidos no consolidados, sólidos consolidados y escombros, aceites, aguas subterráneas, biogás y aire. En general los tipos de medio describe el estado físico del material que va a ser muestreado. Las características físicas del desecho o el medio afectan varios aspectos del muestreo, incluyendo el volumen de material requerido, selección del dispositivo apropiado para el muestreo, como el dispositivo utilizado, y los tipos de contenedores para almacenar las muestras.

El “sitio o punto de recolección de la muestra” puede incluir (1) el punto en el cual el desecho es generado (como desechos que salen de un tubo, de un medio de transporte, o dispuestos o situados en un contenedor o tanque u otra unidad de disposición de desecho); (2) la unidad en donde el desecho es almacenado (como un barril, depósito de desechos, pilas desecho, superficies comprimidas, costal o bolsa) o transportadores (como tanques de barril, camión petrolero o cajas trasportadoras); o (3) el medio ambiental que va a ser muestreado (como una superficie sólida, suelo subterráneo, agua subterránea, agua superficial, biogás, o aire).

Para las técnicas de tratamiento de lixiviados, se requiere un conocimiento satisfactorio de las características del lixiviado de los vertederos para comprender el rendimiento variable encontrado en el tratamiento del lixiviado, ya sea por métodos biológicos, físicos o fisicoquímicos. En los últimos años, el tratamiento biológico ha atraído más interés debido a sus muchas ventajas, que incluyen una variedad de fuentes y la facilidad y rapidez con que los microorganismos pueden ser cultivados y producidos (Zhao et al. 2010) Estos sistemas se dividen en condiciones aeróbicas (con oxígeno) y anaeróbicas (sin oxígeno). En particular, el uso de microorganismos o bacterias para eliminar los contaminantes en el lixiviado es a través del proceso de asimilación. Este proceso ayuda a aumentar el metabolismo microbiano y los componentes básicos de la célula viva. Como resultado, las condiciones metabólicas de las células vivas son capaces de eliminar los parámetros de lixiviados. Independientemente de la elección de la aplicación, una selección adecuada de tratamiento biológico requiere una amplia reflexión para

cultivar y mantener una biomasa sana aclimatada, tolerancia al caudal y cargas orgánicas a tratar. Hasta ahora, los tratamientos biológicos siguen siendo uno de los medios aceptables en el tratamiento de lixiviados porque ofrece un bajo capital y costos operativos para los operadores. Adicionalmente, El tratamiento biológico se ha demostrado muy eficaz en la eliminación de materia orgánica y nitrogenada (Abbas et al. 2009) incluyendo los lixiviados inmaduros cuando el BOD 5 concentración es alta y el BOD 5 relación / COD es de más de 0,5 (Renou et al. 2008). Sin embargo, a medida que avanza la biodegradación de los desechos sólidos, la eficiencia del proceso biológico se reduce debido a la creciente cantidad de compuestos refractarios, a saber, los componentes de los ácidos fúlvico y húmico en el lixiviado. Sin embargo, la simplicidad, la facilidad de operación y la confiabilidad han sido los métodos de elección en el empleo de procesos biológicos en los primeros días del proceso de tratamiento de lixiviados de vertederos (Renou et al. 2008). En esta sección, resumimos algunos sistemas de crecimiento suspendidos y unidos que se usan comúnmente en el tratamiento de lixiviados, como el reactor discontinuo, el biorreactor, la planta de crecimiento y el consorcio microbiano, y la combinación de dispositivos biológicos. Estas técnicas, aunque se han visto como prácticas convencionales, aún son confiables en el tratamiento de altos contenidos de DBO 5 en el lixiviado del relleno sanitario, particularmente para el relleno sanitario clasificado como de clase joven e intermedia.

El término microalgas cubre todos los organismos oxigénicos con clorofila "a" como pigmento fotosintético común (Richmond 2008). La biodiversidad de las microalgas es sobresaliente, y se estima que existen entre 200,000 especies y varios millones de especies en la naturaleza; sin embargo, se ha estudiado y analizado un número muy limitado (Mata et al. 2010). Entre las microalgas, los grupos más importantes de microalgas en términos de abundancia son las diatomeas, las algas verdes, las algas verdeazuladas y las algas pardas. Las algas Clorofitas (algas verdes) incluye una gran cantidad de microalgas con gran variabilidad morfológica como flagelados cocoides, unicelulares o coloniales y filamentos multicelulares o multinucleados (Richmond 2008). Contienen clorofila a,b que le da un color verde. Junto con las clorofilas, los carotenoides se sintetizan y acumulan en el cloroplasto.

Para el crecimiento de microalgas, los medios deben suministrar todos los componentes necesarios necesarios para el crecimiento y mantenimiento del

organismo. Los parámetros óptimos, así como el rango tolerado, son específicos de cada especie, y cada parámetro debe determinarse individualmente (Lavens y Sorgeloos 1996). Todos estos parámetros no solo afectan la fotosíntesis y la productividad de la biomasa celular, sino que también influyen en el patrón, la ruta y la actividad del metabolismo celular y, por lo tanto, cambian la composición celular (Richmond y Hu 2013). Por lo tanto, al cultivar microalgas, se deben considerar varios factores, y los parámetros más importantes que regulan el crecimiento de algas incluyen la cantidad y calidad de nutrientes, luz, dióxido de carbono, Temperatura, pH, turbulencia y salinidad, nutrientes

Los nutrientes son compuestos inorgánicos u orgánicos distintos del CO<sub>2</sub> y el agua, utilizados para el crecimiento. Los medios utilizados para cultivar las microalgas deben tener cantidades suficientes de nutrientes en proporción adecuada para su crecimiento adecuado. El medio de cultivo de microalgas introducido por primera vez por Pringsheim (1950) consiste en un medio bifásico de suelo y agua. Sin embargo, la composición química de los medios no se definió adecuadamente. Por lo tanto, para superar el problema, Vonshak (1986) estableció otro medio de cultivo de microalgas que contiene fuente de carbono (orgánico o inorgánico), fuente de nitrógeno, oligoelementos y agentes quelantes, vitaminas, contenido de sal y otros componentes iónicos (potasio, magnesio, sodio, sulfato) y fosfato) basado en la composición celular. Se ha diseñado una gran cantidad de medios de cultivo con diversas proporciones de nutrientes, mientras que algunos medios se derivan del análisis del agua en el hábitat nativo y la ecología de las microalgas. Además, algunos medios son específicos de la especie, mientras que otros son muy generales para diversas microalgas. Algunos de los medios de uso común se describen a continuación: Medios basales en negrita (Bold 1949; Bischoff y Bold 1963; Stein 1973). Medio de crecimiento de medios BG11 para algas verdeazuladas y algas verdes de agua dulce Rippka et al. 1979). El medio F / 2 (Guillard y Ryther 1962; Guillard 1975) es un medio ampliamente utilizado (generalmente enriquecido con agua de mar) para diatomeas y microalgas marinas. Medio Walne (Walne 1970) y ASN-III (Rippka et al. 1979) utilizados para el cultivo de cianobacterias marinas y algas verdes eucariotas. Sin embargo, debido a la complejidad y el costo de los medios de cultivo anteriores, puede que no sea factible usarlos para la producción a gran escala de biomasa microalgal. Los medios de

crecimiento alternativos compuestos de fertilizantes de grado agrícola disponibles comercialmente (NPK, urea, potasa, superfosfato) son adecuados para el cultivo de microalgas a gran escala. Entre los nutrientes, el nitrógeno representa alrededor del 7-10% del peso seco de las células (DCW) y es un componente esencial de todas las proteínas estructurales y funcionales en las células de algas. Las microalgas tienen una capacidad limitada para producir materiales almacenados en nitrógeno cuando crecen en condiciones de nitrógeno suficiente. La decoloración de las células de microalgas es común en los medios deficientes en nitrógeno debido a la disminución del contenido de clorofila y al aumento de los carotenoides. La limitación adicional de nitrógeno muestra una degradación activa y específica de los ficobilisomas, y la fotosíntesis continúa a una velocidad lenta. Como resultado, el carbono fotosintéticamente fijo se desvía de la síntesis de proteínas a las vías para la síntesis de carbohidratos y lípidos. Una mayor deficiencia de nitrógeno puede causar varios cambios en las células, donde la limitación de nitrógeno podría activar el diacilglicerol aciltransferasa que convierte la acil-CoA en triglicérido (TAG) (Xin et al. 2010). El nitrógeno se puede suministrar en forma de urea, nitrato y amoníaco. Entre todas las fuentes de nitrógeno, el nitrato se usa principalmente; sin embargo, la urea y el amoníaco también muestran un crecimiento similar de microalgas. Una combinación de urea y nitrato de sodio para el organismo *Desmodesmus sp.* mostró el mayor contenido de biomasa seca libre de cenizas con un rendimiento de 4,15 0,38 g/L (Lin y Lin 2011). Además del consumo de urea por las microalgas, el átomo de carbono presente en la urea se libera como CO<sub>2</sub> y se utiliza como fuente de carbono en la fotosíntesis (Neenan et al. 1986). Además del nitrógeno, el fósforo es otro elemento importante para llevar a cabo muchos procesos celulares, como la transferencia de energía y la biosíntesis de ácido nucleico. Además del nitrógeno y el fósforo, el azufre, el potasio, el sodio, el hierro, el magnesio, el calcio y los oligoelementos como el magnesio, el zinc, el molibdeno, el cobalto y el vanadio también son importantes para el crecimiento de microalgas (Grobbelaar 2004). El silicato adicional se usa como una fuente principal para algunos cultivos de microalgas (diatomeas) para su síntesis de la pared celular. Además de todo esto, algunas microalgas necesitan algunas vitaminas como la tiamina (B1), la cianocobalamina (B12) y, a veces, la biotina.

Al igual que las plantas, las microalgas requieren luz como fuente principal de energía para llevar a cabo la fijación de CO<sub>2</sub> en la materia orgánica en el proceso de fotosíntesis (Goncalves Pires y Simoes 2016).

Para una fotosíntesis adecuada, tres variables de luz son importantes, como la intensidad, la calidad espectral y el fotoperíodo (período claro/oscurο) (Lavens y Sorgeloos 1996). Por lo general, la mayor parte del problema en el cultivo de microalgas está relacionado con la intensidad de la luz, ya que la baja intensidad causa foto limitación y la mayor intensidad causa foto inhibición. La fuente de luz para el crecimiento de microalgas puede ser natural (luz solar) o artificial suministrada por tubos fluorescentes (Matthijs et al., 1996).

El requerimiento de luz varía mucho con el crecimiento del cultivo (densidad) y el sistema de cultivo (profundidad). En general, a medida que las microalgas crecen y se reproducen, aumenta la densidad de biomasa. Como resultado, las microalgas distantes de la superficie están sombreadas por el cultivo de microalgas presente entre esta y la fuente de luz, recibiendo así una menor cantidad de luz (Matthijs et al., 1996). En este caso, la intensidad de la luz debe aumentarse para penetrar a través del cultivo (se necesitan 1,000 lux de luz para el matraz Erlenmeyer y 5,000–10,000 para un volumen mayor). Además, una intensidad de luz demasiado alta (que la necesaria) puede dar lugar a una fotoinhibición que provoca una disminución de los pigmentos fotosintéticos (Adir et al. 2003). Aunque el rango de radiación solar es muy amplio, las microalgas solo pueden usar radiación entre 400 y 700 nm. Esta parte del espectro solar se llama "radiación activa fotosintética" (PARS) y representa el 43% de la radiación solar (Goncalves Pires y Simoes 2016).

Las células de microalgas cultivadas en condiciones de luz limitada asimilan el carbono hacia la síntesis de aminoácidos y otros constituyentes celulares esenciales, pero en condiciones de luz saturada, los azúcares y el almidón se forman a través de la vía reductora de fosfato de pentosa, lo que sugiere la dependencia de la composición de biomasa con la luz. disponibilidad (Harun et al. 2014). Los tubos fluorescentes que emiten en el espectro de luz azul o roja pueden ser preferidos ya que son la porción más activa del espectro de luz para la fotosíntesis (Goncalves Pires y Simoes 2016).

Además, a diferencia de la intensidad de la luz, el fotoperíodo (ciclo claro / oscuro) juega un gran papel en el cultivo de microalgas. Esto se debe a que la división celular ocurre en condiciones oscuras para muchos cultivos fotosintéticos unicelulares, mientras que para otros, la división celular ocurre tanto en la fase oscura como en la iluminada (Harun et al. 2014). Aunque el fotoperíodo varía de un organismo a otro, para aplicaciones industriales que relacionan la relación entre el costo de la energía y la producción de biomasa correspondiente, 12-15 h de iluminación se considera el período óptimo (Harun et al. 2014).

La temperatura óptima para el cultivo de fitoplancton es generalmente entre 20 y 24°C. Además, el rango de temperatura varía con la composición del medio de cultivo y el organismo cultivado (Adlerstein et al., 1997). Las microalgas más comúnmente utilizadas toleran temperaturas entre 16 y 27°C. La temperatura por debajo de la óptima puede no matar las microalgas, pero reduce la tasa de crecimiento, mientras que las altas temperaturas matarán a la mayoría de las microalgas (Goldman y Ryther (1976).

