


Contribuciones en el tratamiento de agua residual usando un consorcio sinérgico microalga-bacteria

Estrada Salinas Perla Raquel^{1*}, Meléndez Estrada Jorge¹, Cruz Colín María del Rocío²,
Castañeda Briones María Teresa², Espinoza Castañeda Marisol², Chávez Martínez Margarita²

¹Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Gustavo A. Madero, Ciudad de México. C.P. 07738. México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: pres_97@hotmail.com

ORCID : 000-0002-8401-6805

Recibido:
14/junio/2022

Aceptado:
30/diciembre/2022

Palabras clave:
Microalgas,
agua residual,
consorcio bacteriano

Keywords:
Microalgae,
wastewater,
bacterial consortium

RESUMEN

El tratamiento biológico de aguas residuales consiste en la utilización de microorganismos para la eliminación de sustancias biodegradables disueltas. En este trabajo se propone la formación de un consorcio integrado por la microalga *Scenedesmus dimorphus* proporcionada por el laboratorio de microbiología de la UAM Azcapotzalco y por once cepas bacterianas aisladas de una muestra de agua residual mediante el método de diluciones, para su aplicación en los sistemas biológicos de tratamiento, lo que supondría una solución a la baja tolerancia de los microorganismos ante las fluctuaciones ambientales. Se logró con éxito la formación del consorcio microalga-bacteria, sin embargo, se presentaron condiciones que limitaron la depuración del agua residual, por lo que se recomienda ampliar el estudio de consorcios microbianos con el propósito de establecer condiciones ambientales que favorezcan la reducción de contaminantes presentes en el agua de desecho.

ABSTRACT

Biological wastewater treatment consists of use of microorganisms for removal of dissolved biodegradable substances. This work proposes the formation of a consortium integrated by microalgae *Scenedesmus dimorphus* strain provided by the microbiology laboratory from UAM Azcapotzalco and eleven bacterial strains isolated from a wastewater sample using the dilution method, for its application in biological treatment systems, which would be a solution to low tolerance of microorganisms to environmental fluctuations. The formation of the microalgae-bacteria consortium was successfully achieved; however, there were conditions that limited the purification of the wastewater, so it is recommended to extend the study of microbial consortia with the purpose of establishing environmental conditions that favour the reduction of pollutants present in the wastewater.

Introducción

El creciente aumento de la población trajo consigo un incremento en la generación de aguas residuales, las cuales se pueden definir como aquellas cuya calidad ha sido afectada negativamente por la actividad humana.

Tan sólo en México cada año se vierten a los cuerpos naturales de agua varios millones de metros cúbicos de agua residual de origen agrícola, municipal e industrial sin que hayan pasado por un tratamiento previo que, como podemos imaginar, afecta de manera negativa a los ecosistemas y a la salud de los seres vivos.

Tratar el agua residual nos brinda grandes beneficios, como una disminución en la contaminación de cuerpos de agua los cuales sirven para abastecer a la población para su uso y consumo.

Además, se ha comprobado que la inversión en infraestructura de agua y saneamiento tiene efectos positivos evidentes en la reducción de la incidencia de enfermedades gastrointestinales, lo que disminuye el gasto en Salud Pública (FCCyT AC, 2019).

Una de las alternativas para tratar las aguas negras son los procesos basados en sistemas biológicos, empleando microorganismos capaces de degradar los nutrientes y material orgánico presentes en las aguas negras.

El tratamiento biológico de aguas residuales consiste en el control del medio ambiente dentro del sistema para que los microorganismos presentes consigan condiciones de crecimiento óptimas y así eliminar las sustancias biodegradables disueltas en el agua residual, conocidas como sustrato, las cuales abastecen de alimento a los microorganismos y, en condiciones aerobias, se transforman en diferentes productos como agua, dióxido de carbono y biomasa. En la mayoría de los casos, la materia orgánica soluble e insoluble, así como el nitrógeno, son eliminados eficientemente por la acción biológica.

En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente, la eliminación de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, para evitar el crecimiento de plantas acuáticas. Para el agua de usos industriales el objetivo es la reducción de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Regularmente es necesario un tratamiento previo debido a la toxicidad de estos compuestos hacia los organismos (Guillén, s.f.).

Por lo anterior, podemos afirmar que este tipo de sistemas conllevan una serie de desventajas, entre las que podemos destacar es que los microorganismos

involucrados en estos procesos no resisten las fluctuaciones ambientales que se presentan en las aguas residuales.

