

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Análisis de consorcios microbianos de suelo utilizados como
inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales
domésticas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Silvia Salcedo Fernández
Grace Thalia Quispe Breña

Asesor:

Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo

Lima, mayo de 2023

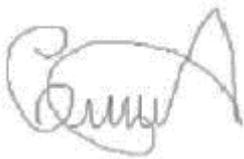
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Cesar Asbel Aranda Castillo, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ANÁLISIS DE CONSORCIOS MICROBIANOS DE SUELO UTILIZADOS COMO INÓCULOS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”** de los autores Silvia Salcedo Fernández y Grace Thalia Quispe Breña tiene un índice de similitud de 8% verificable en el informe del programa Turnitin, excluyendo del informe la bibliografía y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 25 días del mes de mayo del año 2023.



Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **16 días** día(s) del mes de **mayo** del año 2023 siendo **las 09:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** y **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y el asesor, **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Análisis de consorcios microbianos de suelo utilizados como inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **SILVIA SALCEDO FERNANDEZ**

.....b) **GRACE THALIA QUISPE BREÑA**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **SILVIA SALCEDO FERNANDEZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **GRACE THALIA QUISPE BREÑA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

() Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio



Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

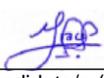
Asesor
Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas

Miembro
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Candidato/a (a)
Silvia



Candidato/a (b)
Grace Thalia

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud a Dios por ser mi luz y mi guía en todo momento. Me siento profundamente agradecida con mis padres (Roberto y Milagros) por su amor y sacrificio durante todo mi camino académico, también expreso mi gratitud a mis amigos, especialmente a aquellos que me apoyaron y animaron durante la realización de mi tesis y con ello una dedicación especial a mi compañera de tesis (Grace). Hacia mi asesor por su paciencia, sabiduría y dedicación en ayudarnos a alcanzar este objetivo, al igual que a mis docentes por todos los conocimientos impartidos. Asimismo, a las instituciones que nos brindaron su apoyo y recursos para la investigación. Muchas gracias por todo.

Silvia Salcedo Fernández

Agradezco infinitamente a Dios por darme inteligencia, sabiduría y fortaleza para ser perseverante y paciente ante las incontables adversidades para alcanzar este objetivo. Gratitud a mis padres (Humberto y Yeny) y abuelitos (Ida y Damis), quienes fueron mi motivación para alcanzar este objetivo tan anhelado, por su apoyo incondicional durante toda esta etapa académica y ser mi soporte en la distancia en los momentos más difíciles. Gracias, también, a mi compañera de tesis (Silvia), a mi primos, tíos, amigos, docentes y compañeros de trabajo. Y, por supuesto, a mi asesor, el Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo, por su paciencia, orientación y conocimientos impartidos, así como a las instituciones y trabajadores de las diferentes entidades que nos ayudaron en el desarrollo de esta investigación. Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes ¡gracias!

Grace Thalia Quispe Breña

INDICE

AGRADECIMIENTOS	1
INDICE	5
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	7
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Obtención de las muestras de suelo	10
Aislamiento y obtención de las cepas microbianas.....	10
<i>Aislamiento de las especies microbianas desde la muestra de suelo</i>	10
<i>Preparación y dosificación de consorcios microbianos</i>	12
Obtención y análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual	12
Inoculación de los consorcios microbianos al agua residual	13
<i>Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual</i>	13
Análisis estadístico.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Análisis de la calidad del suelo	14
Aislamiento e identificación de las cepas microbianas.....	16
Análisis de los parámetros fisicoquímicos.....	19
Reducción de la DBO ₅ por consorcios microbianos.....	21
CONCLUSIÓN.....	25
BIBLIOGRAFÍA	26

ANÁLISIS DE CONSORCIOS MICROBIANOS DE SUELO UTILIZADOS COMO INÓCULOS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

ANALYSIS OF SOIL MICROBIAL CONSORTIA USED AS INOCULA IN THE DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PROCESS

Silvia SALCEDO FERNÁNDEZ¹, Grace Thalia QUISPE BREÑA^{1*} y Cesar Asbel ARANDA CASTILLO²

¹EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, kilómetro 19.5, Ñaña, Lima, Perú

²EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, kilómetro 19.5, Ñaña, Lima, Perú

*Autor por correspondencia: gracequispeb@gmail.com

Palabras clave: Aguas residuales, *Bacillus*, DBO₅, *Pseudomonas*, PTAR

RESUMEN

Un alto porcentaje de aguas residuales carecen de un adecuado tratamiento que afecta la salud y bienestar de los ciudadanos. Asimismo, a nivel nacional cerca del 20 % de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) incumplen los límites máximos permisibles (LMP), siendo el parámetro destacable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Frente a ello, el tratamiento biológico es una alternativa viable para reducir los contaminantes que se encuentran en el agua, no obstante, no siempre es efectivo en su totalidad. Gracias al potencial biodegradador de materia orgánica del agua servida con la adición de microorganismos del suelo (bioaumentación), en el presente estudio se inoculó tres consorcios microbianos aislados de suelo en muestras de aguas residuales extraídas desde la laguna aireada de la PTAR Carapongo. Se realizó el aislamiento, identificación y constitución de consorcios de las 3 especies bacterianas: *Bacillus pumillus*, *Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas putida* para luego ser inoculadas en el agua residual a 200 rpm durante 48 horas. Se monitorearon los parámetros de pH, T y CE cada 12 horas y la DBO₅ a las 24 y 48 horas. Los 3 consorcios mostraron niveles de remoción de DBO₅ por encima del 90 %. El C2 presentó remoción del 95.24 % a las 24 horas y C3 (96.29 %) a las 48 horas. Se concluye que los 3 consorcios redujeron el porcentaje de DBO₅ más que el proceso de la PTAR (57.85%) en un mismo TRH (24 horas).

Key words: Wastewater, *Bacillus*, BDO5, *Pseudomonas*, WWTP

ABSTRACT

A high percentage of wastewater lacks adequate treatment that affects the health and well-being of citizens. Likewise, at the national level, close to 20% of the wastewater treatment plants (WWTP) do not comply with the maximum permissible limits (MPL), the biochemical oxygen demand (BOD5) being the notable parameter. Faced with this, biological treatment is a viable alternative to reduce contaminants found in water, however, it is not always fully effective. Thanks to the biodegrading potential of organic matter in wastewater with the addition of soil microorganisms (bioaugmentation), in the present study three isolated soil microbial consortia were inoculated in wastewater samples extracted from the aerated lagoon of the Carapongo WWTP. The isolation, identification and constitution of consortia of the 3 bacterial species were carried out: *Bacillus pumillus*, *Bacillus licheniformis* and *Pseudomona putida* to be later inoculated in the residual water at 200 rpm for 48 hours. The parameters of pH, T and CE were monitored every 12 hours and the BOD₅ at 24 and 48 hours. The 3 consortia showed BOD₅ removal levels above 90%. C2 presented 95.24% removal at 24 hours and C3 (96.29%) at 48 hours. It is concluded that the 3 consortia reduced the BOD5 percentage more than the WWTP process (57.85%) in the same TRH (24 hours).

INTRODUCCIÓN

En el mundo, aproximadamente el 70% de las aguas servidas carecen de tratamiento (Larios-Meño et al. 2015). Según el prólogo de Irina Bokova, en la década pasada se reportaron más de 800.000 muertes debido a servicios de saneamiento inapropiados y al consumo de agua potable contaminada, que puede provocar infecciones parasitarias, víricas, bacterianas y enfermedades diarreicas agudas (EDAS) (WWAP 2017). Además, conforme a Méndez Vega y Marchán Peña (2008) al verterse agua residual sin previa depuración y la gestión inadecuada de los subproductos del tratamiento de aguas, como arenas, lodos y otros residuos, pueden degradar el cuerpo receptor, repercutiendo en la salud de las comunidades y en sus actividades económicas y recreativas (MINAM 2015).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en países con recursos limitados presentan una falta de sostenibilidad debido a la selección inadecuada de tecnologías no adaptadas al contexto (WaterAid 2020). En Perú, hasta 2009, aproximadamente el 69.8% de los 789 millones de metros cúbicos de aguas residuales no recibían tratamiento, y solo 7 de las 143 PTAR operaban de manera eficiente (Larios-Meño et al. 2015). Además, en 2020 se realizaron 170 informes de monitoreo de efluentes de las PTAR, revelando que el 37% estaba por debajo del límite máximo permisible (LMP), mientras que el 63% lo superaba, siendo parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) los más afectados (DGAA-MVCS 2020).

La DBO₅ es una medida clave para evaluar la contaminación de las aguas residuales, ya que representa la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante la degradación de la materia orgánica (Metcalf y Eddy 1996, Ramalho 2003). La reducción de la DBO₅ y la estabilización de la MO son procesos biológicos que involucran una diversidad de microorganismos, especialmente bacterias (Metcalf y Eddy 1996).