La concentración total de sal depende principalmente del origen ecológico del organismo. Los cambios de salinidad normalmente afectan a las microalgas de tres maneras: estrés osmótico, estrés iónico y cambios en la concentración de iones celulares debido a la permeabilidad selectiva del ión a través de la membrana. Las microalgas marinas son extremadamente tolerantes a los cambios en la salinidad. La mayoría de los organismos crecen mejor con una salinidad ligeramente inferior a la de su hábitat nativo. Se ha encontrado que las salinidades de 2.0 a 2.5‰ son óptimas para las microalgas (Lavens y Sorgeloos 1996).

La mayoría de las microalgas crecen en el rango de pH de 7 a 9, mientras que el rango óptimo es de 8,2 a 8,7 (Lavens y Sorgeloos 1996). A medida que crece el cultivo, el pH del medio de cultivo aumenta con el tiempo como resultado del consumo continuo de CO<sub>2</sub>. Si el pH no se mantiene dentro del rango óptimo, puede provocar la interrupción de muchos procesos celulares, lo que lleva a la inhibición del crecimiento de la biomasa. El pH en el cultivo en crecimiento se puede mantener ya sea mediante aireación simple o mediante la adición de CO<sub>2</sub> adicional.

La mezcla continua del cultivo es esencial para la producción exitosa de biomasa de microalgas. La mezcla proporciona una distribución adecuada de nutrientes, luz,

CO<sub>2</sub> disuelto, eliminación de O<sub>2</sub>, mantenimiento del pH, gradiente de temperatura y evade la formación de sedimento de algas (Lavens y Sorgeloos 1996). Además, mejora el intercambio de gases entre el medio de cultivo y el aire. Al crecer las algas, el CO<sub>2</sub> disuelto en el cultivo se vuelve limitado. En este caso, la difusión del cultivo con CO<sub>2</sub> como microburbujas se puede llevar a cabo enriqueciendo la aireación (solo aire que contenga 0,03% de CO<sub>2</sub>) o mezclando gas CO<sub>2</sub> puro con aire en caso de densidad de biomasa pesada (a una tasa del 1% del volumen de aire) para un crecimiento adecuado de microalgas. Este proceso no solo proporciona CO<sub>2</sub> para un mejor crecimiento, sino que también mantiene el pH mediante el equilibrio de CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub> y proporciona una mejor mezcla del cultivo de algas. Dependiendo del volumen de cultivo, la mezcla se logra mediante el uso de agitador en biorreactores o agitador orbital fotosintético, pero para operaciones a gran escala como estanques de canalización, las ruedas de paletas son más adecuadas. Además, la mezcla de cultivos es específica de la especie (Gouveia 2011).

En condiciones de crecimiento natural, las algas fotoautotróficas absorben la luz solar y asimilan el CO<sub>2</sub> del aire y los nutrientes de los hábitats acuáticos. Por lo tanto, cualquier producción artificial debería intentar replicar y mejorar las condiciones naturales óptimas (Brennan y Owende 2009). La producción de microalgas se puede realizar en una variedad de sistemas, ya sea como cultivo puro o como consorcio con un mínimo de sofisticación y equipos. Comprender y aprovechar la biología de las cepas de algas seleccionadas para su uso en los sistemas de producción es la base para procesar la materia prima en combustibles y productos (Chisti 2007).

Después de seleccionar la cepa de microalgas, es necesario desarrollar una gama de bioprocesos que hagan viable su comercialización. Por lo tanto, el diseño y la optimización de biorreactores para cultivar estos microorganismos es un paso importante para transformar los hallazgos científicos en un producto comercializable. Desde un punto de vista comercial, un sistema de cultivo de microalgas debe tener tantas de las siguientes características como sea posible: alta productividad de área, alta productividad volumétrica, bajo costo (tanto en términos de costos de inversión como de mantenimiento), control simple de los parámetros de cultivo (temperatura, pH, CO<sub>2</sub>, turbulencia), eficiencia energética y

fiabilidad (Olaizola 2003). Los métodos de cultivo adoptados para las microalgas son tradicionalmente en estanques abiertos, conocidos como estanques de alta velocidad o estanques de canalización, o en sistemas cerrados conocidos como fotobiorreactores. Para minimizar los costos, las algas a menudo se cultivan utilizando la luz solar como fuente de luz gratuita, aunque es variable con los cambios diarios y estacionales en la cantidad de luz disponible. Cada sistema tiene sus propias ventajas y desventajas.

En biorremediación la aplicación de microalgas para eliminar contaminantes de los residuos se denomina ficorremediación (Ankit et al., 2020). El enfoque de microalgas para el tratamiento de aguas residuales ha sido ampliamente informado en la literatura científica disponible. Sin embargo, las técnicas de ficorremediación son relativamente novedosas y tienen muchas ventajas en el campo del tratamiento de lixiviados de vertederos (tabla 1). Desde 2007, se encontraron 22 artículos de investigación que se centran en el tratamiento de lixiviados utilizando microalgas. Estos estudios se realizaron principalmente en escala de laboratorio. Existen ciertas limitaciones que deben superarse a través de la investigación para la implementación a gran escala de ficorremediación de lixiviados de vertederos.

Estos estudios se realizaron en gran medida en un entorno de laboratorio en modo discontinuo con un volumen de tratamiento que varía de 15 ml a 12.5 L. Por ejemplo, Lin et al. (2007) utilizaron 3 cepas de algas: *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlamydomonas snowiae* (ambas aisladas del estanque de lixiviados con alto contenido de amoníaco) y *Chlorella pyrenoidosa* (aisladas de un río no contaminado) para tratar muestras de lixiviados de vertederos diluidos (10%, 30%, 50 %, 80% y 100% de concentración de lixiviados) en un estudio a escala de laboratorio. El estudio informó un alto crecimiento de algas para *C. pyrenoidosa* (tanto para las cepas) como un crecimiento moderado para *C. snowiae*. Se observó un efecto inhibitorio de la alta concentración de lixiviados en el crecimiento de algas (50% de lixiviados de *C. pyrenoidosa*, y 30% de lixiviados para *C. snowiae*). Las razones clave para la disminución del crecimiento fueron la alta concentración de amoníaco (> 670 mg/L) y el agotamiento del dióxido de carbono que aumentó el pH y condujo a la volatilización del NH<sub>3</sub>. La cepa de algas *C. pyrenoidosa*, aislada del estanque de lixiviados, mostró cierta tolerancia al amoníaco. Edmundson y Wilkie (2013) estudiaron el crecimiento de *Scenedesmus cf. rubescens* y *Chlorella cf. ellipsoidea*

en lixiviado de relleno sanitario (RS) al 100% y lo comparó con la tasa de crecimiento respectiva en los medios basales de Bold (BBM) ajustado con HCl. Ambas especies crecieron, pero *Scenedesmus* cf. *Rubescens* mostro una mayor tasa de crecimiento y producción de biomasa que *Chlorella* cf. *elipsoidea*. El estudio sugiere que el papel del pH en el rango ácido es crítico para el crecimiento favorable de algas, ya que el pH no regulado hace que los medios sean alcalinos, lo que posteriormente favorece la producción de  $\text{NH}_3$  libre en los medios, lo que lo hace tóxico para el crecimiento de algas. Richards y Mullins (2013) exploraron un enfoque dinámico del sistema que utiliza un modelo simple de microalgas y detritos para estimar la eliminación de metales pesados, la formación de lípidos y la tasa de crecimiento de algas en el agua lixiviada-hipersalina. Para estudiar el impacto de la temperatura, el modelo incluyó una distribución normal y asimétrica de la temperatura. Las cuatro especies de algas estudiadas fueron *Nanochloropsis gaditana*, *Pavlova lutheri*, *Tetraselmis chuii* y *Chaetoceros muelleri*. Los datos experimentales mostraron que después de 10 días se eliminó el 95% de los metales de la solución con *N. gaditana* y *C. muelleri* mostrando la mayor tasa de crecimiento y contenido de lípidos. El estudio no discutió la DQO / DBO y la eliminación de amoníaco.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

El enfoque de investigación es cuantitativo por que el estudio se centra en medir, cuantificar y analizar los datos numéricos de las variables para probar hipótesis. Los datos cuantitativos se analizan utilizando métodos estadísticos con el fin de explicar lo que se observa.

El tipo de estudio corresponde a una investigación experimental por la manipulación de variables de interés (causa – efecto) y longitudinal prospectiva por las evaluaciones periódicas realizadas.

El diseño de investigación es experimental, puede identificar y cuantificar las causas de influencia en la investigación experimental. En el diseño experimental, una o más variables relacionadas con la causa se manipulan deliberadamente para medir su influencia sobre otra variable relacionada. El diseño experimental estipula una serie de criterios, que se relacionan con qué variables manipular, de qué manera, cuántas veces repetir el experimento y en qué orden realizar las operaciones para determinar la necesidad de una causalidad asumida con un grado predeterminado de confianza. Es una estructura de investigación en la que se manipula al menos una variable y las unidades se asignan aleatoriamente a diferentes niveles o categorías de una o más variables manipuladas.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **Variable dependiente**

Producción de biomasa de microalga *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus sp.*

##### **Variable independiente**

Lixiviados de relleno sanitario

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

#### **Población**

En La ciudad de Arequipa se encuentran diversos botaderos tales como el Botadero Municipal Alto Cayma, la Rinconada en el anexo Yanayaco en Characato, el Cebollar Sector de Jesús entre Paucarpata y Sabandia, La Pascana en Yura, Botadero Municipal de Miraflores, Botadero la Estrella en Cerro Colorado, Zorro Negro y el relleno sanitario de Quebrada honda en Distrito de Yura. La población que se tomara como punto de estudio es la zona de Quebrada - Honda en donde se ha construido el nuevo relleno sanitario y viene funcionando a partir del año 2016. En la actualidad se encuentra en operativa y produce un volumen anual de lixiviados de  $18.824 \times 10^5 \text{ m}^3$  (/15 años)  $V \text{ anual} = 1\,254 \text{ m}^3 / \text{año}$ .

#### **Muestra**

La muestra de lixiviado será a las concentraciones de 0,10% 50% y 100% V/V. Estas concentraciones se tomaron como referencia en base a los estudios realizados por García et al. (2019) quienes realizaron tratamientos de 0%, 7%, 10% y 15% de lixiviados en el crecimiento de microalgas en consorcio con bacterias, por otro lado, Cheung, Chu y Wong (1993) evaluó el 50% de lixiviado en el crecimiento de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Dunaliella tertiolecta*, las cuales mostraron crecimiento. Por lo que se decidió realizar estudios con valores de concentración de lixiviado por encima de los antes mencionados.

#### **Muestreo**

Para evaluar el crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados se implementará un ensayo experimental mediante un diseño completamente al azar (DCR).

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

#### **Técnicas de Investigación:**

- Técnicas de muestreo
- Técnica de cultivo celular para microalgas

- Técnica de conteo celular
- Técnica de medida de peso seco

#### Fuentes de investigación:

- Artículos científicos, libros y tesis

#### Equipos:

- Potenciómetro
- Cámara de conteo de Neubauer
- Balanza digital de precisión

### 3.5. Procedimientos

#### 3.5.1. Evaluación del crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados

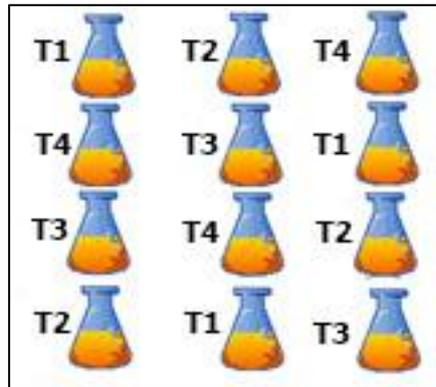
##### a) Preparación de la muestra de lixiviado

El medio de crecimiento esterilizado conteniendo diferentes concentraciones de lixiviado será preparado en frascos de 500 ml de capacidad, mediante la dilución de lixiviado crudo con agua destilada esterilizada para alcanzar las concentraciones de 10, 50 y 100% v/v de lixiviado en bruto. Por ejemplo, se obtendrá un lixiviado al 10% v/v al mezclar 10 ml de lixiviado con 90 ml de agua destilada y al 30% v/v de lixiviado al mezclar 30 ml de lixiviado con 70 ml de agua destilada.