Para solventar la baja resistencia de los microorganismos usados en sistemas de tratamiento biológico se propone la utilización de un consorcio sinérgico integrado por dos poblaciones de microorganismos: microalgas y bacterias.

Un consorcio microbiano es una asociación natural de dos o más poblaciones microbianas, de diferentes especies, que actúan conjuntamente como una comunidad en un sistema complejo, donde todos se benefician de las actividades de los demás. La asociación refleja estilos de vida sinérgicos (donde los miembros cooperan y comparten nutrientes) en el que el crecimiento y el flujo cíclico de nutrientes se conduce más efectiva y eficientemente que en poblaciones individuales (López et al., 2007).

Asimismo, un consorcio microbiano puede desempeñar funciones complicadas que poblaciones individuales no podrían; además, la vida en asociación puede generar mayor resistencia a las fluctuaciones del ambiente y promover la estabilidad de los miembros, en el tiempo (Ochoa y Montoya, 2010).

Debido a que los microorganismos provenientes del agua residual se encuentran presentes en cantidades muy pequeñas, lo que se traduce en la incapacidad de degradación de los contaminantes y su baja tolerancia a la presencia de contaminantes, se consideró trabajar con un consorcio formado por dos grupos de organismos. Una cepa de microalga y once cepas de bacterias aisladas de una muestra de agua residual. Se planteó dicha asociación usando diferentes grupos de organismos, debido a que ambos grupos requieren fuentes energéticas y nutricionales distintas, por lo que la remoción de los constituyentes del agua residual fuera más completa.

Específicamente, en los consorcios microalga-bacteria se puede observar una relación simbiótica que permite a estos microorganismos (microalgas y bacterias), aumentar su crecimiento y por tanto mejorar las tasas de absorción de nutrientes. Las microalgas liberan compuestos orgánicos durante la fotosíntesis que pueden ser aprovechados por las bacterias como fuente de carbono y energía, y el O₂ que se utiliza como aceptor de electrones para degradar la materia orgánica. Asimismo, las bacterias liberan CO₂ que puede ser aprovechado para las reacciones fotosintéticas de las microalgas (Posso, 2019).

Las microalgas usadas son del género *Scenedesmus dimorphus*, ya que, según Jiang et. al. (2013), es una microalga que tolera fluctuaciones ambientales como concentraciones altas de dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de nitrógeno (NO), así como gran resistencia a altas concentraciones de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂).

El consorcio bacteriano estuvo integrado por diversas bacterias aisladas de una muestra de agua residual, lo cual resuelve la problemática de la baja resistencia o disminuida tolerancia a contaminantes gracias a que son microorganismos que están adaptados a este tipo de condiciones ambientales.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial sinérgico que tiene el consorcio microalga-bacterias para degradar los constituyentes solubles existentes en el agua residual.

Metodología

Preparación de los medios de cultivo

Para la inoculación e incubación de las bacterias se utilizó agar bacteriológico y agar de soya tripticaseína para comparar el comportamiento de los microorganismos en cada medio y definir cuál contribuye mejor a su óptimo desarrollo en la etapa de aislamiento. Para la etapa de propagación bacteriana se utilizó caldo de soya tripticaseína.

El medio de cultivo para la microalga *Scenedesmus dimorphus* fue BG-11 modificado, el cual contenía (gr/L): NaNO₃, 1.5; MgSO₄ 7H₂O, 0.075; K₂HPO₄, 0.04; CaCl₂ 2H₂O, 0.036; Na₂CO₃, 0.02; ácido cítrico, 0.006, citrato de amonio férrico, 0.006; EDTA, 0.001; mezcla de metales traza A5, 1 ml/L.

La mezcla de metales traza A5 contenía (gr/L): H₃BO₃, 2.86; MnCl₂ 4H₂O, 1.81; Na₂MoO₄ 2H₂O, 0.39; ZnSO₄ 7H₂O, 0.222; CuSO₄ 5H₂O, 0.079; Co(NO₃)₂ 6H₂O, 0.049.

Obtención de los microorganismos

La cepa de microalga *Scenedesmus dimorphus* fue proporcionada por el laboratorio de microbiología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Las bacterias se aislaron utilizando el método de diluciones con una muestra de agua residual obtenida del influente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Perinorte en Cuautitlán Izcalli. Las diluciones del agua residual se efectuaron en una solución salina de Cloruro de Sodio (NaCl) con una concentración del 8.5%. Las diluciones de agua residual para la obtención de las

bacterias a utilizar en el consorcio fueron de 10⁻¹ hasta 10⁻⁹.