Uno de los enfoques para mejorar los tratamientos biológicos en comparación con los métodos convencionales es la aplicación de biorremediación mediante la adición de microorganismos (bioaumentación) provenientes de la rizósfera del suelo (Mau et al. 2011, Foster y Whiteman 2013). Diversos estudios destacan el potencial degradador de la materia orgánica por parte del género de *Bacillus* y *Pseudomonas* (Milanesio 2007, Mau et al. 2011, Dhall et al. 2012, Bejarano Novoa y Escobar Carvajal 2015, Safitri et al. 2015, Barua et al. 2021, Campaniello et al. 2021, Humanante Cabrera et al. 2021). Respaldando con ello la elección de estas especies para la investigación. Asimismo, se ha demostrado que la capacidad de degradación de un consorcio microbiano es superior a la acción de una sola especie, debido a la colaboración y sinergia existente entre los microorganismos involucrados (Loperena et al. 2009).

A nivel local, la PTAR Carapongo se ve afectada por el vertido de aguas residuales de industrias cercanas, lo cual limita los nutrientes necesarios para la biodegradación bacteriana, además de la presencia de metales pesados que contienen estas aguas (Metcalf y Eddy 1996, Calderón De la Cruz 2020). Sumado a ello, el caudal actual (450 l/s) supera la capacidad de diseño de la planta (140 l/s) (Castro Palomino 2004). En este escenario, se han empleado lodos provenientes de otras PTAR para reactivar a los microorganismos, no obstante, esta adaptación no es efectiva en su totalidad porque presenta limitaciones en términos de tiempo y dependencia a factores como la tasa de multiplicación de los microorganismos, tipo y tamaño del inóculo, entre otros (Giraldo Garzón y Salazar 2013).

En ese sentido, el propósito de esta investigación fue analizar los consorcios microbianos de suelo utilizados como inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas. Esto permitirá determinar su eficacia y su capacidad para degradar la materia orgánica manifestado en términos de la DBO5 en comparación con el método convencional de la PTAR estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las muestras de suelo

La muestra fue recolectada el 6 de junio del 2022 de 3 diferentes puntos del terreno agrícola de 145.268 m² de los programas de Frutales y de Papa de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) ubicado en las coordenadas 76°56'23.41", 76°56'24.13" y 76°56'17.63" de longitud oeste y 12° 4'51.21", 12° 5'3.69" y 12° 4'56.60" de latitud sur para los puntos EM1, EM2 Y EM3 respectivamente (**Cuadro I**), perteneciente al Distrito de La Molina, Lima, Perú.

CUADRO I. UBICACIÓN DE LA ZONA DE OBTENCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO.

Punto de muestreo	Codificación	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
1	EM1	76°56'23.41"	12° 4'51.21"
2	EM2	76°56'24.13"	12° 5'3.69"
3	EM3	76°56'17.63"	12° 4'56.60"

Se recolectó 7 kg de muestra compuesta de suelo a 10 centímetros de la superficie del terreno, para luego ser trasladadas y analizadas en el laboratorio de Entomología y de Fitopatología de la UNALM.

Se analizaron los parámetros de potencial de hidrógeno (pH), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de MO y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en el laboratorio de agua, suelos y medio ambiente y fertirriego (LASMAF) de la UNALM.

Aislamiento y obtención de las cepas microbianas

Aislamiento de las especies microbianas desde la muestra de suelo

De los siguientes medios de cultivo se preparó un litro de cada uno: Agar nutritivo (AN) y agar King B, además de agua peptonada.

Conforme a la metodología de Bazán Tapia (2017) de 1 g de tierra se diluyó en 9 ml de agua peptonada estéril y caldo nutritivo (10^{-1}), homogenizándolo para dejarlo reposar por 10 minutos. Se tomó 1 ml de la dilución inicial (10^{-1}) para preparar otras diluciones más (10^{-2} , 10^{-3} ; 10^{-4} ; 10^{-5} y 10^{-6}) en agua peptona estéril. Este proceso fue repetido 2 veces para aislar las especies de *Bacillus*.

Para *Bacillus pumilus*, de cada dilución fue tomado 0.1 ml para inocular y esparcir en placas con medio AN, incubándolo a 35 °C por 24 horas (Méndez-Úbeda et al. 2017). Luego de observar sus características macroscópicas y vista al microscopio con tinción Gram, se realizaron 2 pruebas bioquímicas: Crecimiento a 50 °C luego de ser resembradas en AN por 24 horas y la hidrólisis de almidón al añadir la solución de lugol diluido (1:1) (10 ml de lugol concentrado + 10 ml de agua destilada) alrededor de las colonias para observar la formación o no de halos de hidrólisis del almidón (Calvo y Zúñiga 2010, Quillama 2014)

En el caso de *Bacillus licheniformis* se siguió la técnica de Quillama (2014). De las diluciones seriadas 10^{-3} y 10^{-4} ; se sometieron a tratamiento térmico a 80 °C por 15 min, luego fue sembrado 0.1 ml de inóculo en Agar Nutritivo a pH 7.0 por diseminación, incubándolo a 37 °C por 24 – 48 horas. Posteriormente al percibir sus características macroscópicas en la placa, se realizó tinción Gram con observación al microscopio a 40x, después se hizo la prueba de hidrólisis del almidón.

Para la *Pseudomona putida*, de acuerdo al procedimiento de Sandhya et al. (2009) y Florez-Márquez et al. (2017) se realizó una dilución seriada (10^{-2} a 10^{-7}) de 1g de suelo en 9ml de solución salina (0.85 % de NaCl). Después, se preparó el Agar King B y se sembró con 0.1ml de las diluciones para luego ser incubadas a 28 ± 2 °C durante 48-72 horas. Luego, las colonias que presentaron crecimiento, fueron resembradas en Agar King B. Posterior a ello, se aplicó la

prueba del Manitol y crecimiento a 42°. Finalmente fue observado al microscopio (40x) con tinción Gram.

Preparación y dosificación de consorcios microbianos

Se realizó la resiembra de las placas con crecimiento bacteriano, suspendiéndose en 7 ml de agar peptona a 32 °C y pH de 7 en tubos de vidrio (Egas Rosero y Tinajero Carrera 2016). Los cultivos en tubos fueron diluidos en mechero de alcohol; de la dilución de cada especie se tomó 2.5 ml y se obtuvo el 5% de los siguientes consorcios: *Bacillus licheniformis* al 2.5 % + *Pseudomona putida* al 2.5 % (C1), *Bacillus pumilus* al 2.5 % + *Pseudomona putida* al 2.5 % (C2), *Bacillus licheniformis* al 2.5 % + *Bacillus pumilus* al 2.5 (C3) (Safitri et al. 2015).

Obtención y análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual

La PTAR Carapongo posee un tratamiento anaerobio – aeróbico con tiempos de retención hidráulico de 24 horas en cada unidad de la serie de lagunas (**Fig. 1**).

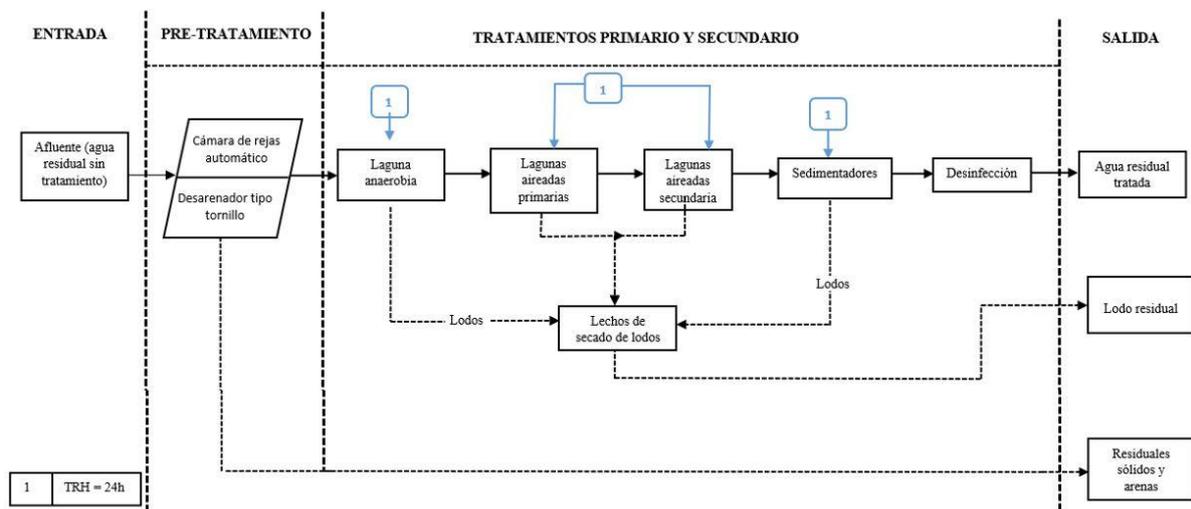


Fig. 1. Flujo del proceso y tiempo de retención hidráulico (TRH) de las unidades de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Carapongo.