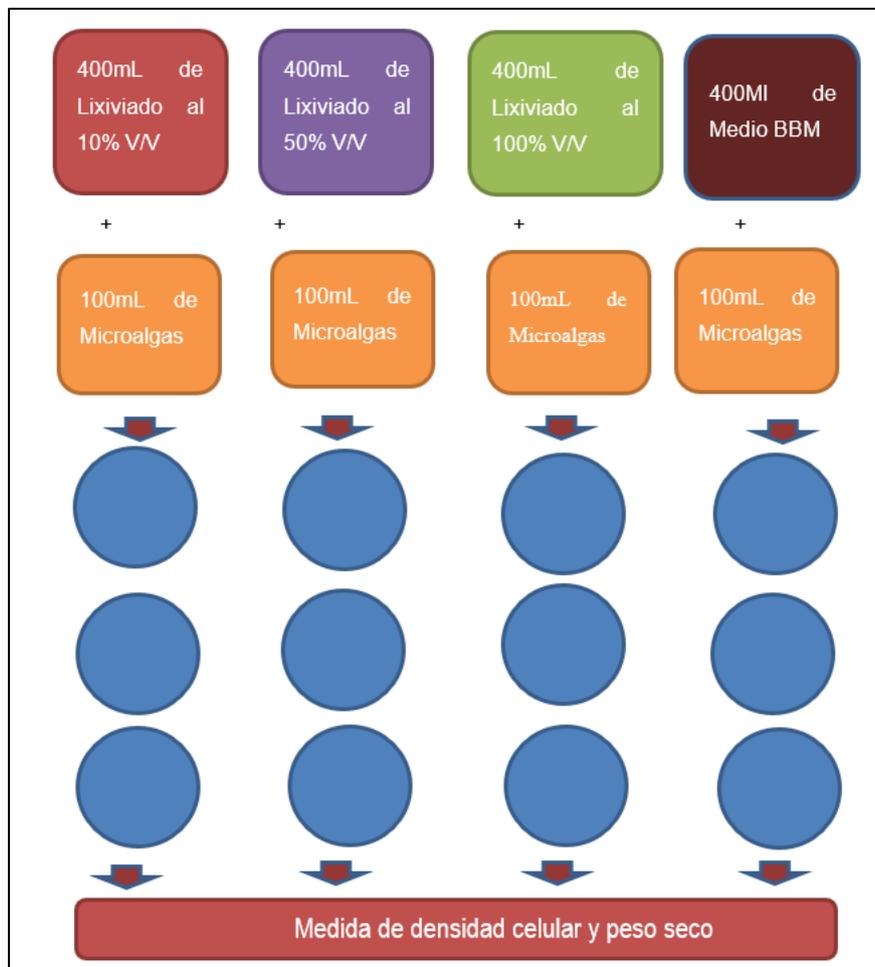
Tabla 1: *Esquema de los tratamientos*

FACTOR	TRATAMIENTOS	REPETICIONES
Dilución del Lixiviado	T1: (0 %) Control solo medio BBM	3
	T2: 10%	
	T3: 50%	
	T4: 100%	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 1:** Disposición de tratamientos en las unidades experimentales



**Figura 2:** Esquematación del diseño de investigación  
Fuente: Elaboración Propia

#### b) Cultivo de microalgas

Las microalgas utilizadas en el estudio fueron las especies *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus* sp. El cultivo puro de estas microalgas se realizó por separado en frascos de 1 litro usando el medio de crecimiento Bold's Basal Medium (BBM) (Nichols 1973). Estas microalgas se cultivaron en el rango de temperatura de 25°C bajo lámparas fluorescentes de luz diurna de 3600 lx y con un fotoperíodo de 16 h / 8 h (ciclo claro/oscur).

### 3.5.2. Determinación de la concentración óptima de lixiviado para el crecimiento de microalgas

#### a) Determinación de la viabilidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus* sp.

Para determinar qué microalga será la más resistente y la que podría sobrevivir en el lixiviado, se realizó un cultivo de estas dos microalgas a una concentración de lixiviado del 10% (v/v) y se comparó con otro cultivo crecido en medio basal de Bold (BBM). Se realizó un primer experimento con cada microalga, la cual será cultivada por separado en un volumen de 80 ml en frascos de 100ml en una concentración de lixiviado al 10% (v/v), luego se añadirá un inóculo de  $4 \times 10^5$  células mL<sup>-1</sup>. Se realizó un segundo experimento con las dos cepas mezcladas en el mismo frasco para estudiar su crecimiento simultáneo en lixiviados. Se realizó una prueba de control con el medio BBM para hacer una comparación de crecimiento. Estos dos primeros experimentos conducirán a deducir qué especie de microalga es la más resistente al lixiviado.

#### b) Crecimiento de microalgas a diferentes concentraciones de lixiviados

Se prepararon diferentes concentraciones de lixiviados de la siguiente manera: 10%, 50% y 100% (v/v) (lixiviado crudo) mezclándolo con agua destilada, hasta obtener tratamientos de 400 ml de volumen total. Estas diferentes concentraciones de lixiviado fueron inoculadas con 100 mL de cultivo de microalga, aproximadamente de  $20 \times 10^5$  células mL<sup>-1</sup>. El frasco con medio BBM fue considerado como medio de cultivo control. Todas las

soluciones se cultivaron a una temperatura de 25°C y a una luz favorable de 3600 lx. La duración del experimento fue de aproximadamente 15 días. Además, se tomarán muestras de las diferentes concentraciones de lixiviados preparadas cada 2 días para determinar los efectos del lixiviado en el crecimiento de algas, la densidad de crecimiento y el peso seco.

### c) Medición del crecimiento de algas

El crecimiento celular se evaluó cada dos días de acuerdo al método de conteo celular usando hemocitómetros y un microscopio óptico. La densidad celular se expresó como ( $\times 10^5$  células mL<sup>-1</sup>). La tasa de crecimiento  $\mu$  (día<sup>-1</sup>) se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula (ecuación 1):

$$\mu \text{ (día}^{-1}\text{)} = \frac{\log N_2 - \log N_1}{T_2 - T_1}$$

Donde N1 y N2 representan la densidad celular ( $\times 10^5$  células mL<sup>-1</sup>) en el momento T1 y T2 durante la fase exponencial, respectivamente (Lim et al. 2010).

La determinación de peso seco se realizó de la siguiente manera: Se filtró 20 ml de cultivo de microalgas mediante un filtro de membrana de 2 $\mu$ m. El filtro con la biomasa retenida fue colocado en una estufa por 24 h a 105°C, luego el peso se determinó en una balanza de precisión restando el peso del filtro con y sin biomasa.

### **3.5.3. Determinación de la productividad de biomasa y el porcentaje de remoción de nitrógeno, fosforo y potasio.**

La determinación de la productividad de las microalgas se realizó mediante, la siguiente ecuación:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Biomasa Seca}}{\text{Volumen de cultivo} \times t}$$

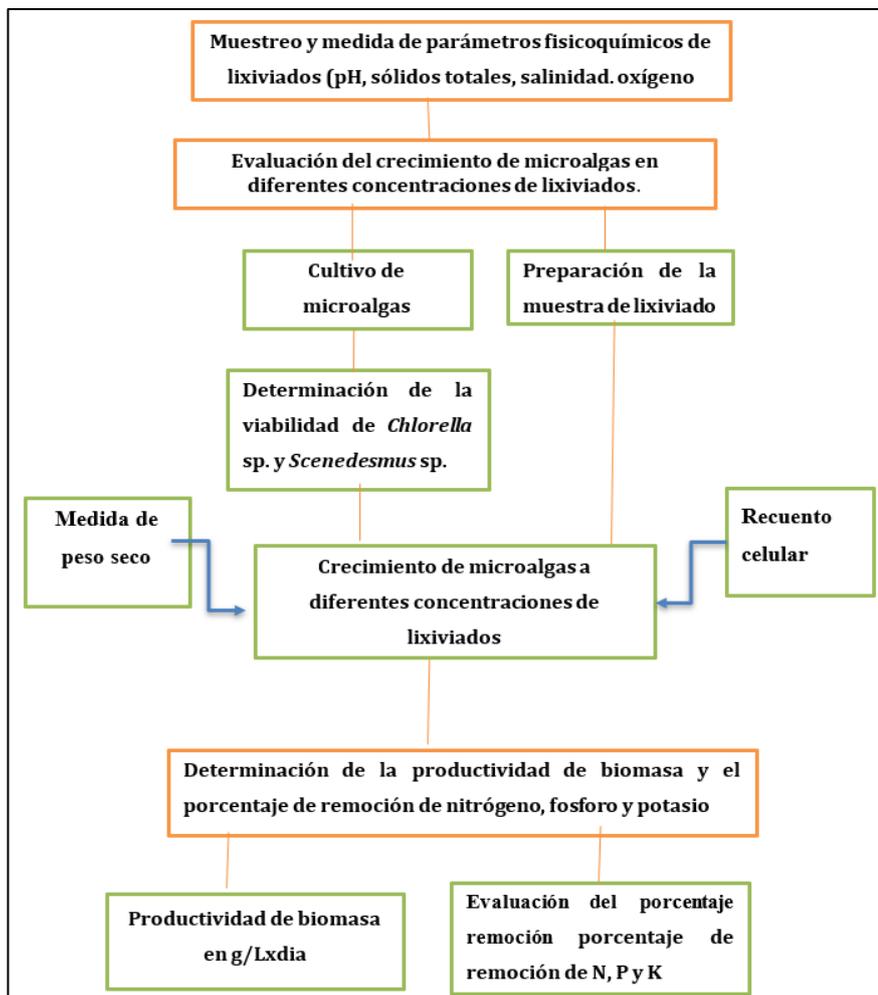
Donde la biomasa seca es la cantidad en gramos obtenida del cultivo y las unidades del volumen de cultivo es en litros y t es tiempo de cultivo.

Al final del experimento se realizó la medición de nitrógeno, fosforo y potasio. Esta medición fue analizada según el Standard Methods for the Examination

of Water and Wastewater USA APHA WDC2005 19th ed (APHA, 2005). La evaluación de la eficiencia de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio se expresó mediante porcentaje, según la ecuación (Saavedra et al., 2018).

$$C = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Donde,  $C_i$  = concentración inicial de N, P y K ( $\text{mg. L}^{-1}$ );  $C_f$  = concentración final de, N, P y K ( $\text{mg. L}^{-1}$ ).



**Figura 3:** Muestreo y medida de parámetros fisicoquímicos de lixiviados (pH, sólidos totales, OD, N, P y K).

Fuente: Elaboración propia

### **3.6. Análisis estadístico**

Los promedios y las desviaciones estándar de la densidad celular determinados para las diferentes soluciones de lixiviados se calcularon estadísticamente, y las diferencias entre los resultados de los lixiviados de microalgas tratadas y no tratadas se someterán al modelo lineal general (ANOVA) usando SPSS (versión 20.0, SPSS, Inc., Chicago, IL). Del mismo modo, la comparación de los valores medios se realizó mediante el uso de la prueba de Tukey con un nivel de confianza  $p < 0.05$ . Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.

### **3.7. Aspectos éticos**

La investigación económicamente es viable debido a que los cultivos de microalgas son de fácil cultivo, rápido crecimiento y los nutrientes son de bajo costo. Los reactivos y materiales son de fácil obtención y están disponibles en nuestro medio. Por tanto, la investigación no demandará mucho costo y será efectuada en corto tiempo.

El aprovechamiento de los lixiviados como nutrientes permitirá reducir los costos de producción de biomasa por parte de empresas productoras de microalgas.

Las técnicas de evaluación como el método de conteo y cuantificación de biomasa mediante peso seco son de fácil manejo. Estas técnicas se realizan con equipos y reactivos disponibles en nuestro medio. El manejo de cultivos de microalgas no requiere técnicas complejas ni personal especialista bien entrenado.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Muestreo y análisis fisicoquímico de lixiviados de relleno sanitario.

Se realizó la colecta de lixiviados del botadero de Quebrada Honda ubicada en la Pampa a la derecha de la vía de ingreso en el kilómetro 22 de la carretera Arequipa-Yura a las coordenadas de Latitud: -16.2928, Longitud: -71.5501 El terreno tiene un espacio de aproximado de 80 hectáreas. Este botadero presenta acumulación de todo tipo de basura, conteniendo compuestos orgánicos y e inorgánicos los cuales son cubiertos con capas de tierra

Debajo de la acumulación de la basura se observó que discurre un lixiviado. Este lixiviado se colecto en frascos estériles de 5 puntos al azar. Luego todos los frascos fueron depositados y homogenizados en frasco de vidrio de 2L, este contenido fue llevado al laboratorio para realizar los análisis fisicoquímicos. Los parámetros fisicoquímicos del lixiviado se midieron y se presentan en la Tabla 1. Se puede observar que el lixiviado del relleno sanitario contiene un alto contenido de nutrientes que puede ser utilizado por las células de microalgas.

**Tabla 2:** *Análisis fisicoquímico de lixiviados de relleno sanitario*

Parámetro	Valor	Unidad
pH	8.40	Unidades de pH
Conductividad	22,4	mS/cm
Sólidos totales	26.50	g/L
Nitrógeno total (TN)	1320	mg/L
Fósforo total (TP)	19,40	mg/L
K	820	mg/L

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2, muestra el análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas en lixiviados, el valor del pH fue de 8.40, este valor estar dentro del rango de crecimiento óptimo de las microalgas que es de 6-9 unidades. Los sólidos totales mostraron un valor de 26.50 g/L, este valor podría dificultar la transferencia de luz dentro del cultivo de microalgas, reduciendo así la disponibilidad de luz en la suspensión de microalgas y disminuyendo la tasa de fotosíntesis, resultando en una baja productividad de la biomasa.