Una vez realizadas las ocho diluciones de agua residual, se usó la técnica de siembra de superficie en placa sobre agar bacteriológico y agar de soya tripticaseína, a fin de poder aislar las bacterias provenientes de la muestra de agua residual y así comparar el comportamiento de las mismas ante diferentes medios de cultivo. Se preparó una caja Petri para cada dilución en ambos medios de cultivo, teniendo así un total de 16 cajas. En cada caja Petri se agregaron 25 ml de agar y 1 ml de dilución.

Las cajas Petri se metieron a una incubadora durante un periodo de 24 horas con una temperatura constante de 37°C, temperatura a la cual se ha demostrado que el crecimiento bacteriano es acelerado. El periodo de incubación se extendió hasta 96 horas en los casos en que no se presentó un crecimiento de colonias bacterianas.

Aislamiento de las bacterias

Una vez transcurrido el periodo de incubación se obtuvieron once cepas bacterianas las cuales fueron aisladas en tubos de ensayo con agar inclinado por la técnica de resiembra de caja a tubo. Se sembró cada una de las cepas por duplicado en agar de soya tripticaseína y agar bacteriológico. Los tubos fueron incubados a una temperatura de 37°C por un periodo de 96 horas.

La figura 1 muestra los tubos de ensayo con agar inclinado los cuales contenían las colonias de bacterias aisladas de la muestra de agua residual.

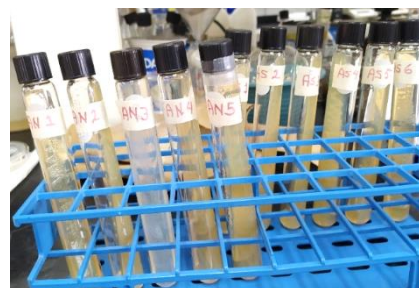


Figura 1. Tubos de ensayo con colonias bacterianas aisladas de una muestra de agua residual en agar de soya tripticaseína.

Propagación de las bacterias

Al término del periodo de incubación se realizó la propagación por duplicado de cada una de las cepas bacterianas en tubos de ensayo que contenían 5 ml de caldo de soya tripticaseína, utilizando la técnica de resiembra de bacterias de un medio sólido a un medio líquido con asa. Los tubos fueron sometidos a un periodo de incubación de 48 horas a una temperatura de 37°C.

Para saber si los microorganismos aislados y propagados resultaron viables para la formación del consorcio se midió su absorbancia con ayuda de un espectrofotómetro marca *Shimadzu* modelo *UV-1800* a una longitud de onda de 625 nm, y haciendo una comparación con la escala de McFarland se estimó el número de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) presentes en los tubos de ensayo. La tabla 1 muestra el promedio de la absorbancia medida por triplicado de las soluciones de la escala de McFarland a una longitud de onda de 625 nm.

Tabla 1. Absorbancia medida de las soluciones de la escala de McFarland (García, 2019).

Tubo	Absorbancia medida (nm)	No. Aproximado de bacterias (UFCx10 ⁸ /ml)
0.5	0.2410	1.5
1	0.4106	3
2	0.5393	6
3	0.6723	9
4	0.7850	12
5	0.8853	15
6	1.0240	18
7	1.0690	21
8	1.3066	24
9	1.3053	27
10	1.3350	30

Propagación de las microalgas

La inoculación de las microalgas se llevó a cabo bajo condiciones estériles en matraces Erlenmeyer de 1000 ml los cuales contenían 500 ml de caldo BG-11 modificado. El inóculo representó el 1% del volumen total del medio contenido en cada matraz, es decir, se agregaron 5 ml de la cepa de microalga *Scenedesmus dimorphus*.

La fase de incubación duró dos semanas en las cuales se logró observar el crecimiento de la biomasa, los matraces se colocaron cerca de una ventana donde tuvieran la exposición de luz solar con periodos de luz y oscuridad. En esta fase no se les suministró algún tipo de gas independiente al aire que contenía previamente el matraz. En la figura 2 se observan los matraces con el inóculo de *Scenedesmus dimorphus* después del período de incubación.



Figura 2. Inóculo de la microalga *Scenedesmus dimorphus*.