Se recolectó 8 l de muestra de agua residual del canal de ingreso a la laguna aireada primaria de la PTAR Carapongo, el 20 de junio del 2022. Asimismo, se tomaron otras muestras para

evaluar la DBO₅ en los siguientes puntos: Ingreso a la PTAR, salida de las lagunas aireadas secundarias y la salida de la PTAR.

Inoculación de los consorcios microbianos al agua residual

Previamente se construyeron 3 agitadores magnéticos caseros (para simular la agitación en una laguna aireada), cada uno con un motor de 200 revoluciones por minuto (rpm) regulable. En 3 vasos precipitados de 2 l fue distribuida la muestra de agua. Los consorcios microbianos se calentaron en mechero bunsen hasta su dilución para luego ser inoculados en cada recipiente con una velocidad de agitación de 66 rpm durante 48 horas (Dhall et al. 2012).

Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual

Fue medido in situ los parámetros fisicoquímicos cada 12 horas: pH, temperatura (T°) y conductividad eléctrica (CE) con una sonda multiparamétrica (HACH Modelo HQ40D). Después de 30 minutos de sedimentación, a las 24 y 48 horas (Dhall et al. 2012) se tomó la muestra para analizar la DBO₅ en el laboratorio con el método SM.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un diseño completo al azar efectuando las pruebas de Shapiro Wilk y Kruskal Wallis para verificar la normalidad y homogeneidad de varianzas, además de identificar el supuesto de independencia de residuos de los datos. Asimismo, se realizó las pruebas de análisis de varianza con el ANOVA de medidas repetidas para la DBO₅ y las pruebas de Tukey para comparar las diferencias de las medias de los tratamientos. Adicional a ello, se realizó la correlación de las variables de pH y T° con la prueba de Pearson y, Spearman para los valores de CE con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Para procesar los datos, se usó el software Minitab 19, Stata y Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la calidad del suelo

Las características fisicoquímicas del suelo agrícola se presentan en el **cuadro II**.

CUADRO II. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE SUELO DE LOS PROGRAMAS DE FRUTALES Y DE PAPA DE LA UNALM.

Textura	pH	MO %	N ppm	P ppm	K ppm	CIC total Cmol/kg
Franco arenoso	7.70	2.47	0.12	45.21	172.2	11.20

La textura del suelo se encuentra dentro de la categoría franco-arenoso. Referente a ello, Campoy Otero et al. (2020) identificó la especie de *P. putida* en la rizósfera de un cultivo de suelo franco-arenoso, por tanto, se infiere que este suelo posee características óptimas para el hábitat de esta bacteria.

Se aprecia que el pH es 7.7 (alcalino) (Porta Casanellas et al. 2003, FAO 2009) y de acuerdo a las necesidades de pH para el desarrollo de la actividad microbiana el medio debe ser de 7.8 (Ramos Vásquez y Dávila Zúñiga 2008) y para el *Bacillus sp*, el valor es cercano a la neutralidad (Calvo Vélez et al. 2008). Asimismo, Campoy Otero et al. (2020) identificó a *P. putida* en rizósferas con pH moderado alcalino. De esta forma, el suelo estudiado es apto para el crecimiento de estas especies.

En función al contenido de materia orgánica (MO), el suelo muestreado tiene 2.47 %, encontrándose en un rango medio para la MO en suelos agrícolas (Quintana et al. 1983) propiciando de esta manera condiciones adecuadas para el crecimiento de microorganismos.

En el caso de la CIC el valor es de 11.20 Cmol/kg. Frente a ello, cuando el contenido de MO es inferior a 2 % es probable que reduzca la CIC, lo que conduce a un aumento en la acidez y menor actividad microbiana (Graterón Vargas 2020). Además, este resultado se encuentra dentro del rango de 5 - 10 Cmol/kg de suelos franco arenosos (Fertilab 2022).

El pH condiciona la disponibilidad de nutrientes (Ramírez Velasquez et al. 2022), de ese modo, las concentraciones de macronutrientes fueron: N:0.12 ppm, P:45.21 ppm y K:172.2 ppm. Los valores de fósforo y potasio se encuentran en rangos alto y medio respectivamente (AgroLab 2011). En cuanto a la concentración de nitrógeno en el suelo es variable y esta influenciada por diferentes factores, como el sistema de producción agrícola y los aportes y pérdidas presentes en el suelo (Fertilab 2022), su presencia puede provenir además de la interacción de predador-presa entre protozoarios y bacterias (Vargas 1990). Lo anterior permite afirmar que el suelo muestreado tiene los nutrientes necesarios para la supervivencia de las bacterias en el medio.

Se aisló en total tres especies de bacterias de la rizósfera del cultivo de papa y frutales. La presencia del género *Bacillus* es notable en los sembríos de papa, similar a lo hallado por Sturz (1995), Smalla et al. (2001), Calvo Vélez et al. (2008). También es posible hallar *B. pumilus* en las raíces de plantas aromáticas y *B. licheniformis* en las rizosferas de cultivos de uchuva (Corrales Ramírez et al. 2014).

En similitud al estudio de Malik y Jaiswal (2000) es relevante la presencia del género *Pseudomonas* en campos agrícolas, así como *P. putida* en cultivos de papa (Piragauta et al. 2006). No obstante, se ha identificado esta cepa en la rizósfera de suelos de plantíos de arroz (Florez-Márquez et al. 2017). En contraste, es posible hallar *Pseudomonas putida* en la rizósfera de plantas de girasoles de suelos alfisoles (Sandhya et al. 2009). Todo ello indica que este microorganismo tiene alta prevalencia en la rizósfera de los suelos agrícolas.

Aislamiento e identificación de las cepas microbianas

En el agar nutritivo, *Bacillus pumilus* en la dilución 10^{-6} presentó mayor crecimiento. Se observó colonias semicirculares, elevadas blanquecinas, con márgenes ondulados (**Fig. 2a**), similares características son descritas por Whitman et al. (2009). Conforme a Calvo y Zúñiga (2010) y Leyton et al. (2017) estas bacterias aerobias forman esporas y tienen reacción positiva a la tinción Gram (**Fig. 2b**).

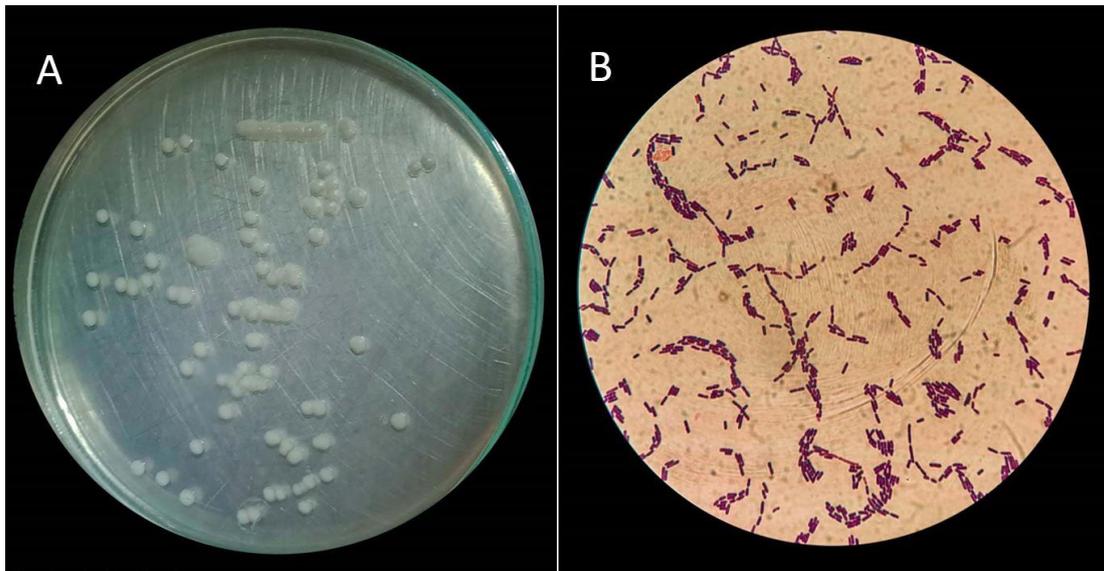


Fig. 2. Crecimiento en placa con agar nutritivo (A) y vista en microscopio a 40x con tinción gram (B).

Luego de las 24 horas de incubación a 50°C se observó crecimiento de la cepa. De la prueba bioquímica del almidón, se observó una reacción negativa al no presentar halos alrededor de la colonia. Estas características definen a *B. pumilus*, siendo sustentado por Whitman et al. (2009) y Calvo y Zúñiga (2010).