El análisis físico químico de los lixiviados de relleno sanitario muestran que existe alta concentración de nitrógeno con 1320 mg/L, el fósforo y potasio también son importantes ya que se encuentran en una concentración de 19.40 y 820 mg/L; con un pH ligeramente alcalino y buena conductividad

#### 4.2. Crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados

**Tabla 3:** Crecimiento de *Chlorella vulgaris* en cel/mL a diferentes concentraciones de lixiviado.

Concentración de lixiviado	Tratamientos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
10%	T1	15	15	18	25	28	32	34	29
	T2	12	14	16	21	27	29	29	28
	T3	13	13	17	23	28	30	31	30
50%	T1	10	12	23	35	50	82	84	83
	T2	9	10	19	32	47	79	86	87
	T3	13	12	23	32	44	76	85	86
100%	T1	7	7	13	18	25	29	31	30
	T2	8	9	17	21	29	32	33	31
	T3	10	10	14	19	28	35	34	33
Control medio de cultivo BBM	T1	12	16	22	32	52	85	94	96
	T2	6	11	18	36	49	82	92	94
	T3	8	12	20	30	48	70	88	89

**Fuente:** Elaboración propia

En la Tabla 3 se describe los resultados del perfil de crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris*, luego de ser sometida a tres concentraciones de lixiviados (10%, 50% y 100% v/v), e inmediatamente puestas a evaluación por 8 días, en el medio, la mayor cel/ml se alcanzó con una concentración de lixiviado al 50%, donde el primer tratamiento ( T1) tuvo una cel/mL inicial de 10, y termino en 83 cel/ml; para el caso del segundo tratamiento ( T2) tuvo una cel/mL inicial de 9, y termino en 87 cel/ml; y el tercer tratamiento ( T3) tuvo una cel/mL inicial de 13, y

termino en 86 cel/ml. Estos resultados indicaron también que, la concentración de lixiviado además del pH, ejercieron influencia sobre el crecimiento. Es posible, que la cel/ml de ciertas microalgas en el medio, varíe en función de los días y la concentración de lixiviados, lo cual puede influir en el crecimiento.

Todos los valores deben en la Tabla 3, deben multiplicarse por el factor 10<sup>-5</sup>

La tasa de crecimiento de *Chlorella vulgaris* para cada tratamiento de lixiviado se calculará de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\mu \text{ (dia}^{-1}\text{)} = \log N_2 - \log N_1 / T_2 - T_1$$

Esto se calculará con los promedios de cada tratamiento después del procesamiento estadístico.

**Tabla 4:** Tasa de crecimiento

Concentración de lixiviado	Tasa de crecimiento
10%	0.6712
50%	0.7993
100	0.4883
<b>Control medio de cultivo BBM</b>	1.72

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente mediante el ANOVA y Test de Tukey existe una coincidencia en la tasa de crecimiento de *Chlorella vulgaris*, en la cual se observa que con el lixiviado de relleno sanitario 50% es donde se obtiene la mayor tasa de crecimiento con 0.7993  $\mu \text{ dia}^{-1}$

No superando a la tasa de crecimiento del control que es de 1.72  $\mu \text{ dia}^{-1}$

**Tabla 5:** Crecimiento de *Scenedesmus sp.* en cel/mL a diferentes concentraciones de lixiviados.

Concentración de lixiviado	Tratamientos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
10%	T1	18	19	18	28	38	39	38	37
	T2	14	13	19	27	35	37	36	36
	T3	12	15	19	25	38	40	40	38
50%	T1	10	12	17	33	46	52	64	62
	T2	7	8	18	31	45	56	66	66
	T3	6	8	23	35	43	57	74	71
100%	T1	9	10	13	18	24	33	32	28
	T2	10	10	15	21	26	30	30	24
	T3	8	9	12	17	29	31	34	32
Control medio de cultivo BBM	T1	9	14	24	30	42	57	84	80
	T2	10	16	28	31	39	54	78	78
	T3	12	18	20	27	34	62	82	80

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se describe los resultados del perfil de crecimiento de la microalga *Scenedesmus sp.*, luego de ser sometida a tres concentraciones de lixiviados (10%, 50% y 100 v/v), e inmediatamente puestas a evaluación por 8 días, en el medio, la mayor cel/ml se alcanzó con una concentración de lixiviado al 50%, donde el primer tratamiento ( T1) tuvo una cel/mL inicial de 10, y termino en 62 cel/ml; para el caso del segundo tratamiento ( T2) tuvo una cel/mL inicial de 7, y termino en 66 cel/ml; y el tercer tratamiento ( T3) tuvo una cel/mL inicial de 6, y termino en 71 cel/ml. Estos resultados indicaron también que, la concentración de lixiviado además del pH, ejercieron influencia sobre el crecimiento. Es posible, que la cel/ml de ciertas microalgas en el medio, varíe en función de los días y la concentración de lixiviados, lo cual puede influir en el crecimiento.

Todos los valores deben multiplicarse por el factor 10<sup>-5</sup>

La tasa de crecimiento de *Scenedesmus sp.* para cada tratamiento de lixiviado se calculará de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\mu \text{ (día}^{-1}\text{)} = \frac{\log N_2 - \log N_1}{T_2 - T_1}$$

Esto se calculará con los promedios de cada tratamiento después del procesamiento estadístico.

**Tabla 6:** *Tasa de crecimiento*

Concentración de lixiviado	Tasa de crecimiento
10%	0.011
50%	0.5877
100%	0.0.1091
<b>Control medio de cultivo BBM</b>	0.6627

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente mediante el ANOVA y Test de Tukey existe una coincidencia en la tasa de crecimiento de *Scenedesmus sp*, en la cual se observa que con el lixiviado de relleno sanitario 50% es donde se obtiene la mayor tasa de crecimiento con  $0.5877 \mu \text{ día}^{-1}$

No superando a la tasa de crecimiento del control que es de  $0.6627 \mu \text{ día}^{-1}$

**Tabla 7.** *Crecimiento de Chlorella vulgaris en peso seco a diferentes concentraciones de lixiviado.*

Concentración de lixiviado	Tratamientos	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
10%	T1	1.42	1.74	2.56	3.84
	T2	1.10	1.62	2.34	3.72
	T3	1.24	1.55	2.04	3.91
50%	T1	1.03	1.75	2.18	4.84
	T2	1.24	1.94	3.86	4.86
	T3	1.35	1.85	3.30	4.94
100%	T1	1.16	1.56	2.46	2.83
	T2	1.26	1.80	2.28	2.98
	T3	1.33	1.92	2.16	2.70
<b>Control medio de cultivo BBM</b>	T1	1.66	1.65	3.64	5.75
	T2	1.23	1.77	3.88	5.60
	T3	1.56	1.89	3.49	5.48

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se describe los resultados del perfil de crecimiento en peso seco de la microalga *Chlorella vulgaris*, luego de ser sometida a tres concentraciones de lixiviados (10%, 50% y 100 v/v ), e inmediatamente puestas a evaluación por 8 días, en el medio, la mayor g/L se alcanzó con una concentración de lixiviado al 50%, donde el primer tratamiento ( T1) tuvo una g/L inicial de 1.03, y termino en 4.84 g/L; para el caso del segundo tratamiento ( T2) tuvo una g/L inicial de 1.24, y termino en 4.86 g/L; y el tercer tratamiento ( T3) tuvo una g/L inicial de 1.35, y termino en 4.94 g/L.

**Tabla 4:** *Peso seco de Scenedesmus sp. en g/L a diferentes concentraciones de lixiviados*

Concentración de lixiviado	Tratamientos	Día 1	Día3	Día5	Día 7
<b>10%</b>	T1	1.12	1.84	2.62	2.80
	T2	1.24	1.52	2.12	2.72
	T3	1.23	1.92	2.14	2.54
<b>50%</b>	T1	1.21	1.72	2.42	3.23
	T2	1.32	1.84	2.24	3.46
	T3	1.21	1.74	2.34	3.52
<b>100%</b>	T1	1.34	1.45	1.83	2.24
	T2	1.26	1.32	1.95	2.40
	T3	1.25	1.62	1.72	1.92
<b>Control medio de cultivo BBM</b>	T1	1.29	1.55	2.86	3.90
	T2	1.31	1.64	2.74	3.81
	T3	1.23	1.94	2.93	3.70

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se describe los resultados del perfil de crecimiento en peso seco de la microalga *Chlorella vulgaris*, luego de ser sometida a tres concentraciones de lixiviados (10%, 50% y 100% v/v ), e inmediatamente puestas a evaluación por 8 días, en el medio, la mayor g/L se alcanzó con una concentración de lixiviado al 50%, donde el primer tratamiento ( T1) tuvo una g/L inicial de 1.21, y termino en 3.23 g/L; para el caso del segundo tratamiento ( T2) tuvo una g/L inicial de 1.32,

y termino en 3.46 g/L; y el tercer tratamiento ( T3) tuvo una g/L inicial de 1.21, y termino en 3.52 g/L.

#### 4.3. Productividad de biomasa y porcentaje de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio

**Tabla 5:** Porcentaje de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio

Lixiviado	N (mg/L)			P (mg/L)			K (mg/L)		
	Dia 0	Dia 8	%Remoción	Dia 0	Dia 8	%Remoción	Dia 0	Dia 8	%Remoción
<b>10%</b>	1320	580	56%	19.40	11	43%	821	30	96.30
<b>50%</b>	1320	24	98.18	19.40	2	80%	821	8	99.02
<b>100%</b>	1320	390	70.45	19.40	6	58%	821	15	98.17

Fuente: Elaboración propia

**La productividad de biomasa se calcular con los valores después** promedios de cada tratamiento después del procesamiento estadístico.

En la Tabla 9 se describe los resultados del porcentaje de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio se observa claramente que en la concentración de lixiviado 50% es donde se produce la mayor remoción de nitrógeno, fosforo y potasio con porcentajes de remoción de 56%, 80% y 99.02% superando estos valores a las otras concentraciones estudiadas. Todos estos resultados concuerdan con los resultados anteriores de tasa de crecimiento y crecimiento expresado en peso seco, y estas es una de las razones porque este tratamiento es el más efectivo.

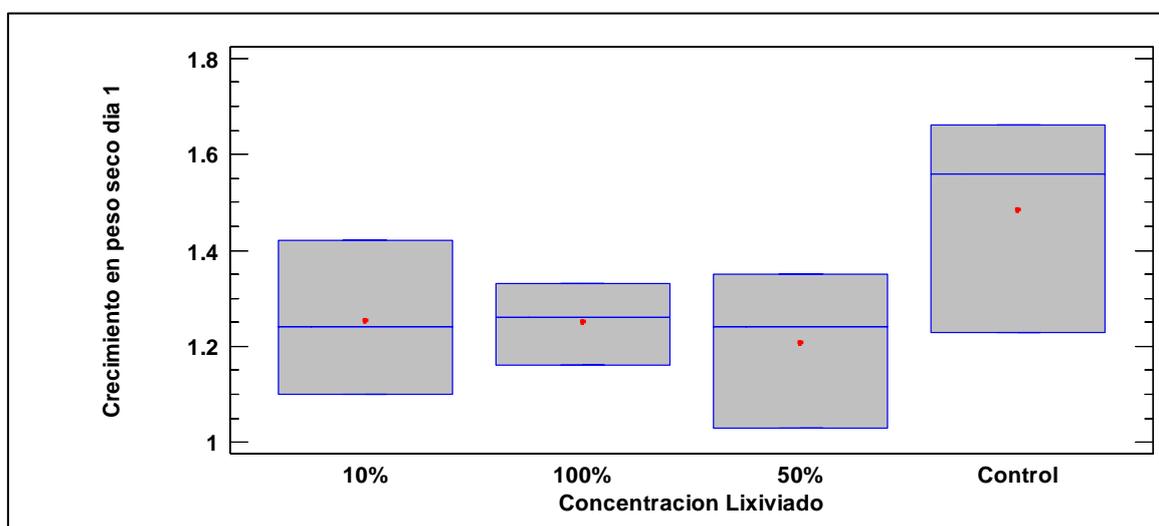
## Crecimiento de *Chlorella vulgaris*

**Tabla 10** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Chlorella vulgaris* en peso seco de día 1 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
50%	3	1.20667	a
100%	3	1.25	a
10%	3	1.25333	a
Control	3	1.48333	a

ANOVA Prueba de  $F_c = 1.71$   $p > 0.05$

Gráfico 1. Comparación de crecimiento de *Chlorella Vulgaris* por lixiviados(Día 1)



En la presente tabla se muestra los resultados del crecimiento expresado en peso seco de *Chlorella vulgaris* sometida a concentración de lixiviados de rellenos sanitarios. El ANOVA (Anexo1) muestra que en el día 1 de evaluación las diferencias fueron no significativas ( $p > 0.05$ ) Tal como se muestra en la tabla 10 y gráfico 1.