Formación del consorcio

La formación del consorcio bacteriano se realizó en un matraz de 250 ml que contenía 125 ml de caldo estéril de soya tripticaseína. Se vació el contenido de los once tubos de ensayo con las cepas de bacterias aisladas y propagadas en caldo de soya tripticaseína. Cada tubo contenía 4 ml de caldo.

Inoculación de reactores en lote

Se utilizaron seis matraces Kitasato de 500 ml a los que se les añadieron 450 ml de una muestra de agua residual obtenida del influente de una Planta de Tratamiento de Agua Residual. En la tabla 2 se muestra la cantidad de inóculo utilizada para cada matraz.

Tabla 2. Cantidad de inóculo utilizada en cada reactor.

Número de reactor	Cantidad de inóculo (ml)	
	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	Consorcio bacteriano
1	0	0
2	4	0
3	0	4
4	4	4
5	4	4
6	4	4

Como se observa en la tabla 2, se usaron los matraces 1, 2 y 3 como controles o testigos para poder realizar una comparación entre los matraces que fueron inoculados únicamente con bacterias o con microalgas, los que fueron inoculados con ambos microorganismos y aquellos que no fueron inoculados.

El reactor 1 no se inoculó con ningún microorganismo adicional a los endémicos provenientes del agua residual (abiótico), el reactor 2 se inoculó únicamente con la cepa de la microalga *Scenedesmus dimorphus*, y el reactor 3 fue inoculado sólo con el consorcio bacteriano.

Montaje de reactores en lote

El suministro de luz se realizó mediante lámparas fluorescentes de 20 w, las cuales proporcionan 1250 lúmenes de intensidad, intensidad a la cual se ha demostrado que se mejora la fijación de dióxido de carbono y la producción de biomasa por parte de las microalgas. Las lámparas se conectaron a un temporizador digital programable que permitió tener periodos de luz y oscuridad de 12 horas.

Para el suministro de aire se utilizó un compresor que liberaba aproximadamente 0.4 L/min a cada reactor con una concentración de dióxido de carbono de 385 ppm.

El mezclado de los reactores se realizó mediante equipos de agitación magnética, los cuales funcionaron a 100 rpm, lo que permitió disolver el dióxido de carbono en el medio de cultivo y ayudar a que se tenga una concentración uniforme de CO₂ dentro del reactor.

La figura 3, muestra el montaje de los reactores en lote con el suministro de aire y de iluminación artificial.



Figura 3. Montaje de los reactores en lote.

Resultados y discusión

Colonias bacterianas aisladas

La tabla 3 muestra los resultados del aislamiento de bacterias por la técnica de siembra de superficie en placa sobre agar bacteriológico y agar de soya tripticaseína en un periodo de 24 horas a una temperatura de 37°C.

Tabla 3. Número de cepas bacteriológicas aisladas por la técnica de siembra de superficie en placa de las diluciones de agua residual con un periodo de incubación de 24 horas.

Muestra	Número de cepas aisladas	
	Agar de soya tripticaseína	Agar bacteriológico
10 ⁻²	Incontable	--
10 ⁻³	2	--
10 ⁻⁴	1	--
10 ⁻⁵	2	--
10 ⁻⁶	1	--

--: No se presentó un crecimiento de colonias visibles.

Como se observa en la tabla 3, el crecimiento de las bacterias se aceleró en el medio de agar de soya tripticaseína mientras que en el agar bacteriológico no se observó crecimiento de colonias, por lo que se extendió el periodo de incubación hasta 96 horas.

Por su parte, en las diluciones 10⁻⁷, 10⁻⁸ y 10⁻⁹ no se presentó un crecimiento de colonias bacterianas visibles en ninguno de los dos medios.

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos para el segundo periodo de incubación.

Tabla 4. Número de cepas bacteriológicas aisladas por la técnica de siembra de superficie en placa de las diluciones de agua residual con un periodo de incubación de 96 horas.

Muestra	Número de cepas aisladas	
	Agar de soya tripticaseína	Agar bacteriológico
10 ⁻²	x	Incontable
10 ⁻³	x	1
10 ⁻⁴	x	2
10 ⁻⁵	x	2
10 ⁻⁶	x	--

--: No se presentó un crecimiento de colonias visibles.

x: Cajas Petri que ya no fueron sometidas al segundo periodo de incubación.