Se identificó las cepas de *Bacillus licheniformis* en la dilución 10^{-3} (con shock térmico) por sus características macroscópicas en el agar nutritivo (**Fig. 3a**), estas presentaron colonias de tamaño mediano a grandes, borde irregular, aplanadas y de color blanco opaco. La **figura 3b** presenta la vista al microscopio a 40x de los bastones alargados con coloración Gram positiva

(morado). De acuerdo a González (2013) este grupo se distingue por su capacidad para formar esporas, dar resultado positivo en la prueba de la catalasa y negativo en la prueba de la oxidasa.

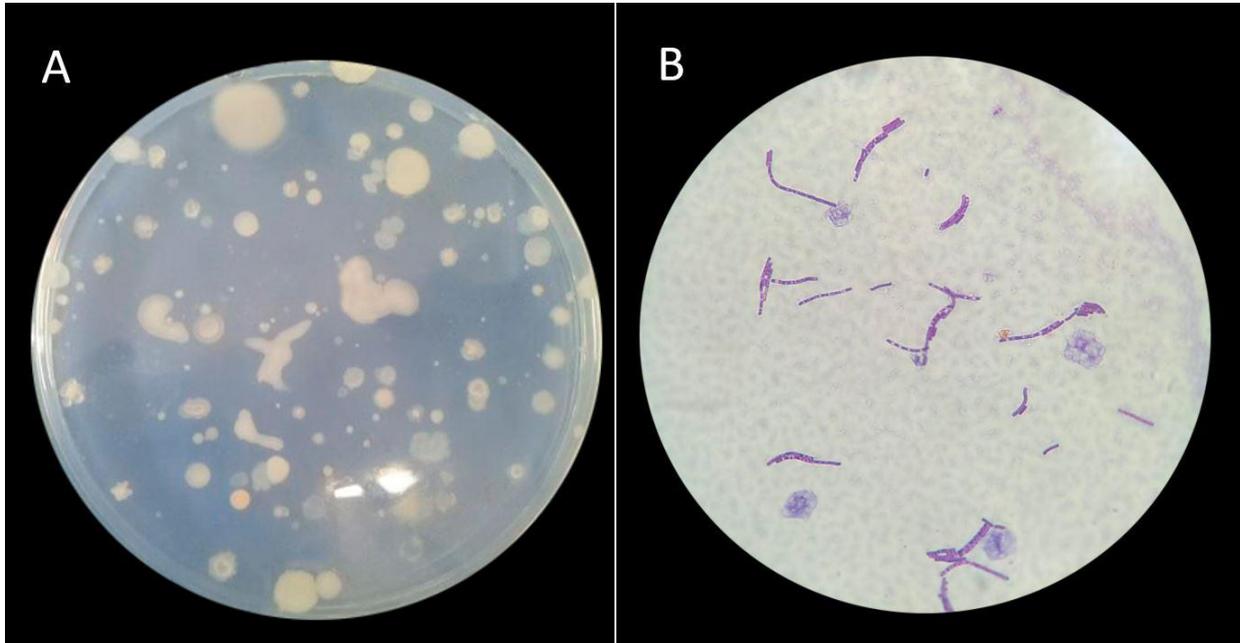


Fig. 3. Crecimiento en placa con agar nutritivo (A) y vista en microscopio a 40x con tinción gram (B)

Posteriormente en la hidrólisis del almidón para su confirmación, las colonias presentaron halos claros alrededor de sí mismas demostrando actividad amilolítica, *Bacillus licheniformis* es una bacteria que produce α -amilasas (Quillama 2014); siendo que las amilasas son comunes en el género de *Bacillus* (*Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* y *Bacillus amyloliquefaciens*) (Pandey et al. 2000, Gurung et al. 2013).

Concerniente a *Pseudomona putida*, estas colonias mostraron crecimiento en Agar King B (**Fig. 4a**), presentaron colonias circulares y convexas con pigmento amarillo muy ligero, así como lo indica Winkler (2022). Estas características son respaldadas por BIORAD (2009) que afirma que algunas de estas cepas pueden no presentar colonias pigmentadas.

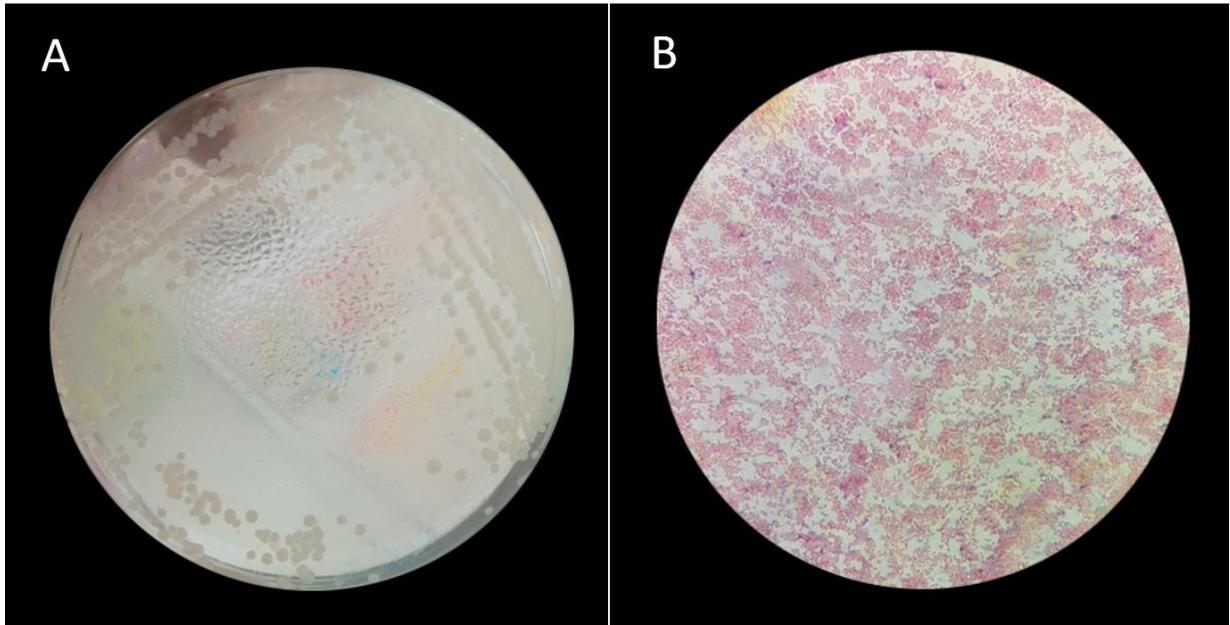


Fig. 4. Crecimiento en placa con agar King B (A) y vista en microscopio a 40x con tinción gram (B)

Al someter las colonias a una temperatura de 42°C, no se observó crecimiento. Asimismo, de la prueba bioquímica del Manitol, no fue capaz de fermentar el manitol, por ende, el pH del medio se mantuvo con una coloración roja. De forma similar, estas características determinan la identidad de *Pseudomonas putida*, avalado por Collins et al. (2004).

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

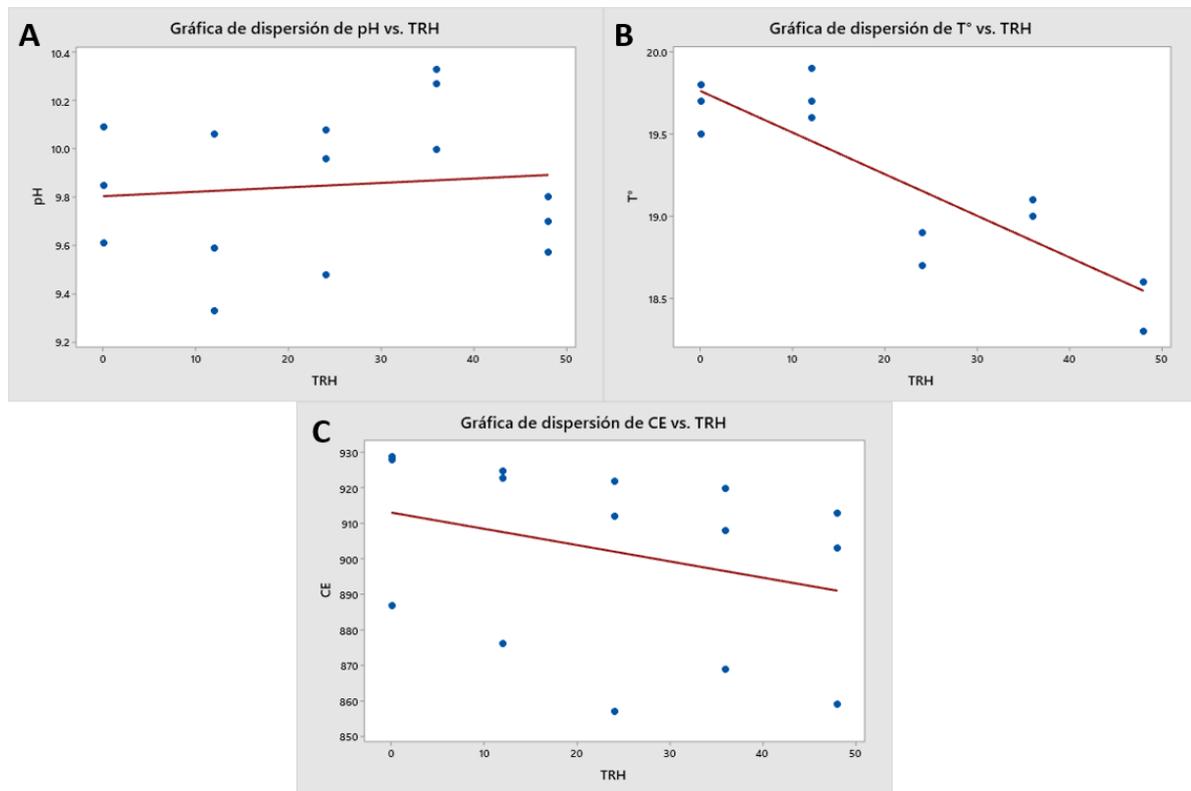


Fig. 5. Gráfica de dispersiones: A) dispersión positiva de pH vs. TRH; B) dispersión negativa de T° vs. TRH; C) dispersión negativa de CE vs. TRH.