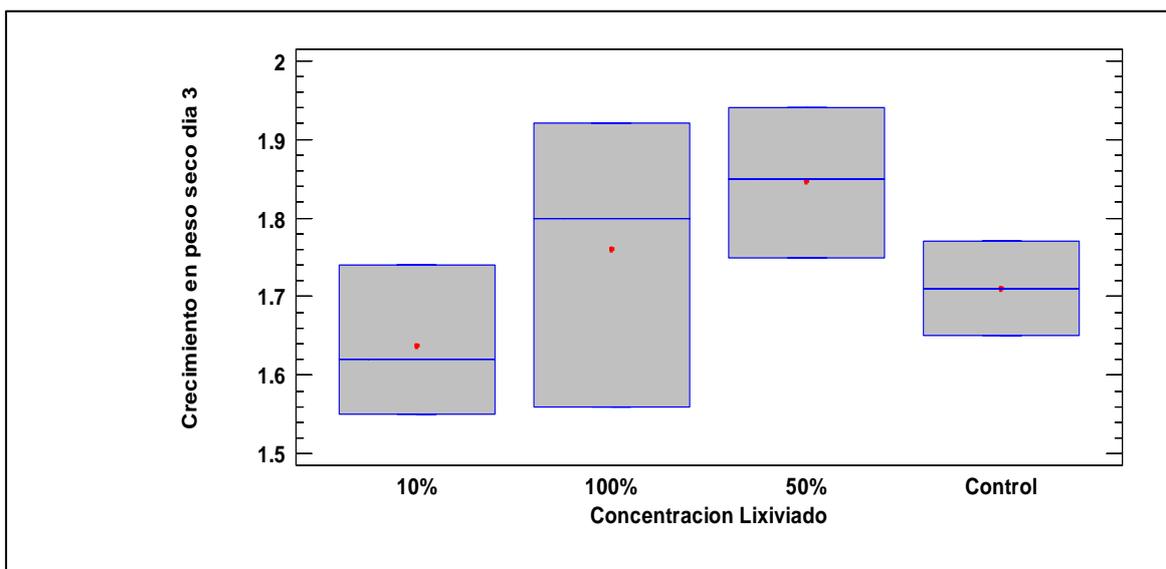
**Tabla 11** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Chlorella vulgaris* en peso seco de día 3 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10%	3	1.63667	a

Control	2	1.71	a
100%	3	1.76	a
50%	3	1.84667	a

ANOVA Prueba de Fc= 1.41 p>0.05

Gráfico 2. Comparación de crecimiento de *Chlorella Vulgaris* por lixiviados(Día 3)



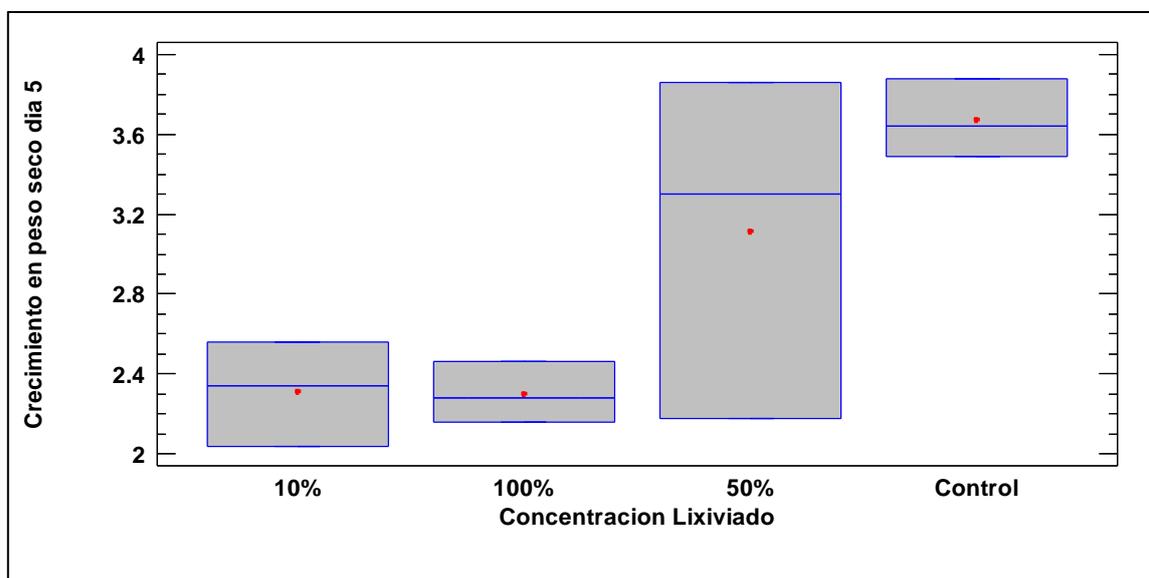
La evaluación del crecimiento de *Chlorella vulgaris* al día 3 tampoco mostro significación estadística entre las concentraciones de lixiviados de rellenos sanitarios tal como lo muestra el ANOVA (Anexo2) de igual manera esto se aprecia en la tabla 11 y gráfico 2

**Tabla 12.** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Chlorella vulgaris* en peso seco día 5 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100%	3	2.3	a
10%	3	2.31333	a
50%	3	3.11333	ab
Control	3	3.67	b

ANOVA Prueba de Fc= 6.19 p<0.05

Gráfico 3. Comparación de crecimiento de *Chlorella Vulgaris* por lixiviados (Día 5)



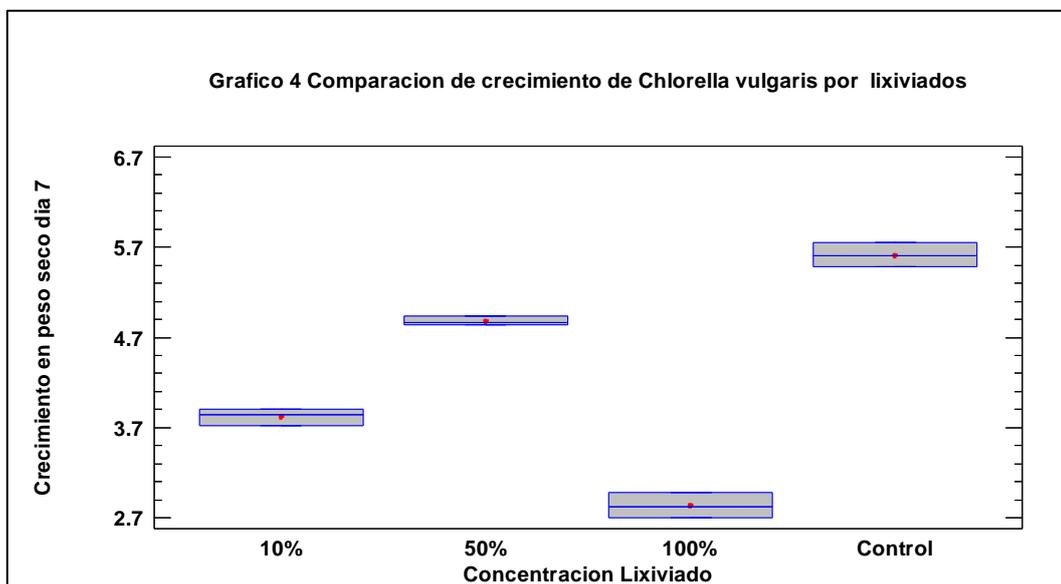
En el Anexo 3, tabla 12 y gráfico 3 se muestran los resultados sobre la evaluación del crecimiento de *Chlorella vulgaris* a través de su peso seco, encontrándose que en el día 5 de evaluación se producen diferencias significativas en el crecimiento de esta alga por efecto de los lixiviados de relleno sanitario ( $p < 0.05$ ). El lixiviado al 50 % resulta ser el mejor ya que produce el mayor crecimiento promedio con 3.11 y no difiere del control que tiene un promedio de 3.67 en su crecimiento

**Tabla 13** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Chlorella vulgaris* en peso seco día 7 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100%	3	2.83667	a
10%	3	3.82333	b
50%	3	4.88	c
Control	3	5.61	d

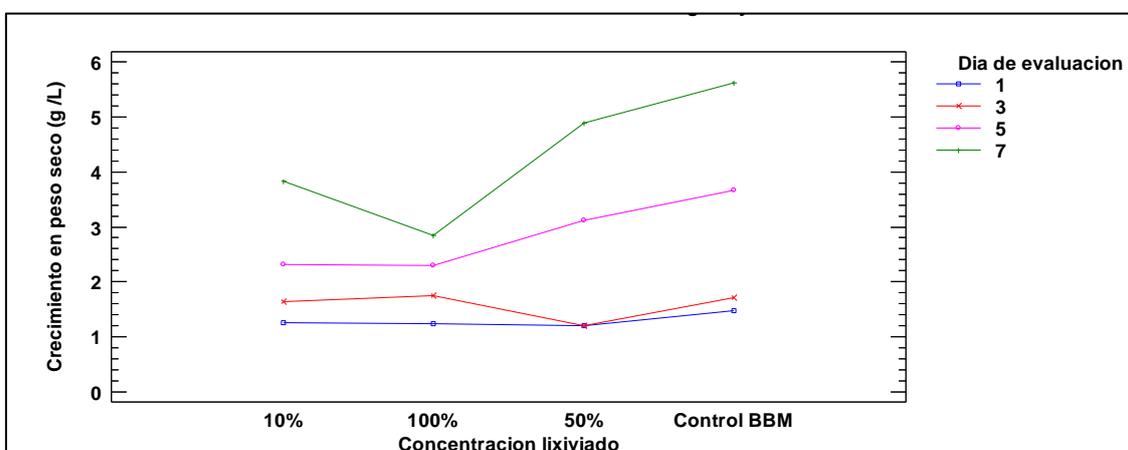
ANOVA Prueba de Fc= 353.87  $p < 0.01$

Gráfico 4. Comparación de crecimiento de *Chlorella Vulgaris* por lixiviados (Día 7)



En el día 7 de evaluación del crecimiento de *Chlorella vulgaris* a través de su peso seco las diferencias se hacen más contundentes tal como lo muestra el ANOVA ( $p < 0.01$ ), siendo estas altamente significativas. El test Tukey (tabla 13 y gráfico 4) evidencia claramente que es el tratamiento de 50% de concentración de lixiviado de relleno sanitario el mejor ya que alcanza un promedio de crecimiento de 4.88, superando a todos los demás tratamientos.

Gráfico 5. Interacción entre crecimiento de *Chlorella Vulgaris* y lixiviados (gr/lit)



En el presente gráfico se muestra la interacción entre crecimiento de *Chlorella vulgaris*, la concentración de lixiviados y el tiempo de evaluación. Todos estos factores resultaron con diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) tal como se muestra en el ANOVA prueba de Fc del Anexo 5. En el gráfico 5 se visualiza claramente que es la concentración de lixiviado al 50% y tiempo de 7 días, la que dio lugar al promedio más alto de crecimiento de *Chlorella vulgaris*.

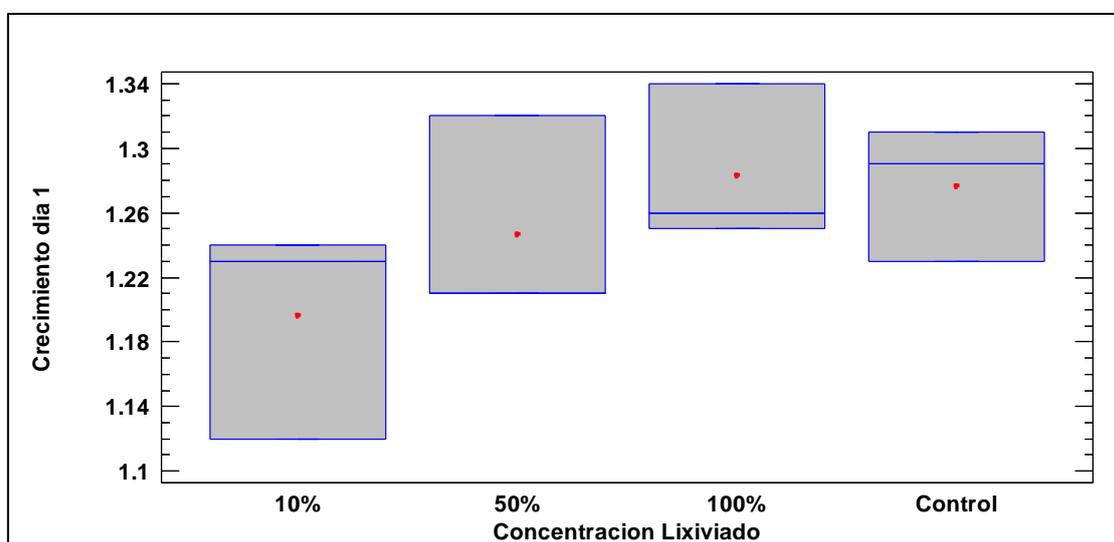
En cuanto al crecimiento de *Scenedesmus sp.*

**Tabla 14** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Scenedesmus sp* en peso seco día 1 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10%	3	1.19667	a
50%	3	1.24667	a
Control	3	1.27667	a
100%	3	1.28333	a