Las cajas Petri que contenían medio de cultivo agar de soya tripticaseína ya no fueron sometidas al segundo periodo de incubación ya que presentaron un crecimiento de colonias acelerado en las primeras 24 horas.

Por su parte, las cajas con las diluciones de 10^{-7} , 10^{-8} y 10^{-9} no presentaron crecimiento de colonias en el primer periodo de incubación en ninguno de los medios de cultivo, por lo que tampoco fueron sometidas al segundo periodo de incubación ya que se determinó que las diluciones eran demasiado altas para poder obtener unidades formadoras de colonias que pudieran aislarse.

Una vez concluidos los periodos de incubación pudieron aislarse once cepas bacterianas que se sembraron a tubos con agar bacteriológico y agar de soya tripticaseína.

Crecimiento de las cepas bacterianas aisladas

La tabla 5 muestra el crecimiento observado de la técnica de resiembra de caja a tubo de las cepas bacterianas aisladas en agar de soya tripticaseína y agar bacteriológico en un periodo de incubación de 24 horas a una temperatura de 37°C , así como la nomenclatura otorgada a cada una de las cepas aisladas.

Tabla 5. Crecimiento observado en la resiembra de caja a tubo de las cepas bacterianas aisladas en un periodo de incubación de 24 horas.

Medio de cultivo de la caja Petri	Dilución	Clave	Crecimiento observado en los tubos de ensayo	
			AST	AN
AST	10^{-3}	AS1	+++	--
AST	10^{-3}	AS2	+++	--
AST	10^{-4}	AS3	+++	--
AST	10^{-5}	AS4	+++	--
AST	10^{-5}	AS5	++	--
AST	10^{-6}	AS6	+++	--
AN	10^{-3}	AN1	+++	--
AN	10^{-4}	AN2	+++	--
AN	10^{-4}	AN3	--	--
AN	10^{-5}	AN4	++	--
AN	10^{-5}	AN5	++	--

AST: Medio de cultivo de agar de soya tripticaseína

AN: Medio de cultivo de agar bacteriológico

+++ : Indica que se presentó un buen crecimiento de la colonia bacteriana.

++ : Indica que se presentó un crecimiento regular de la colonia bacteriana.

+ : Indica que se presentó un crecimiento deficiente de la colonia bacteriana.

-- : Indica que no se presentó crecimiento alguno de la colonia bacteriana.

Como se observa en la tabla 5, las colonias bacterianas sembradas en los tubos con agar de soya tripticaseína,

presentaron un crecimiento acelerado, sin importar que éstas se hayan sembrado inicialmente en agar de soya tripticaseína o en agar bacteriológico.

Los tubos que presentaron un crecimiento bacteriano de regular a bueno fueron almacenados y refrigerados a una temperatura de -4°C . En cambio, los tubos que contenían agar bacteriológico no presentaron un crecimiento de colonias, por lo se extendió su periodo de incubación hasta 48 horas con una temperatura constante de 37°C .

Al término del segundo periodo de incubación se logró observar que solamente dos tubos que contenían agar bacteriológico (AN3 y AN4) presentaron un crecimiento de microorganismos de regular a deficiente. Por su parte, el tubo que contenía agar de soya tripticaseína (AN3), el cual era el único que no había presentado crecimiento bacteriano, logró desarrollar colonias con un crecimiento deficiente.

No obstante, se decidió extender el periodo de incubación de los tubos que contenían agar bacteriológico y el tubo con agar de soya tripticaseína (AN3) para permitir que las colonias bacterianas presentaran un mejor crecimiento al observado.

Después del tercer periodo de incubación se observó que no hubo crecimiento bacteriano en los tubos que contenían agar bacteriológico, a excepción de los tubos AN3 y AN4 que desarrollaron un crecimiento de colonias de regular a bueno. En cambio, el tubo que contenía agar de soya tripticaseína AN3 no presentó un cambio en el desarrollo de sus colonias.

Tinción de Gram

Se realizó el procedimiento de tinción simple para poder determinar la morfología de las cepas aisladas a nivel microscópico, así como para conocer el tipo de colorante que se quedará fijado a su pared celular dependiendo de sus propiedades ácidas o básicas.

Cuando los microorganismos se tiñen de color rojo (Gram negativos) es debido a la carga negativa de la safranina, la cual es considerada un colorante ácido, en cambio, cuando se tiñen de morado (Gram positivos) es debido a que los aniones (+) del cristal violeta, el cual es considerado un colorante básico, se quedan fijados a la pared celular.