La **figura 5** señala la gráfica de dispersión de las variables enfrentadas, de ello la correlación entre pH y TRH fue positiva débil, con un valor de $r = 0.109$. Al contrario, la correlación de T° y TRH fue negativa muy fuerte ($r = 0.874$). Adicional a ello, CE y TRH presentó una correlación negativa media ($\rho = 0.469$).

Si bien se puede observar que no existe relación significativa entre las variables de pH y TRH. El incremento o variabilidad de los valores de este parámetro pueden estar influenciados por las especies presentes en el agua residual. Esto es respaldado por diversos estudios, según Braibant Wayens (2004) el pH del medio es modificado (puede alcalinizarse o acidificarse) por el metabolismo de los microorganismos y las fuentes de energía disponibles. En ese sentido, cuando el metabolismo produce amoníaco por el consumo de aminoácidos, el pH tiende a

alcalinizarse (Braibant Wayens 2004). Teniendo en cuenta que el género de *Bacillus* emplea a los aminoácidos como una de las fuentes de crecimiento y nutrición (Garrity et al. 2007); explicaría que el metabolismo de estas especies son las responsables del incremento del pH en el agua del experimento.

Los resultados de pH se encuentran en el rango de 9.33 y 10.33, registrándose el mayor valor a las 36 horas con el C2 y el más bajo a las 12 h con el C3. Estas condiciones permiten el crecimiento de microorganismos alcalófilos que son parte del género *Bacillus* pues la versatilidad de su metabolismo favorece que se adapten a distintos pH (9 a 11) (Castillo Rodríguez 2005, Madigan et al. 2015). Asimismo, esta información es respaldada por Logan y Vos (2015) que indican el rango de crecimiento de *B. pumilus* entre 5 y 9.

De acuerdo a la correlación negativa de T° y TRH, existe relación significativa entre ambas variables, siendo inversamente proporcionales, por lo que la disminución de la T° va estar influenciada a medida que se incrementa el tiempo de retención. Los resultados de T° se encuentran entre 18.3 (hora 48) y 19.9 (hora 12) para C3 y C2 correspondientemente. Por otra parte, conforme la temperatura se eleva, las actividad química y enzimática de las células son más veloces (Mayta Mendoza y Vela Espinoza 2015), en ese sentido, existe una T° óptima para propiciar el crecimiento exponencial de cada microorganismo. Esto se sustenta con Loperena et al. (2009) y Guevara González et al. (2013) en el que *Pseudomona* mostró mayor crecimiento a temperaturas entre 15 y 35 °C. Por su parte Becerra Mejía (2007) manifiesta mejor desarrollo de *P. putida* en el rango de 28 – 30 °C. Por otro lado, el crecimiento mínimo de *B. pumilus* y *B. licheniformis* se da entre > 5 – 15 °C, 15 °C respectivamente y a un máximo en 40 – 50 °C y 50 – 55 °C en el orden dado (Whitman et al. 2009). Cabe resaltar que la T° influye en otros parámetros, si es mayor también lo será la concentración de sales (CE) en el medio, además que el oxígeno es menos soluble en aguas calientes, lo que perjudica el metabolismo bacteriano (Metcalf y Eddy 1996, DIGESA 2001).

En el caso de la correlación de la CE y el TRH, no existe una relación significativa. Esta al ser negativa, el valor de CE disminuirá conforme aumente el TRH. Teniendo en cuenta que la CE indica las concentraciones de detergentes y sales en el agua (HANNA instruments 2020), los valores de este parámetro se registraron entre 857 uS/cm (hora 24) y 925 uS/cm (hora 12) para C1 y C3 respectivamente, datos que se consideran un agua de concentración alta, sin riesgo de salinización perjudicial (Canovas Cuenca 1986, Camacho-Ballesteros et al. 2020). Sin embargo, un mayor incremento de CE en el agua puede afectar a la degradación orgánica y causar estrés osmótico en los microorganismos (Valdez Gastélum 2014). Similar resultado fue encontrado por Camacho-Ballesteros et al. (2020), que en condiciones de pH entre 6.98 a 8.32 la CE de un agua residual fue de 475 μ S/cm. Asimismo, la CE varía en función de la temperatura, es decir son directamente proporcionales (Junta de Andalucía 2013, Carrera-Villacrés et al. 2018).

Reducción de la DBO₅ por consorcios microbianos

CUADRO III. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE ENTRE LOS CONSORCIOS MICROBIANOS.

Consortios	p valor <0.05
Consortio 2 vs Consortio 1	0.560
Consortio 3 vs Consortio 1	0.601
Consortio 3 vs Consortio 2	0.955

Estadísticamente, el porcentaje de remoción de los 3 consorcios microbianos no presenta diferencia significativa debido a que el p valor es mayor a 0.05 por lo que se acepta la H_0 (**Cuadro III**).

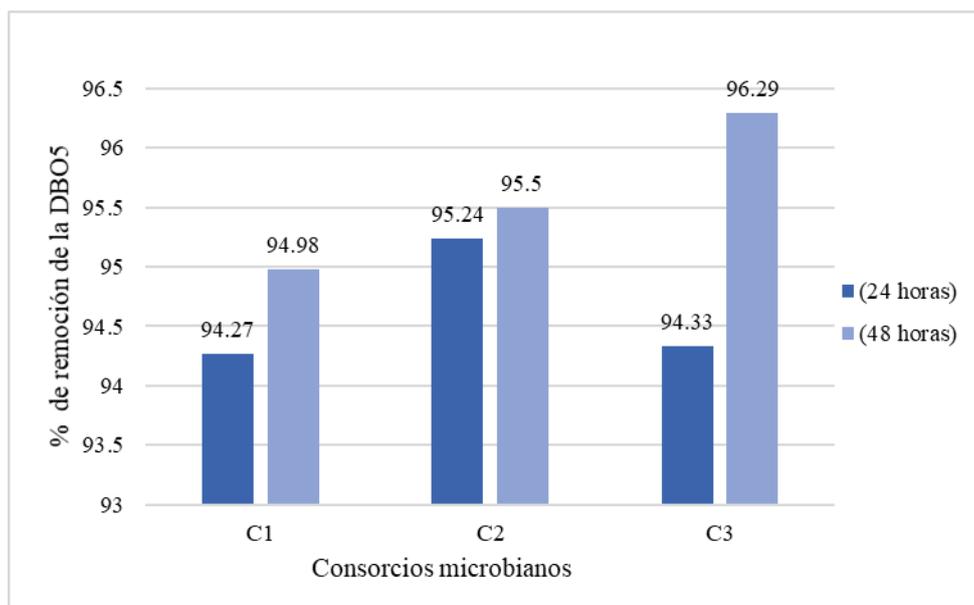


Fig. 6. Porcentaje de disminución de DBO_5 del agua residual por consorcios microbianos a las 24 y 48 horas de tiempo de retención hidráulico.

Los resultados de la disminución de la DBO_5 por cada consorcio a las 24 y 48 horas son presentados en la **figura 6**. Los consorcios conformados (C1, C2 y C3) muestran una reducción superior al 90 %, teniendo en cuenta que el agua residual inicial (1763 mg/l de DBO_5) se clasifica como agua de concentración fuerte (Metcalf y Eddy 1996).