ANOVA Prueba de Fc=1.48  $p > 0.05$

Gráfico 6. Comparación de crecimiento de *Scenedesmus sp.* por lixiviación



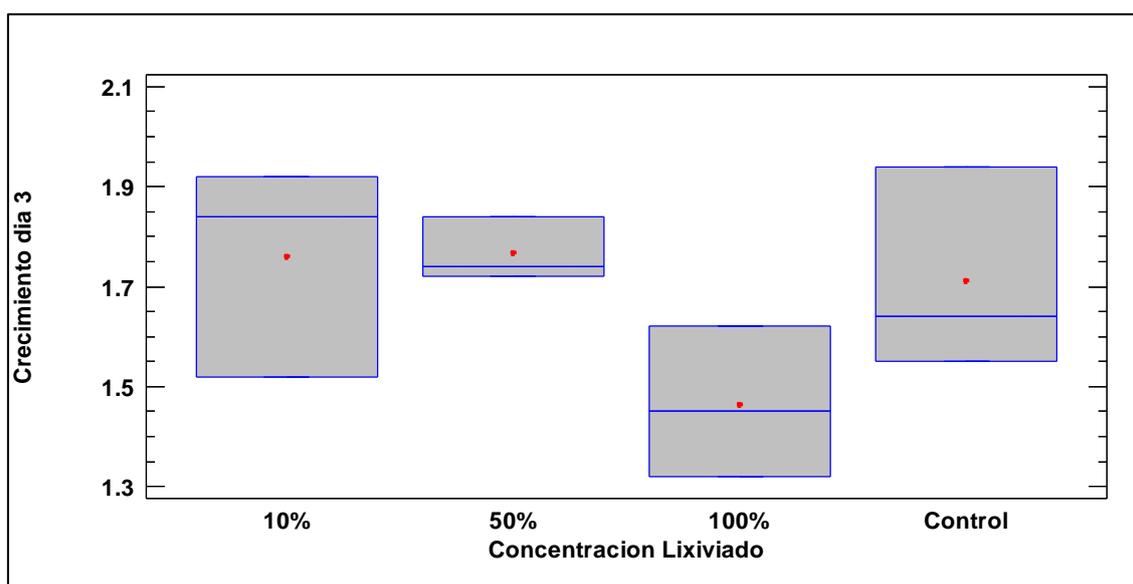
Con respecto a la evaluación del efecto de lixiviados de relleno sanitario sobre el crecimiento de *Scenedesmus sp* se encontró a través del ANOVA (Anexo 6) diferencias no significativas en el primer día de evaluación ( $p > 0.05$ ). Tal como también se muestra en la tabla 14 y gráfico 6

**Tabla 15.** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Scenedesmus sp* en peso seco día 3 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100%	3	1.46333	a
Control	3	1.71	a
10%	3	1.76	a
50%	3	1.76667	a

ANOVA Prueba de Fc=2.18 p>0.05

Gráfico 7. Comparación de crecimiento de *Scenedesmus sp.* por lixiviación



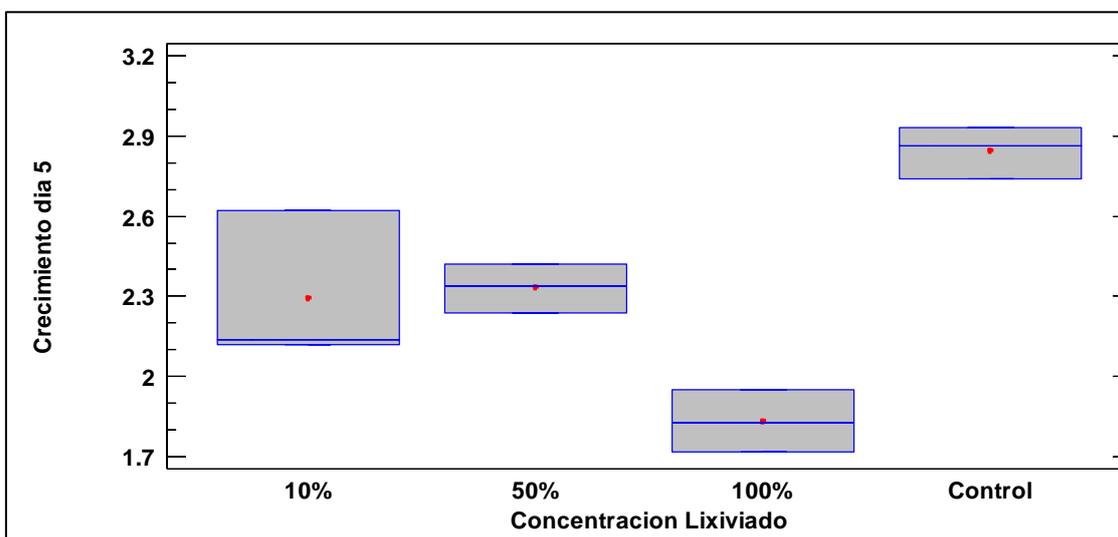
En lo concerniente a la evaluación del crecimiento de *Scenedesmus sp* al tercer día de evaluación se encontró que tampoco existen diferencias estadísticamente significativas tal como lo demuestra el ANOVA (  $p > 0.05$ ) Anexo 7. Todos los tratamientos presentan promedios similares tal como se muestra en la tabla 15 y gráfico 7.

**Tabla 16** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Scenedesmus sp* en peso seco día 5 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100%	3	1.83333	a
10%	3	2.29333	b
50%	3	2.33333	b
Control	3	2.84333	c

ANOVA Prueba de  $F_c=18.48$   $p<0.01$

Gráfico 8. Comparación de crecimiento de *Scenedesmus sp.* por lixiviación



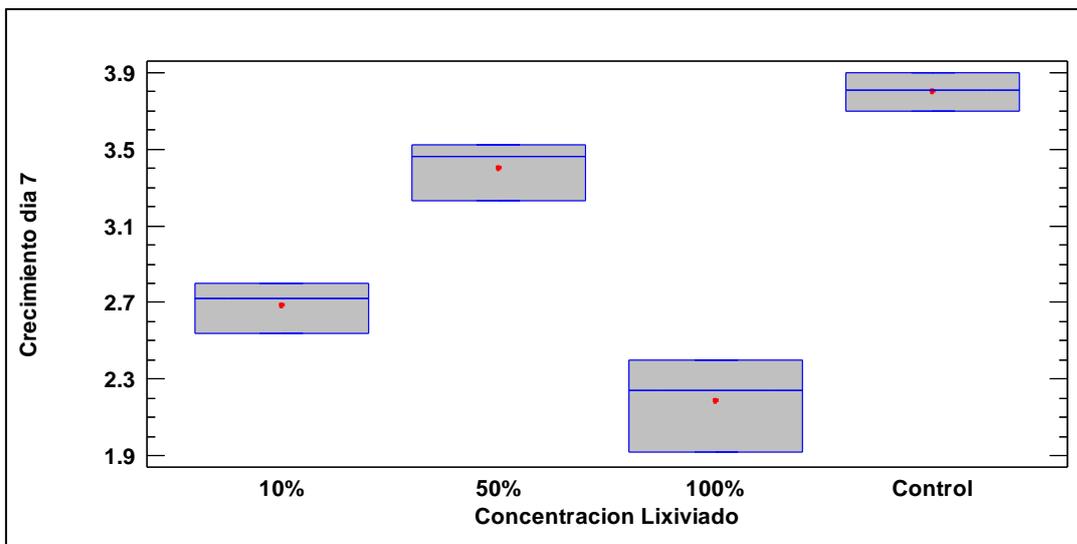
La evaluación del crecimiento de *Scenedesmus sp* por efecto de los lixiviados de relleno, al día 5 de evaluación mostro significación altamente significativa tal como lo demuestra el ANOVA (anexo 8). Esto implica que de acuerdo a los resultados del test de Tukey (tabla 16) y gráfico 8 se encontró que el tratamiento de 50% y 10% mostraron los mejores resultados en cuanto al crecimiento, alcanzando promedios entre 2.33 y 2.29 respectivamente, ambos grupos difieren del control que alcanzo un promedio de 2.84

**Tabla 17** Pruebas de Múltiple Rangos de Tukey para Crecimiento *Scenedesmus sp* en peso seco día 7 por Concentración Lixiviado

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
100%	3	2.18667	a
10%	3	2.68667	b
50%	3	3.40333	c
Control	3	3.80333	c

ANOVA Prueba de  $F_c=56.47$   $p<0.01$

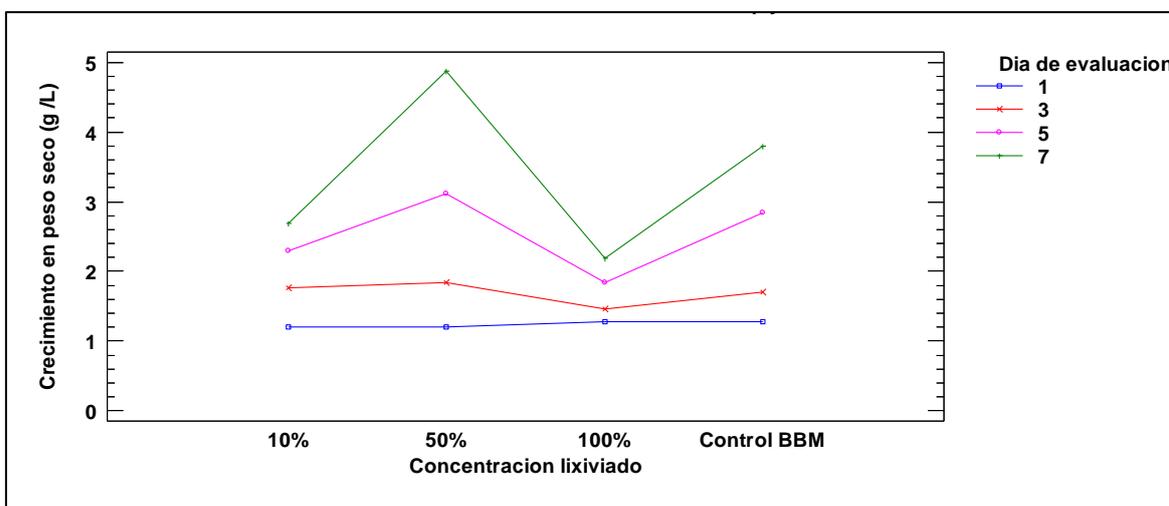
Gráfico .9 Comparación de crecimiento de *Scenedesmus sp.* por lixiviación



La evaluación correspondiente a los 7 días muestra mayor contundencia en el efecto que producen las diferentes concentraciones de lixiviados. El ANOVA indica que las diferencias en el crecimiento de *Scenedesmus sp* por efecto de los lixiviados de relleno es altamente significativa  $p < 0.01$  (anexo 9)

El Test de Tukey (tabla 17 y gráfico 9) evidencia que es el tratamiento de 50% de lixiviado de relleno sanitarios el más efectivo para el crecimiento de *Scenedesmus sp* alcanzado un promedio de 3.40, el mismo que no difiere del control que dio lugar a un promedio de crecimiento de 3.80

Gráfico 10. Interacción entre crecimiento de *Scenedesmus sp.* y lixiviados



En el gráfico 10 sobre la interacción de concentración de lixiviados, y tiempo de evaluación sobre crecimiento expresado en peso seco de *Scenedesmus sp* se encontró que los factores concentración de lixiviados y tiempo de evaluación mostraron efectos altamente significativos sobre el crecimiento de *Scenedesmus sp* tal como lo demuestra el ANOVA (anexo 10). De la misma manera se observa contundentemente que el tratamiento de 50% de lixiviados de relleno sanitario y a los 7 días es el que mejor efecto produjo alcanzando un promedio de 4.88 g/Lm en su peso seco.

## V. DISCUSIÓN

Según Almeida *et al.* (2020), en su investigación utilizó la coagulación y floculación como tratamiento para los lixiviados crudos. Evaluaron otros parámetros físico químicos, tales como, color, turbidez y demanda química de oxígeno DQO. Utilizaron un proceso oxidativo homogéneo solar (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / UV). Mientras que la presente investigación analizó la conductividad eléctrica, el pH y los sólidos totales de los lixiviados, asimismo para determinar el crecimiento de las algas mediante el uso de nutrientes de lixiviados, se realizó el conteo celular (cámara Neubauer) y el peso en seco (g/L) de biomasa de microalgas en la balanza analítica.

Según la investigación de Khanzada y Ovez (2017), demostraron que el amoníaco presente en los lixiviados se eliminó por completo diluyendo el lixiviado al 10% con agua dulce sin embargo bajo esas condiciones las microalgas presentaron un crecimiento deficiente. Mientras que en la presente investigación con una concentración del lixiviado al 10% se obtuvo una tasa de crecimiento de 30 cel/ml para la *Chlorella vulgaris* y una tasa de crecimiento de 38 cel/ml para la *Scenedesmus* sp.