En la tabla 6 se muestran las características observadas de las cepas bacterianas aisladas con la técnica de tinción simple.

Tabla 6. Características de las cepas bacterianas aisladas.

Cepa	Frotis		Observaciones	Tipo de cultivo
	A	B		
AS1	G(-)	G(-)	Bacilos cortos	Puro
AS2	G(-)	G(-)	Bacilos	Puro
AS3	G(+)	G(+)	Cocobacilos	Puro
AS4	G(-)	G(-)	Cocobacilos	Puro
AS5	G(-)	G(-)	Bacilos esporulados	Puro
AS6	G(+)	G(+)	Bacilos esporulados	Puro
AN1	G(-)	G(-)	Estreptobacilos cortos esporulados	Puro
AN2	G(-)	G(-)	Bacilos cortos	Puro
AN3	G(-)	G(-)	Bacilos largos	Puro
AN4	G(-)	G(-)	Bacilos con cápsula	Puro
AN5	G(-)	G(-)	Bacilos cortos esporulados	Puro

G(-): Bacterias Gram negativas.

G(+): Bacterias Gram positivas.

Se realizaron extensiones o frotis por duplicado de cada una de las cepas aisladas en los tubos de ensayo con agar de soya tripticaseína, los cuales fueron los que presentaron mayor crecimiento de colonias, con excepción del tubo AN3, que presentó un mejor desarrollo de colonias en el agar bacteriológico.

La figura 4 muestra imágenes captadas en un microscopio Carl Zeiss modelo Primo Star con un acercamiento de 100x en un objetivo de inmersión.

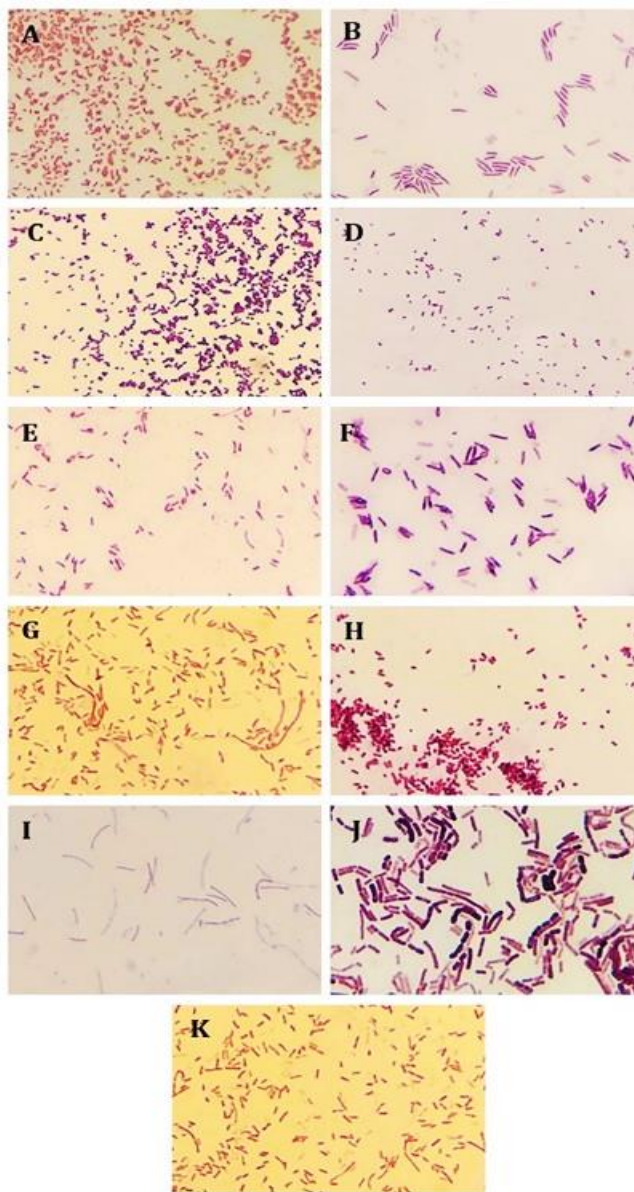


Figura 4. Micrografías de las cepas bacterianas aisladas, A. Cepa AS1, B. Cepa AS2, C. Cepa AS3, D. Cepa AS4, E. Cepa AS5, F. Cepa AS6, G. Cepa AN1, H. Cepa AN2, I. Cepa AN3, J. Cepa AN4, K. Cepa AN5.