De forma general, el consorcio C3 tuvo una mayor disminución de DBO_5 a las 48 horas (96.29 %), seguido del consorcio C2 a las 24 h (95.24 %); deduciendo que a mayor tiempo de retención hidráulico existiría mayor porcentaje de disminución de DBO_5 . Estos resultados guardan concordancia con la literatura que destaca el potencial biodegradador de la materia orgánica de *Bacillus* y *Pseudomonas* debido a que ambas especies se adaptan a variados ambientes y presentan un metabolismo versátil (Loperena et al. 2009, Baroudi et al. 2011). La disminución de la DBO_5 puede deberse al consumo de materia inorgánica y orgánica por parte de los microorganismos que los convierten en compuestos menos complejos (tejido celular) para su degradación, y que al tener un peso inferior al del agua pueden eliminarse por decantación (Metcalf y Eddy 1996, Aneyo et al. 2016). Cabe resaltar *B. pumilus*, *B. licheniformis* y *P.*

putida no son considerados patógenos para el ser humano (Mayta y Vela 2015, Villarreal-Delgado et al. 2018)

Diversos autores manifiestan resultados similares a los obtenidos en la disminución de la DBO₅ en el agua residual con el empleo de cepas del género de *Bacillus* y *Pseudomonas* a determinados tiempo de retención hidráulico. Tal es el caso, Aneyo et al. (2016) obtuvo 77 % de disminución de DBO₅ con *Bacillus cereus* a los 21 días; Sonune y Garode (2018) reportaron reducción al 72.08 % usando 10 % de inóculo de *B. licheniformis* en 96 horas de tratamiento a 200 rpm; Safitri et al. (2015) 71.93 % de disminución de un valor inicial de 260 mg/l con el consorcio de *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. coagulans*, *Nitrosomonas sp.*, y *P. putida* al 5 % del inóculo; Al-Wasify et al. (2017) 78.7 % de disminución utilizando consorcios de *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Staphylococcus aureus* y *Enterococcus hirae*; Agualimpia et al. (2016) 84 % de reducción con el consorcio de *Bacillus. sp.*, *Pseudomonas. sp.*, *Candida sp.* después de las 48 h y Dhall et al. (2012) 80.8 % de disminución a las 36 horas con 180 – 200 rpm a 32 – 37°C empleando *B. pumilus*, *Brevibacterium sp* y *P. aeruginosa* y, 85.3% con 200 rpm a 32 – 37°C con 24 horas.

Concerniente al empleo de consorcios microbianos frente a cepas individuales, Tahri et al. (2013) manifiesta que la supervivencia y estabilidad de las bacterias es mejor cuando están presentes como cultivo mixto al trabajar sinérgicamente; no obstante, dependerá de la interacción de las cepas que lo conforman (Salgado-Bernal et al. 2012). Existen estudios que respaldan los resultados obtenidos, Espejo Vargas (2016) halló 74.77 % de reducción a los 15 días con *B. licheniformis*, 72.09 % en 10 días con *Streptomyces sp.* y 93.64 % con ambas cepas en 10 días; Ben Yahmed et al. (2009) reportó reducción de la MO en un 69 % y 70 % con *Bacillus* y *Pseudomonas* respectivamente y 84 % con consorcio de *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Actinomycetes* y *Burkholderia* y, Hesnawi et al. (2014) utilizando un cultivo mixto de *P.*

aureginosa y *B. subtilis* obtuvo una disminución entre 6 – 16 % mayor de biodegradación de aguas residuales que la bacteria sola.

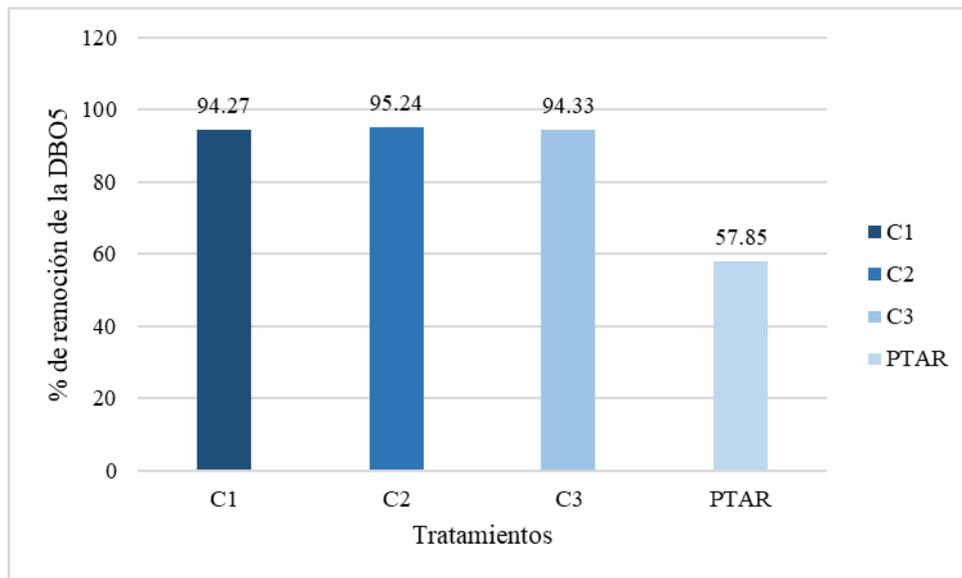


Fig. 7. Porcentaje de remoción de DBO₅ del agua residual por consorcios microbianos frente al tratamiento de una PTAR durante un TRH de 24 horas.

Por otro lado, la mayoría de las PTAR existentes en nuestro país, poseen tecnología deficiente manifestada en la baja reducción de DBO₅, DQO y comunidades bacterianas mínimas, además que el 50% de las PTAR presentan sobrecarga orgánica (SUNASS 2021). Esto se evidencia con los resultados obtenidos (**Fig. 7**) en donde se observa mayor porcentaje de disminución dado por los consorcios conformados en comparación con el proceso de las lagunas aireadas de la PTAR que alcanzó el 57.85 % de reducción de una DBO₅ inicial de 1535 mg/l; con ello, la PTAR Carapongo no cumpliría con el rango de remoción destinado a dicho proceso (80 y 90 %) establecido por la norma OS.090 de Plantas de tratamiento de aguas residuales (MVCS 2006).

Considerando los valores de remoción, los 3 consorcios podrían ser empleados para la degradación de la MO de aguas residuales domésticas en un tiempo de retención entre 24 a 48 horas.

CONCLUSIÓN

En conclusión, tras analizar los consorcios microbianos de suelo utilizados como inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas, en términos de disminución de la DBO₅ con un TRH de 24 horas, el consorcio microbiano C1 presentó un valor de 94.27%, C2: 95.24%, C3: 94.33%, mientras que, a las 48 horas, C1: 94.98, C2: 95.5% y C3: 96.29%, siendo el C2 y C3 que obtuvieron mayor resultado para las 24 y 48 h respectivamente. Todos los tratamientos, en términos estadísticos no presentaron diferencia significativa entre ellos en la reducción de la DBO₅. No obstante, el empleo de estos consorcios redujo el porcentaje de DBO₅ más que el proceso de la PTAR estudiada, teniendo en cuenta que en un TRH de 24 horas esta obtuvo un 57.85% de reducción, mientras que con los consorcios en el mismo intervalo de tiempo se obtuvo más del 90% en todos los casos. Por otro lado, el mayor valor de pH registrado fue a las 36 horas con el C2 (10.33) y el más bajo a las 12 h con el C3 (9.33), mientras que la mayor T° se presentó en la hora 12 con C2 (19.9 °C) y la menor en la hora 48 con C3 (18.3 °C), finalmente el mayor dato de CE fue a la hora 12 con C3 (925 uS/cm) y el menor a la hora 24 con C1 (857 uS/cm).

BIBLIOGRAFÍA

- AgroLab (2011). Guía de referencia para la interpretación de análisis de suelos [en línea].
http://www.agrolab.com.mx/sitev002/sitev001/assets/interpretacion_fertsuel.pdf
06/01/2023
- Agualimpia B., Otero J.V. y Zafra G. (2016). Evaluation of native microorganisms for biodegradation of oil and grease in palm oil refinery effluents. *Biotecnología Aplicada* 33, 1221–1226.
- Alvarez-Vera M.S., Soto-Valenzuela J.O., Quevedo-Vásquez J.O. y Giler-Escandón L.V. (2019). Obtención de consorcios microbianos benéficos y su incidencia en la población microbiana nativa de la rizósfera de plantas de fresa (*Fragaria sp.*). *Ciencias Técnicas y Aplicadas* 4 (11), 149-179.
- Al-Wasify R.S., Ali M.N. y Hamed S.R. (2017). Biodegradation of dairy wastewater using bacterial and fungal local isolates. *Water Sci Technol* 76 (11), 2896-3180.
<https://doi.org/10.2166/wst.2017.481>
- Aneyo I.A., Doherty F.V., Adebessin O.A. y Hammed M.O. (2016). Biodegradation of Pollutants in Waste Water from Pharmaceutical, Textile and Local Dye Effluent in Lagos, Nigeria. *Health and Pollution* 6 (12), 34–42. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-6.12.34>
- Baroudi M., Kabbout R., Bakkour H., Dabboussi F., Halwani J. y Taha S. (2011). Characterization, physicochemical and biological treatment of sweet whey (major pollutant in dairy effluent). *Environment and Chemistry* 24, 123-127.
- Barua R.C., Kolman M.A., Aguila M.S., Zapata P.D. y Alvarenga A.E. (2021). Aislamiento e identificación de microorganismos amilolíticos y tolerantes a cianuro de efluentes de la industria almidonera. *Revista de Ciencia y Tecnología* (35), 1-10.
- Bazán Tapia R. (2017). Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego. Gráfica Bracamonte, Lima, Perú, 89 pp.
- Becerra Mejía C. (2007). Optimización de un medio de cultivo para la producción de biomasa de la cepa *Pseudomonas putida* UA 44 aislada del suelo bananero de Uraba-Antioquía. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 136 pp.
- Bejarano Novoa M.E. y Escobar Carvajal M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Trabajo de grado-Pregrado. Facultad de ingeniería, Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia, 100 pp.
- Ben Yahmed A., Saidi N., Trabelsi I., Murano F., Dhaifallah T., Bousselmi L. y Ghrabi A. (2009). Microbial characterization during aerobic biological treatment of landfill leachate (Tunisia). *Desalination* 246 (1–3), 378–388.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.04.054>