## VI. CONCLUSIONES

Se realizó el muestreo y el análisis fisicoquímico del nitrógeno fósforo y potasio, entendiéndose la concentración de nitrógeno total, la concentración de fósforo total y la concentración de potasio de los lixiviados de relleno sanitario; y los resultados fueron 8.4, 22.4 mS/cm, 26.50 g/L, 1320 mg/L, 19.40 mg/L y 820 mg/L respectivamente, el incremento de 26.5 g/L de sólidos totales no tiene una razón única ya que la temperatura además de la intensidad lumínica podrían determinar marcadamente estos los resultados.

El crecimiento de las microalgas se dio sin alteraciones significativas en ambos tratamientos de microalgas desde el inicio del experimento hasta el día 7, además se evaluó el crecimiento de microalgas en diferentes concentraciones de lixiviados. Al 10% de concentración, en el T1 se obtuvo 29 en el día 7, en el T2 se obtuvo 28 en el día 7 y en el T3 se obtuvo 30 en el día 7. Al 50% de concentración, en el T1 se obtuvo 81 en el día 7, en el T2 se obtuvo 87 en el día 7 y en el T3 se obtuvo 83 en el día 7. Al 100% de concentración, en el T1 se obtuvo 30 en el día 7, en el T2 se obtuvo 31 en el día 7 y en el T3 se obtuvo 33 en el día 7. Estas cantidades nos indican que el mayor aumento de la densidad celular en la etapa de crecimiento de las microalgas después del análisis se dieron en entre el día 5 y 7, es decir entre los primeros días de cultivo, posteriormente el aumento fue en un menor proporción.

Se determinó la concentración óptima de lixiviados para el crecimiento de microalgas, los resultados indicaron que ambas cepas de *Scenedesmus sp.* y *Chlorella vulgaris* fueron capaces de crecer a elevadas concentraciones de lixiviado, tal es el caso de las concentraciones al 10% y 50%, sin embargo el de mejor desempeño según el test Tukey es el tratamiento de 50% de concentración de lixiviado de relleno sanitario el mejor ya que alcanza un promedio de crecimiento de 4.88 , superando a todos los demás tratamientos. Estas características, además de la tolerancia a pH ácidos y elevada salinidad, hacen viable su utilización.

Las microalgas *Scenedesmus sp.* y *Chlorella vulgaris* demostraron factibilidad de cultivo y capacidad de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio, se determinó la productividad de biomasa y el porcentaje de remoción de nitrógeno, fósforo y potasio. Respecto al nitrógeno al 10% de concentración de lixiviado, se removió

56%, al 50% de concentración de lixiviado, se removió el 98.18% y al 100% de concentración de lixiviado se removió el 70.45%. Respecto al fósforo, al 10% de concentración de lixiviado, se removió 43%, al 50% de concentración de lixiviado, se removió el 80% y al 100% de concentración de lixiviado se removió el 58%. Respecto al potasio, al 10% de concentración de lixiviado, se removió 96.30%, al 50% de concentración de lixiviado, se removió el 99.02% y al 100% de concentración de lixiviado se removió el 98.17%.

## VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la presente investigación sea replicada como alternativa de producción de biomasa de estas algas.

Se recomienda para investigaciones posteriores, usar lixiviados obtenidos de otras fuentes para comparar la tasa de crecimiento y ver cuál es más eficiente.

Se recomienda usar los lixiviados para la producción de biomasa de otros componentes orgánicos.

Evaluar el efecto del tratamiento de aguas residuales con las microalgas *Scenedesmus sp.* y *Chlorella vulgaris.*, sobre otros parámetros fisicoquímicos y en la absorción de metales pesados.

## REFERENCIAS

1. Abbas AA, Jingsong G, Ping LZ, Pan YY, Al-Rekabi WS. Review on landfill leachate treatments. *J Appl*, (2009) *Sci Res* 5:534–545
2. Abdel-Raouf N, AA Al-Homaidan & IBM Ibraheem. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences* (2012) 19: 257-275.
3. Adlerstein D, Bigogno C, Khozin I, Cohen Z . The effect of growth temperature and culture density on the molecular species composition of the galactolipids in the red microalga *Porphyridium cruentum* (Rhodophyta). (1997) *J Phycol* 33:975–979.
4. Ankit, N.; Bordoloi, J.; Tiwari, S.; Kumar, J.; Korstad, K. Bauddh, efficiency of algae for heavy metal removal, bioenergy production, and carbon sequestration. In *Emerging Eco-friendly Green Technologies for Wastewater Treatment*; Bharagava, R.N., Ed.; Springer: Singapore, 2020; pp. 77–101.
5. Chang, H.X., Fu, Q., Zhong, N.B., Yang, X., Quan, X.J., Li, S., Fu, J.W., Xiao, C., 2019.
6. Cheah, W.Y., Ling, T.C., Show, P.L., Juan, J.C., Chang, J.-S., Lee, D.-J. Cultivation in wastewaters for energy: a microalgae platform. (2016) *Appl. Energy* 179 (Supplement C), 609–625.
7. Cheah, W.Y., Ling, T.C., Show, P.L., Juan, J.C., Chang, J.-S., Lee, D.-J., Cultivation in wastewaters for energy: A microalgae platform. (2016) *Appl. Energ.*, 179, 609-625
8. Colombo, A., M\_odenés, A.N., G\_oes Trigueros, D.E., Giordani da Costa, S.I., Borba, F.H., Espinoza-Qui-nones, F.R. Treatment of sanitary landfill leachate by the combination of photo-Fenton and biological processes. (2019)*J. Clean. Prod.* 214, 145e153.
9. Edmundson Scott J. & Wilkie Ann C. Landfill leachate – a water and nutrient resource for algae-based biofuels, *Environmental Technology*. (2013) .34:13-14, 1849-1857.

10. Edmundson, S.J. and Wilkie, A.C. Landfill leachate – a water and nutrient resource for algae-based biofuels. *Environ. Technol*, (2013), 34(13-14), 1849-1857.
11. Edmundson, S.J.; Wilkie, A.C. Landfill leachate—a water and nutrient resource for algae-based biofuels. *Environ. Technol.* 2013, 34, 1849–1857.
12. Gautam, P., Kumar, S., Lokhandwala, S. Advanced oxidation processes for treatment of leachate from hazardous waste landfill: a critical review. *J. Clean. (2019). Prod.* 237, 117639.
13. Ghuge, S.P., Saroha, A.K. Catalytic ozonation for the treatment of synthetic and industrial effluents - application of mesoporous materials: a review. *J. Environ. Manag.* (2018). 211, 83e102.
14. Goldman JC, Ryther JH. Temperature-in fluenced species competition in mass culture of marine phytoplankton. *Biotechnol Bioeng.* (1976) 18:1125–1144
15. Goncalves AL, Pires JCM, Simoes M. The effects of light and temperature on microalgal growth and nutrient removal: an experimental and mathematical approach. *RSC Adv.* 2016;6 (27):22896–907.
16. Grobbelaar JU. Algal nutrition: mineral nutrition. In: Richmond A (ed). *Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology*, (2004) pp. 97-115. Blackwell Science, Iowa.
17. IPPC: Integrated Pollution Prevention Directive (IPPC) 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control 2008. Available from: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/l28045\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l28045_en.htm) [Accessed: 2015-02-27].
18. Jeon, B.-H. Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 79, (2017)1189–1211.
19. Jia, H., & Yuan, Q. Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae–bacteria consortia. *Cogent Environmental Science.*(2016). <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1275089>.
20. Jumaah, M. A., Othman, M. R., & Yusop, M. R. Characterization of leachate from jeram sanitary landfill-malaysia. *International Journal of ChemTech Research*, (2016). 9, 571–574

21. Khanzada, Z.T., Ovez, S. Microalgae as a sustainable biological system for improving leachate quality. *Energy* (2017). 140, 757e765.
22. Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TH. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2002;32(4):297-336.
23. Klauck, C., Rodrigues, M. A., & Basso da Silva, L. Evaluation of phytotoxicity of municipal landfill leachate before and after biological treatment. *Brazilian Journal of Biology*, (2015). 75, 57–62.
24. Klimiuk E, Kulikowska D. Organics removal from landfill leachate and activated sludge production on SBR reactors. *Waste Management* 2006;26:1140-1147.
25. Kurniawan TA, Lo WH, Chan GYS. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials* 2006;B129:80-100.
26. Li, Y., Chen, Y. F., Chen, P., Min, M., Zhou, W., Martinez, B., et al. Characterization of a microalgae *Chlorella* sp. well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology*, (2011). 102, 5138–5144.
27. Lin, L., Chan, G.Y.S., Jiang, B.L., Lan, C.Y. Use of ammoniacal nitrogen tolerant microalgae in landfill leachate treatment. *Waste Management*, (2007). 27(10), 1376-1382.
28. Liu, N., Li, F., Ge, F., Tao, N., Zhou, Q., Wong, M. Mechanisms of ammonium assimilation by *Chlorella vulgaris* F1068: Isotope fractionation and proteomic approaches. *Bioresour. Technol.*, (2015).190, 307-14
29. Lyon, S. R., Ahmadzadeh, H., & Murry, M. A. Algae based wastewater treatment for biofuel production: Processes, species, and extraction methods. In N. R. Moheimani, M. P. McHenry, K. de Boer, & P. A. Bahri (Eds.), *Biomass and biofuels from microalgae* (2015, pp. 95–115). Cham: Springer.
30. Martínez L. Eliminación de CO<sub>2</sub> con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León, 2008. 226 pp.
31. Matthijs HCP, Balke H, VanHes UM, Kroon BMA, Mur LR, Binot RA. Application of lightemitting diodes in bioreactors: flashing light effects and energy economy in algal culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnol Bioeng*. 1996;50(1):98–107.
32. Microalgal lipids production and nutrients recovery from landfill leachate using membrane photobioreactor. *Bioresour. Technol.* 2017. pp 277, 18e26.

33. Moody, C.M. and Townsend, T.G. A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Manage.*, (2017) 63, 267-274
34. Moreno-Garcia, L., Garipey, Y., Bourdeau, N., Barnabe, S., Raghavan, G.S.V. Optimization of the proportions of four wastewaters in a blend for the cultivation of microalgae using a mixture design. *Bioresour. Technol.* (2019).283, 168e173.
35. Nhari, F., Sbaa, M., Vasel, J. L., Fekhaoui, M., & El Morhit, M. Spatiotemporal evolution of physicochemical parameters in the landfill leachate of Berkane city (Eastern Morocco). *International Journal of Aquatic Science*, (2014). 5, 198–207
36. Paskuliakova, A., Tonry, S., Touzet, N. Phycoremediation of landfill leachate with chlorophytes: phosphate a limiting factor on ammonia nitrogen removal. *Water Res.* 2016. 99, 180e187.
37. Peng, Y. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>
38. Renou S, Givaudan J, Poulain S, Dirassouyan, Moulin P Landfill leachate treatment: review and opportunity. *J Hazard Mater* (2008) 150:468–493.
39. Renou S, Givaudan JG, Poulain S, Dirassouyan F, Moulin P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 2008;150:468-493
40. Richards, R.G. and Mullins, B.J. Using microalgae for combined lipid production and heavy metal removal from leachate. *Ecol. Model.*2013. 249, 59-67.
41. Robinson HD, Maris PJ. The treatment of leachates from domestic wastes in landfills. I. Aerobic biological treatment of a medium strength leachate, *Water Research* 1983;11:1537-1548.
42. Sandeep Kumar Duran, Pramod Kumar & Sarbjot S Sandhu. A review on microalgae strains, cultivation, harvesting, biodiesel conversion and engine implementation, *Biofuels*, (2018) DOI: 10.1080/17597269.2018.1457314.
43. Schwarzenbach, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstetter, T. B., Johnson, C. A., von Gunten, U., et al. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science*,(2006).313(5790),1072–1077.<https://oi.org/10.1126/science.1127291>
44. Sonawane, J.M., Adeloju, S.B., Ghosh, P.C., 2017. Landfill leachate: A promising substrate for microbial fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2018. 42(37), 23794-23798.

45. Sriram, S., & Seenivasan, R. Microalgae cultivation in wastewater for nutrient removal. *Journal of Algal Biomass Utilization*, (2012). 3, 9–13.
46. Tchobanoglus G., Theisen h. y Vigil s. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol. I, Ed. Mc Graw-Hill , (1996), España.
47. Tigni, V., Prigione, V., & Varese, G. C. Mycological and ecotoxicological characterization of landfill leachate before and after traditional treatments. *Science of the Total Environment*, (2014). 487, 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.026>.
48. Williams PT. *Waste Treatment and Disposal*. John Wiley & Sons, Chichester, 2005; p. 155-234.
49. Worell WA, Vesilind PA. *Solid Waste Engineering*. 2nd ed. Stamford: Cengage Learning; 2012. 395 p.
50. Zhang Q-Q, Tian B-H, Zhang X, Ghulam A, Fnag C-R, He R. Investigation of characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants, *Waste Management* 2013;33:2277-2286.
51. Zhao X, Qu J, Liu H, Wang C, Xiao S, Liu R, Liu P, Lan H, Hu C. Photoelectrochemical treatment of landfill leachate in a continuous flow reactor. *Bioresour Technol* (2010) 101:865–869
52. Zhao, X., Zhou, Y., Huang, S., Qiu, D., Schideman, L., Chai, X., Zhao, Y. Characterization of microalgae-bacteria consortium cultured in landfill leachate for carbon fixation and lipid production. *Bioresour. Technol.*, 2014.156, 322-8

## ANEXOS

## ANEXO 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Aplicación de Lixiviados de Relleno Sanitario como Fuente de Nutriente para la Producción de Biomasa de Microalgas en el Departamento de Arequipa, 2021.					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable dependiente  Producción de biomasa de microalga	Es aquella materia orgánica producida a partir del cultivo de microalgas que, bajo determinadas condiciones acumula diferentes compuestos orgánicos y metabolitos susceptibles de ser aprovechados.	Se medirá la productividad de biomasa de las algas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>	Productividad de biomasa	Concentración	(mg/L)
			Porcentaje de remoción	Porcentaje	Tanto por ciento (%)
Variable independiente  Lixiviados de relleno sanitario	Contaminante líquido, resultante de un proceso de percolación a través de un sólido. El lixiviado generalmente arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa.	Se determinará los parámetros fisicoquímicos, el nitrógeno total, fósforo total y concentración de potasio.	Nitrógeno total	Concentración	mg/L
			Concentración de potasio	Concentración	mg/L
			Fósforo total	Concentración	mg/L
			Análisis fisicoquímico	pH Conductividad eléctrica Sólidos totales	rango del [1-14] mS/cm g/L

**Anexo 2 Tabla ANOVA para Crecimiento *Chlorella vulgaris* día 1 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.140967	3	0.0469889	1.71	0.2423
Intra grupos	0.2202	8	0.027525		
Total (Corr.)	0.361167	11			

**Anexo 3 ANOVA para Crecimiento *Chlorella vulgaris* día 3 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0691576	3	0.0230525	1.45	0.3067
Intra grupos	0.110933	7	0.0158476		
Total (Corr.)	0.180091	10			

**Anexo 4 ANOVA para Crecimiento *Chlorella vulgaris* día 5 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.99676	3	1.33225	6.19	0.0176
Intra grupos	1.72273	8	0.215342		
Total (Corr.)	5.71949	11			

**Anexo 5 ANOVA para Crecimiento *Chlorella vulgaris* día 7 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.2613	3	4.42043	353.87	0.0000
Intra grupos	0.0999333	8	0.0124917		
Total (Corr.)	13.3612	11			

**Anexo 6 Análisis de Varianza para interacción Crecimiento en pesom seco (g/L) de *Chlorella vulgaris* y concentracion de lixiviado -**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Concentracion Lixiviado 1	7.47949	3	2.49316	35.31	0.0000
B:Día de evaluacion	66.1526	3	22.0509	312.34	0.0000
INTERACCIONES					
AB	9.70295	9	1.07811	15.27	0.0000
RESIDUOS	2.1886	31	0.0706		
TOTAL (CORREGIDO)	86.8465	46			

**Scenedesmus sp****Anexo 7 ANOVA para Crecimiento *Scenedesmus sp* día 1 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.014025	3	0.004675	1.48	0.2916
Intra grupos	0.0252667	8	0.00315833		
Total (Corr.)	0.0392917	11			

**Anexo 8 ANOVA para Crecimiento *Scenedesmus sp* día 3 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.184967	3	0.0616556	2.18	0.1686
Intra grupos	0.226533	8	0.0283167		
Total (Corr.)	0.4115	11			

**Anexo 9 ANOVA para Crecimiento *Scenedesmus sp* día 5 por Concentracion Lixiviado**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.53443	3	0.511475	18.48	0.0006
Intra grupos	0.221467	8	0.0276833		

Total (Corr.)	1.75589	11			
---------------	---------	----	--	--	--

**Anexo 10 ANOVA para Crecimiento *Scenedesmus sp* día 7 por Concentracion Lixiviado**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.69833	3	1.56611	56.47	0.0000
Intra grupos	0.221867	8	0.0277333		
Total (Corr.)	4.9202	11			

**Anexo 11 Análisis de Varianza para interacción Crecimiento en peso seco (g/L) de *Scenedesmus sp* y concentracion de lixiviado -**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Concentracion Lixiviado 1	7.96001	3	2.65334	39.39	0.0000
B:Día de evaluacion	32.2986	3	10.7662	159.82	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	8.2413	9	0.9157	13.59	0.0000
RESIDUOS	2.15567	32	0.0673646		
TOTAL (CORREGIDO)	50.6556	47			

## ANEXO 12: EQUIPOS

### MODELO

# PTY-2202/3202

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### CARACTERÍSTICAS:

- Operación de pantalla táctil de 5".
- Sensor super monobloque.
- Rango de pesaje dual automático / precisión de pesaje dual.
- Función de calibración interna inteligente dual personalizada.
- Función ajustable antivibración de seis niveles.
- Tiempo de estabilidad de pesaje ajustable
- Opcional con calibración externa
- Escudo de 20 unidades: g, ct, lb, oz, ozt, GN, dwt, N, t, T / A / R...
- Interfaz de comunicación RS232.
- Modo de pesaje predeterminado automáticamente.
- Configuración de fecha y hora
- Con temperatura de visualización
- Con gancho debajo
- Tablero trasero de metal antiestático a prueba de viento.
- Medidas legibles en PC con complemento instalado.
- Barra de progreso de capacidad.
- Unidad de pesaje personalizada.



#### APLICACIONES:

- Función de pesaje porcentual.
- Con medición de densidad.
- Con función de pesaje dinámico.
- Modo de pesaje y conteo seleccionable.
- Función de precios.
- Función de pesaje alto-bajo.
- Función de pesaje de peso Bruto/Neto/Tara
- Función de retención de picos.
- Función acumulada.

Capacidad (g)	2200 / 3200
Legibilidad (mg)	10 / 20
Repetibilidad (mg)	± 10 / ± 20
Linealidad (mg)	± 20 / ± 30
Tiempo de estabilización (s)	1-3
Temperatura (°C)	5-35
Tamaño de la cacerola (mm)	168 x 190
Dimensiones (LxWxH) (mm)	345 x 223 x 110



## 3556 HEMACYTOMETER / 3557 NEUBAUER COUNTING CHAMBER: OPERATION INSTRUCTIONS

**SAVE THESE INSTRUCTIONS FOR FUTURE USE**

*Info: The most current version of these instructions can be found online at [www.grahamfield.com](http://www.grahamfield.com).*

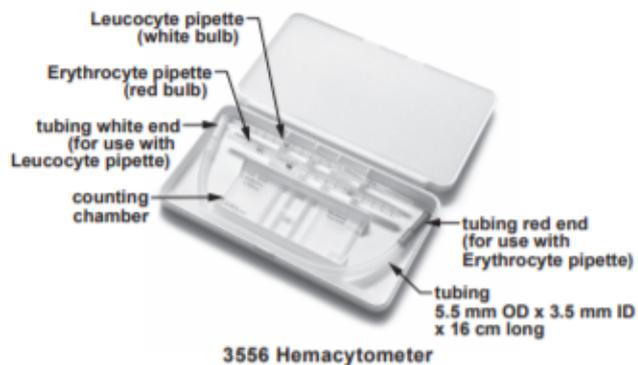
- ⚠ **WARNING:** Important! Read and understand these instructions before operating the Hemacytometer. If the Hemacytometer is not properly assembled, personal injury and damage to the Hemacytometer could result.
- ⚠ **WARNING:** If components are damaged or missing, contact your GF authorized distributor immediately. **DO NOT** use substitute parts. Use only Grafco replacement parts. Non-Grafco replacement parts could cause personal injury and damage to the Hemacytometer.
- ⚠ **WARNING:** Notice for California Customers- California Proposition 65 **WARNING:** This product contains a chemical known to the State of California to cause cancer and reproductive or developmental harm.
- ⚠ **WARNING:** For use with rubber suction bulbs or pipette pumps. **DO NOT** pipette by mouth.
- ⚠ **WARNING:** GF Health Products, Inc. assumes no responsibility for any damage or injury caused by improper assembly, installation or use of this product.

### PRODUCT DESCRIPTION

#### Counting Chamber (Hemacytometer) Intended Use

A counting chamber is a precision measuring instrument made of special optical glass. It is used to count cells or other particles in suspension under a microscope.

Counting chambers are mainly used for blood analysis (counting leucocytes, erythrocytes and thrombocytes) and to count cells of liquor. Counting chambers are also used to count bacteria and fungus spores.



### COMPONENTS INCLUDED

3556: Complete Hemacytometer Set includes	1 ea	Double Improved Neubauer Counting Chamber
	1 ea	Leucocyte Pipette (white bulb)
	1 ea	Erythrocyte Pipette (red bulb)
	2 ea	16 cm transparent silicone tubing (color coded for each pipette)
	2 ea	0.4 mm glass coverslip in a clear plastic protective case
3557: Double Improved Neubauer Counting Chamber includes	1 ea	Double improved Neubauer counting chamber
	2 ea	0.4 mm thick, 20 mm W x 26 mm H glass coverslips individually packed in a clear plastic protective case

Anterior [Siguiente](#)



## Edu Science Microscope Lab Laboratorio Microscopio biológico AC100-240V LT / BK1201



Modelo:	LT / BK1201	Tipo:	Microscopio biológico
Objetivo:	4X / 10X / 40X / 100X	Ocular:	WF10X18
Muserola:	4 agujeros	Fuente de luz:	LED de 3W
Condensador:	Condensador Abbe NA 1,25 con diafragma de iris	Cabeza de visualización:	30 ° inclinado
Solicitud:	Laboratorio de educación hospitalaria	Fuente de alimentación:	AC100-240V / DC12V
Color:	Blanco y negro y rojo		

1

[Añadir al carrito](#)



[Cotizar Producto](#)

**Categoría:** Laboratory Biological Microscope

### Descripción

Edu Science Microscope Lab Laboratorio Microscopio biológico AC100-240V  
LT / BK1201 LT / BK1201 Sistema óptico profesional Finity Microscopio biológico acromático LED

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

##### OJO (S)

- Oculares extendidos WF 10x / 18 mm, tubos de Ø 23,2 mm.
- Los oculares se pueden fijar a los tubos

##### Cabezas

- Los cabezales binoculares tipo Siedentopf tienen tubos inclinados a 30 °, distancia interpupilar de 52 a 75 mm y están equipados con ajuste (es) de dioptrías.

##### MUSEROLA

- Revolving and reversed nosepiece for 4 objectives

##### OBJECTIVES

All optics are anti-fungus treated and anti-reflection coated for maximum light throughput

•Achromatic objectives 4x/0.13 10x/0.25 540x/0.65 5100x/1.25 oil

•Semi Plan Achromatic objectives 4x/0.13 10x/0.25 540x/0.65 5100x/1.25 oil (Optional)

## ANEXO 13: CERTIFICADO DE RESULTADOS



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



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro N° LE - 050

### INFORME DE ENSAYO LAS-AC-21-02125

Hoja de resultados

12/06/2021

Pág.: 2/5

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de la muestra	* 8001 Nitrógeno total (mg/L)	* 8001 Fosforo total (mg/L)	* 802 Potasio (mg/L)
AG18000845	LIXIVIADO DE BOTADERO	1320	19.40	821

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sede: Víctor J. Juárez Neira  
Quilón, Arequipa  
Insc. Osúbeo C.I.T. 1942

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

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, \*\*«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

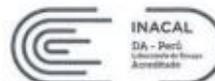
Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 3692



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

### INFORME DE ENSAYO LAS-AC-21-02125

Hoja de resultados

12/06/2021

Pág.: 5/5

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de la muestra	* 8001 Nitrógeno total (mg/L)	* 8001 Fosforo total (mg/L)	* 802 Potasio (mg/L)
AG18000845	LIXIVIADO DE BOTADERO	390	6	15

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sido Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ica, Octubre C.A.C. 1949

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

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, "«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 3692



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE-050

### INFORME DE ENSAYO LAS-AC-21-02125

Hoja de resultados

12/06/2021

Pág.: 4/5

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de la muestra	* 8001 Nitrógeno total (mg/L)	* 8001 Fosforo total (mg/L)	* 802 Potasio (mg/L)
AG18000845	LIXIVIADO DE BOTADERO	24	2	8

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.U.R.L.  
Sido Victoria Juárez Neira  
Calle 10 de Octubre  
Bogotá, Colombia

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

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, \*«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 3692



Laboratorios Analíticos del Sur

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



Registro N° LE - 050

### INFORME DE ENSAYO LAS-AC-21-02125

Hoja de resultados

12/06/2021

Pág.: 3/5

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de la muestra	* 8001 Nitrógeno total (mg/L)	* 8001 Fosforo total (mg/L)	* 802 Potasio (mg/L)
AG18000845	LIXIVIADO DE BOTADERO	580	11	30

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
SIXTO VICENTE JUÁREZ NEIRA  
Calle 1ra. General  
Bogotá, D.C. 1943

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

\*«Valor numérico» = Límite de detección del método, \*«Valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 3692