Absorbancia

La tabla 7 muestra la medición de la absorbancia después de un periodo de propagación de 48 horas de las once cepas bacterianas inoculadas en los tubos de ensayo con caldo de soya tripticaseína, a una longitud de onda de 625 nm.

Tabla 7. Absorbancia medida de las cepas bacterianas aisladas en caldo de soya tripticaseína después de un periodo de incubación de 48 horas a 37°C, con una longitud de onda de 625 nm y número estimado de bacterias.

Cepa	Absorbancia medida (nm)	No. Aproximado de bacterias (UFCx10 ⁸ /ml)
AS1	1.569	32.92
AS2	0.399	3.14
AS3	1.492	30.96
AS4	0.901	15.92
AS5	0.211	--
AS6	0.153	--
AN1	1.478	30.61
AN2	1.742	37.33
AN3	0.137	--
AN4	0.737	11.74
AN5	0.366	2.30

--: Valores menores al límite de detección

Como se puede observar, las cepas AS5, AS6 y AN3 no tuvieron un desarrollo de colonias considerable en el valor de la absorbancia medida después del periodo de incubación de 48 horas, por lo que se les considera no viables para desarrollarse apropiadamente dentro del consorcio bacteriano.

Caracterización preliminar de la muestra de agua residual

La muestra de agua residual utilizada en los reactores en lote fue sometida a una caracterización preliminar para conocer los parámetros físicos, químicos y biológicos antes de la inoculación de microorganismos. Los parámetros medidos fueron: potencial de hidrógeno (pH), temperatura, turbiedad, conductividad, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Sedimentables (SS), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La tabla 8 muestra la caracterización inicial de la muestra de agua residual.

Tabla 8. Caracterización preliminar de la muestra de agua residual usada para los reactores.

Parámetro	Valor medido
pH	8.1
Temperatura	25.2 °C
Turbiedad	54.9 UNT
SST	90 mg/L
SS	1.8 ml/L
Conductividad	0.86 mS
SDT	420 mg/L
DQO	141 mg/L

pH: Potencial de hidrógeno

SST: Sólidos Suspendedos Totales

SS: Sólidos Sedimentables
 SDT: Sólidos Disueltos Totales
 DQO: Demanda Química de Oxígeno

Caracterización final de los reactores

Después de un periodo de 10 días en que los reactores contaron con suministro de aire y luz artificial, se realizó una caracterización de su contenido. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Caracterización final de los reactores.

Reactor	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)
1	9.18	23.4	35.1	82
2	10.9	23.6	543	604
3	9.02	23.3	52.5	86
4	9.58	22.9	151	308
5	9.62	23.2	162	339
6	9.57	23.1	142	305

Reactor	SS (ml/L)	Conductividad (mS)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)
1	--	0.93	460	123
2	--	0.77	380	692
3	--	1.19	590	402
4	1.3	1.03	510	389
5	1.3	1.04	520	426
6	1.3	1.04	520	358

--: No se obtuvieron resultados debido a la cantidad insuficiente de volumen en los correspondientes reactores para realizar la medición.

La figura 5 muestra los reactores al término del periodo de 10 días de seguimiento.



Figura 5. Estado final de los reactores después de transcurridos los 10 días desde su inoculación.

Posterior al periodo de seguimiento del crecimiento poblacional del consorcio, los resultados muestran algunos detalles en cuanto al desarrollo de la biomasa y el consumo de los constituyentes. De acuerdo a Barreiro (2019) usando un consorcio microalga-bacteria, establece que el comportamiento de la relación existente biomasa-sustrato, puede ser multifactorial y que puede responder a factores específicos que influyen directamente en la cinética como: el tiempo de retención, la intensidad luminica, el oxígeno disuelto, la proporción microalga-bacteria, la calidad del agua, entre otros. Sin embargo, para la presente investigación se puede deducir lo siguiente.

El reactor 1 no mostró variación significativa respecto a la caracterización inicial puesto que al ser el control abiótico, prácticamente no se alteraron las condiciones iniciales de los parámetros evaluados. No obstante, esto no sucedió con el resto de los controles y reactores usados. Se puede observar que la presencia del consorcio (microalga-bacteria), si influyó en las variaciones de los constituyentes evaluados, evidenciando condiciones de interacciones tanto antagónicas como benevolentes.