- BIORAD (2009). Medio de diferenciación de *Pseudomonas* [en línea].
https://commerce.biorad.com/webroot/web/pdf/inserts/CDG/es/55278_08_2009_ES.pdf 24/01/2023
- Braibant Wayens C. (2004). Estudio del potencial de degradación de los hidrocarburos por *Acinetobacter* sp. y *Pseudomonas putida* para su aplicación en la biorremediación de suelos contaminados. Documento de Trabajo. Cartago, Costa Rica, 120pp.
- Calderón De la Cruz, M. (2020). Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de SEDAPAL. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, Universidad Nacional Federico Villareal. Lima, Perú, 180 pp.
- Calvo P. y Zúñiga D. (2010). Caracterización fisiológica de cepas de *Bacillus spp.* aisladas de la papa (*Solanum tuberosum*). *Ecología Aplicada* 9 (1), 31-39.
- Calvo Vélez P., Reymundo Meneses L. y Zúñiga Dávila D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada* 7 (1,2), 141-148.
- Camacho-Ballesteros A., Ortega-Escobar H.M., Sánchez-Bernal E.I. y Can-Chulim Á. (2020). Quality indicators physical chemistry of wastewater of state Oaxaca, Mexico. *Terra Latinoamericana* 38 (2), 361–375.
<https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.610>
- Campaniello D., Speranza B., Altieri C., Sinigaglia M., Bevilacqua A. y Corbo M.R. (2021). Removal of phenols in table olive processing wastewater by using a mixed inoculum of *candida boidinii* and *bacillus pumilus*: Effects of inoculation dynamics, temperature, ph, and effluent age on the abatement efficiency. *Microorganisms* 9 (8), 1-13. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081783>
- Campoy Otero E., Vázquez Santana A., Estrada Bárcenas D., Estrada Mora J.C., Hernández Moreno M.M. y Aguilar Ayala I. (2020). Aislamiento e identificación de bacterias cultivables de la zona de raíz de granada roja (*Punica granatum*) en un huerto del Tephé Ixmiquilpan, Hidalgo, México. *Revista Tendencias En Docencia e Investigación Química* 6 (6), 647-653.
- Canovas Cuenca J. (1986). Criterios de interpretación de la calidad agronómica de las aguas de riego. Documento de Trabajo. Madrid, España, 3 pp.
- Carrera-Villacrés D., Guamán Pineda E., González Farinango T., Velarde Salazar P. A., Guerrón Varela E. y Cajas Morales L. (2018). Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE* 13 (1), 37-40.
<https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.807>
- Castillo Rodríguez F. (2005). *Biotechnología Ambiental*. Editorial Tébar Flores, España.

- Castro Palomino E. (2004). Repotenciación de la planta de tratamiento de aguas residuales Carapongo - 2da etapa. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Collins C.H., Lyne P.M., Grange J.M. y Falkinham J.O. (2004). *Microbiological Methods Collins and Lyne's Eighth Edition*. 8va ed, Arnold, London, Reino Unido, 465 pp.
- Corrales Ramírez L.C., Sánchez Leal C.L., Arévalo Gálvez Z.Y. y Moreno Burbano V.E. (2014). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *NOVA* 12 (21), 165-177.
- DGAA- MVCS (2020). Evaluación de los monitoreos de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, presentados por los prestadores de los servicios de saneamiento para el periodo 2020. Dirección General de Asuntos Ambientales. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Informe estadístico anual. Lima, Perú, 52 pp.
- Dhall P., Kumar R. y Kumar A. (2012). Biodegradation of sewage wastewater using autochthonous bacteria. *The Scientific World Journal* 2012, 1–8.
<https://doi.org/10.1100/2012/861903>
- DIGESA. (2001). Parámetros Organolépticos. Documento de Trabajo. Lima, Perú, 145 pp.
- Egas Rosero C.I., y Tinajero Carrera M.E. (2016). Aislamiento de microorganismos capaces de producir antibióticos, a partir de suelos de las regiones naturales de Ecuador. Trabajo de grado. Facultad de Biotecnología, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 78 pp.
- Espejo Vargas L.E. (2016). Remoción de materia orgánica y coliformes termotolerantes de las aguas residuales con microorganismos nativos aislados de la Planta de Tratamiento Covicorti. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú, 124 pp.
- FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guía. Roma, Italia, 99 pp.
- Fertilab (2022). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo [en línea].
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Capacidad%20de%20Intercambio%20Cationico%20del%20Suelo.pdf> 06/01/2023
- Florez-Márquez J. D., Leal-Medina G. I., Ardila-Leal L. D. y Cárdenas-Caro D.M. (2017). Aislamiento y caracterización de rizobacterias asociadas a cultivos de arroz (*Oryza sativa L.*) del norte de Santander (Colombia). *Agrociencia* 51, 373–391.
- Foster M.H., y Whiteman R. (2013). La Bioaumentación ayuda a los Sistemas de tratamientos de efluentes [en línea].
<http://www.labamerex.com/images/Bioaumentacion-Foster-and-Whiteman-PhD.pdf> 11/01/2023

- Garrity G.M., Brenner D.J., Krieg N.R., Staley J.T., Boone D.R., De Vos P., Goodfellow M., Rainey F.A. y Schleifer K.H. (2007). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2da ed, Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-28022-7>
- Giraldo Garzón A.C. y Salazar J.M. (2013). Protocolo de adaptación de lodos para el tratamiento biológico de aguas residuales de la empresa Producciones Químicas S.A. Trabajo de grado-Pregrado. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 73 pp.
- González M. (2013). Estudio de la diversidad genética y propiedades biotecnológicas de aislamientos de *Bacillus licheniformis* provenientes de polvos lácteos comerciales. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 155 pp.
- Graterón Vargas, A.F. (2020). Caracterización fisicoquímica y mineralógica de un suelo de uso agrícola ubicado en el campus El Limonal de la Universidad Santo Tomás, Piedecuesta. Tesis de licenciatura. Facultad de Arquitectura, Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia, 90 pp.
- Guevara González J.J., Castañeda Carrión I.N., Juárez Alcántara J.J. y Mendoza Fernández A. (2013). Efecto de la temperatura y del pH sobre el crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* en solución mínima de sales con detergente Ace. REBIOL 33 (1), 1-8.
- Gurung N., Ray S., Bose S. y Rai V. (2013). A broader view: Microbial Enzymes and their relevance in industries, medicine, and beyond. *BioMed Research International* 2013, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2013/329121>
- HANNA Instruments. (2020). Monitoreo Agua Residual doméstica [en línea]. <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/monitoreo-agua-residual-domestica-23/01/2023>
- Hesnawi R., Dahmani K., Al-Swayah A., Mohamed S. y Mohammed S. A. (2014). Biodegradation of municipal wastewater with local and commercial bacteria. *Science Direct* 70, 810–814. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.088>
- Humanante Cabrera J.J., Deza Navarrete C.A., Moreno Alcivar L.C. y Grijalva Endara A.M. (2021). Biorrecuperación de aguas residuales con microorganismos. *Manglar* 18 (4), 346-356. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.044>
- Junta de Andalucía. (2013). Sistema de indicadores ambientales de la red de información ambiental de Andalucía. Informe. Andalucía, España, 6 pp.
- Larios-Meño J.F., Gonzáles Taranco C. y Morales Olivares Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL* 2 (2), 09-25.
- Leyton Y.E., Letelier A.S., Mata, M.T. y Riquelme, C.E. (2017). Marine *Bacillus pumilus* inhibitors of the fixation of microalgae to artificial substrates. *Informacion Tecnologica*, 28 (2), 181-190. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200019>