Lo anterior puede atestigüarse comparando los controles con los reactores que contenían los consorcios microalga-bacteria. El reactor 2, que representa únicamente a las microalgas sin cepas bacterianas, disminuyó sus concentraciones de SDT y conductividad, que están relacionados con ciertas sales y minerales que son usadas por estas poblaciones como fuente de nutrientes y que, al no tener competencia por recursos, su desarrollo fue explosivo (de 670% superior al inicial considerando los SST), pero al involucrar los consorcios bacterianos (reactores 4, 5 y 6), la competencia por los recursos limitó enormemente la población microalgal reduciendo su desarrollo en casi la mitad respecto al reactor 2 (352%). Lo anterior explica el motivo por el cual el reactor 2 tuvo una carga orgánica final de 99 mg DQO/L · día, a diferencia del reactor 3 y de los reactores que contenían el consorcio (57.4 y 56 mg DQO/L · día respectivamente).

Al comparar los SDT y conductividad, se observa que el reactor 3, que representa los consorcios bacterianos sin influencia de la microalga, no asimilan los sólidos solubles y minerales tan eficientemente como las microalgas (reactor 2) ya que éstas mostraron una eficiencia de remoción de componentes solubles de casi el 10%. No se descarta la posibilidad de que las interacciones entre los 11 grupos de bacterias hayan generado una situación de *stress* bacteriano en las poblaciones por la competencia de recursos, influyendo en la incapacidad de desarrollarse adecuadamente y sintetizar adecuadamente la fuente de carbono y

nutrientes. Tchobanoglous *et al.*, (2014), establecen que en reactores aerobios cuya base en la cadena trófica sean bacterias, regularmente no resulta viable la eliminación de componentes solubles nitrogenados, por lo que debe optarse por estrategias diferentes para remover amonio, amoníaco, nitritos y nitratos entre otros.

Se espera que en proyectos futuros se tenga la posibilidad de usar consorcios poblacionales microalga-bacteria individuales para tener más elementos en la interpretación de la asimilación de constituyentes y su efecto en la biomasa.

Conclusiones

Se lograron aislar y propagar exitosamente once cepas bacterianas del influente de un agua residual cruda y posteriormente inocularlas en reactores individuales obteniendo de esta manera un consorcio microalga-bacterias. Sin embargo, las interacciones entre la microalga *Scenedesmus dimorphus* y las once cepas bacterianas originaron condiciones que no favorecieron el desarrollo óptimo de éstas últimas, limitando el proceso de síntesis de los constituyentes del agua residual. Se recomienda usar diferentes proporciones de los consorcios microalga-cepas bacterianas y las cepas bacterianas mediante diseños de experimentos para conocer las proporciones ideales y así evitar se generen asociaciones poblacionales antagónicas que inciden en *stress* poblacional y muerte celular, mismos que ralentizan los procesos de remoción esperados en la síntesis de constituyentes del agua residual.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado, al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y a la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco por el apoyo proporcionado.

Referencias

- Barreiro, S. (2019). Caracterización de los consorcios microalgas-bacterias en el tratamiento de agua residual urbana. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- FCCyT AC. Foro Consultivo, Científico y Tecnológico, AC. (2019). Tratamiento de aguas residuales. INCyTU, (28), 1-2.
- García Delgadillo, I. (2019) Evaluación del efecto inhibitorio de NPs metálicas sobre el crecimiento bacteriano [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana].

Guillén, H. (s.f.). *Apuntes para la materia de procesos biológicos. Tratamientos biológicos aplicados a las aguas residuales*. Universidad Autónoma de Chiapas, México.

Jiang, Y., Zhang, W., Wang, J., Chen, Y., Shen, S., y Liu, T. (2013). Utilization of simulated flue gas for cultivation of *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology*, (128), 359–364.

López, T., Dominguez, L. y García, J. (2007). *Arreglo estructural de un consorcio microbiano de interés alimentario en la producción del vinagre*. Trabajo presentado en el octavo Congreso Nacional de Microscopía, octubre, México.

Ochoa, D. y Montoya, A. (2010). Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 18 (2), 55–74.

Posso, S. (2019). *Explorando la biodiversidad de consorcios microbianos amazónicos con capacidad biorremediadora de aguas residuales mediante secuenciación de última generación*. Tesis licenciatura, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

Tchobanoglous, G. Burton, F. y Stensel, H.D. (2014). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. 5th ed. McGraw-Hill Companies Inc. 1819 p.