- Logan N.A. y Vos P.D. (2015). *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118960608>
- Loperena L., Ferrari M. D., Díaz A. L., Ingold G., Pérez L. V., Carvallo F., Travers D., Menes R.J. y Lareo C. (2009). Isolation and selection of native microorganisms for the aerobic treatment of simulated dairy wastewaters. *Bioresource Technology* 100 (5), 1762–1766. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.056>
- Madigan M.T., Buckley D.H., Stahl D.A., Martinko J.M., y Bender K.S. (2015). *Brock. Biología de los microorganismos*. 14va ed, Pearson.
- Malik A. y Jaiswal R. (2000). Metal resistance in *Pseudomonas* strains isolated from soil treated with industrial wastewater. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 16 (2), 177-182. <https://doi.org/10.1023/A:1008905902282>
- Mau S., Vega K. y Sánchez M. (2011). Aislamiento de bacterias del suelo y su potencial utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ciencias Ambientales* 42 (2), 42-52. <https://doi.org/10.15359/rca.42-2.4>
- Mayta Mendoza S. y Vela Espinoza S. (2015). Tratamiento biológico del cromo (VI) con *Pseudomonas Putida* en un biorreactor airlift de tubos concéntricos. Trabajo de licenciatura. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú, 124 pp.
- Méndez Vega J.P. y Marchán Peña J. (2008). Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. RyF Publicaciones y Servicios S.A.C, Lima, Perú, 79 pp.
- Méndez-Úbeda J.M., Flores Hernández M.S. y Páramo-Aguilera L.A. (2017). Aislamiento e identificación de *Bacillus subtilis* y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. *Nexo Revista Científica* 30 (2), 96-110. <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5530>
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*, Volumen I. 3era ed, Impresos y Revistas S.A, España, 505 pp.
- Milanesio P.A. (2007). El sistema cAMP-Crp de *Pseudomonas putida*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España, 198 pp.
- MINAM (2015). ESDA-Estudio de Desempeño Ambiental 2003-2013. Ministerio del Ambiente. Documento de Trabajo. Lima, Perú, 716 pp.
- MVCS (2006). Decreto Supremo N°011-2006-VIVIENDA. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Diario Oficial El Peruano, Perú. 23 de mayo de 2005.
- Pandey A., Nigam P., Soccol C.R., Soccol, V. T., Singh D. y Mohan R. (2000). Advances in microbial amylases. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 31 (2), 135-152. <https://doi.org/10.1042/BA19990073>
- Piragauta M.A., Mojica M.L. y Baquero E.G. (2006). Aislamiento, purificación y selección de bacterias como candidatos para ser utilizadas en procesos de

- biorremediación de Mancozeb (*ethylenebischlorothio carbamate*) utilizado en cultivos de papa. *Revista Científica* 8, 157-171. <https://doi.org/10.14483/23448350.342>
- Porta Casanellas J., López-Acevedo M. y Roquero C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3era ed, Mundi-Prensa, Madrid, España, 961 pp.
- Quillama E. (2014). *Manual de prácticas de Microbiología Industrial. Métodos para el aislamiento y selección de microorganismos con potencialidad biotecnológica*. Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 106 pp.
- Quintana J.O., Blandón J., Flores A. y Mayorga E. (1983). *Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua*. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Managua, Nicaragua, 60 pp.
- Ramalho R.S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, España, 697 pp.
- Ramírez Velasquez I.M., Vargas Ramirez A.F. y Arroyave Cadavid A.F. (2022). Relación entre el pH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia. *Ingenierías USBMed* 13 (2), 56-62. <https://doi.org/10.21500/20275846.4706>
- Ramos Vásquez E. y Dávila Zúñiga D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel del laboratorio. *Ecología Aplicada* 7 (1,2), 123-130.
- Safitri R., Priadie B., Miranti M. y Astuti, A.W. (2015). Ability of bacterial consortium: *Bacillus coagulans*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Nitrosomonas sp.* and *Pseudomonas putida* in bioremediation of waste water in cisirung waste water treatment plant. *AgroLife Scientific Journal*, 4, 146–152.
- Salgado-Bernal I., Durán-Domínguez C., Cruz-Arias M., Carballo-Valdés M. y Martínez-Sardiñas A. (2012). Bacterias rizoféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28 (1), 17–26.
- Sandhya V., SK. Z A., Grover M., Reddy G. y Venkateswarlu B. (2009). Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biology and Fertility of Soils* 46 (1), 17-26. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0401-z>
- Smalla K., Wieland G., Buchner A., Zock A., Parzy J., Kaiser S., Roskot N., Heuer H. y Berg G. (2001). Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Applied and Environmental Microbiology* 67 (10), 4742-4751. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4742-4751.2001>
- Sonune N., y Garode A. (2018). Isolation, characterization and identification of extracellular enzyme producer *Bacillus licheniformis* from municipal wastewater and evaluation of their biodegradability. *Biotechnology Research and Innovation* 2 (1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2018.03.001>

- Sturz A.V (1995). The role of endophytic bacteria during seed piece decay and potato tuberization. *Plant and Soil* 175 (2), 257-263. <https://doi.org/10.1007/BF00011362>
- SUNASS (2021). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras. Documento de trabajo. Lima, Perú, 278 pp.
- Tahri N., Bahafid W., Sayel H. y El Ghachtouli N. (2013). Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms. In *Biodegradation - Life of Science*, 380 pp. <https://doi.org/10.5772/56194>
- Valdez Gastélum K.K. (2014). Estudio de la reducción de compuestos orgánicos en agua residual salina mediante microorganismos halotolerantes. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Santiago de Querétano, México, 116 pp.
- Vargas R. (1990). Avances en microbiología: los protozoarios y su importancia en la mineralización del nitrógeno. *Agronomía Costarricense* 14 (1), 121-134.
- Villarreal-Delgado M.F., Villa-Rodríguez E.D., Cira-Chávez L.A., Estrada-Alvarado M. I. Parra-Cota F. I. y De los Santos-Villalobos S. (2018). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Mexican Journal of Phytopathology* 36 (1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>
- WaterAid (2020). El intratable problema de las aguas residuales. Estudio de la operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los países de ingresos bajos y medianos. Notas de políticas. Londres, Reino Unido, 8 pp.
- Whitman W.B., De Vos P., Garrity G.M., Jones D., Krieg N.R., Ludwig W., Rainey F.A. y Schleifer K.H. (2009). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Volume Three: The Firmicutes. 2da ed, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68489-5>
- Winkler (2022). Agar Base F *pseudomonas* King B modificado placa 5cm [en línea]. <https://winklerltda.cl/quimicav2/wp-content/uploads/FTmicrobiologia/638155-FT.pdf> 24/01/2023
- WWAP (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. World Water Assessment Programme. Informe. Paris, Francia, 180 pp.

Enviar un artículo

1. Inicio
2. Cargar el envío
3. Introducir los metadatos
4. Confirmación
5. Sigüientes pasos

Envío completo

Gracias por su interés por publicar con Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

¿Y ahora qué?

La revista ha sido notificada acerca de su envío y se le enviará un correo electrónico de confirmación para sus registros. Cuando el editor haya revisado el envío, se contactará con usted.

Por ahora, usted puede:

- [Revisar este envío](#)
- [Crear un nuevo envío](#)
- [Volver al escritorio](#)

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.



Envíos

Envíos

Mi lista 1

Archivos

Ayuda

Mis envíos asignados

Buscar

Nuevo envío

Filtros

Vencido

Incompleto

Fases

Envío

Revisión

Corrección de originales

Producción

Secciones de la revista

EDITORIAL

55008

Quispe Breña et al.

El Análisis de consorcios microbianos de suelo usados como inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas: -

Envío

1



✍ Redactar

📁 Recibidos 893

☆ Destacados

🕒 Pospuestos

▶ Enviados

🗑 Borradores 1

▼ Más

Etiquetas +

🗨 Historial de conversacio...



82 de 975 < > Es ▾

[RICA] Envío recibido Recibidos x



Claudio M. Amescua Garcia <rica@atmosfera.unam.mx>

mié, 5 abr, 0:43 (hace 6 días) ★ ↶ ⋮

para mí ▾

Grace Thalia Quispe Breña:

Gracias por enviarnos su manuscrito "El Análisis de consorcios microbianos de suelo usados como inóculos en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas: -" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55008>

Nombre de usuario/a: gracequispe

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental <https://www.revistascca.unam.mx/rica>

↶ Responder

↷ Reenviar

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 0027-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 15 de febrero de 2022

VISTO:

El expediente de **Silvia Salcedo Fernández**, identificado(a) con Código Universitario N° 201711741 y **Grace Thalia Quispe Breña**, identificado(a) con Código Universitario N° 201710209, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Silvia Salcedo Fernández** y **Grace Thalia Quispe Breña**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Comparación de cepas bacterianas de suelo utilizadas como inóculos para mejorar el proceso de sistemas de tratamiento de aguas residuales." y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 15 de febrero de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Comparación de cepas bacterianas de suelo utilizadas como inóculos para mejorar el proceso de sistemas de tratamiento de aguas residuales.**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo** como ASESOR, para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas** y **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo