

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias
Exactas,
Naturales
y de la Salud

Año 14 N° 40

Mayo - Agosto 2023

Tercera Época

Maracaibo-Venezuela

Polvo de moringa como floculante en agua cruda para remoción de bacterias de importancia en salud pública

Israel García-León *

José Luis Hernández-Mendoza **

Cristian Lizarazo-Ortega ***

Jesús Di Carlo Quiroz-Velásquez ****

Anabel Bocanegra-Alonso *****

Karla Selene Estrada-Ortiz *****

RESUMEN

La floculación es un método de precipitación que retiene los sólidos suspendidos, liberando aguas grises con una carga orgánica menor. El polvo de moringa tiene un efecto floculante y en este caso se evaluó su efecto entre las poblaciones bacterianas, especialmente las de importancia en salud pública. El estudio se realizó en la Ciudad de Reynosa, Tamaulipas, que tiene dos canales que conducen agua para uso urbano y agrícola. Cuatro sitios fueron muestreados, dos en la ciudad y los otros en la periferia de la ciudad. Las muestras de agua recolectadas en cada punto fueron divididas en dos. Un lote fueron los controles y al otro se les agregó polvo de moringa. Posteriormente, en todos los lotes se realizó una extracción de ADN para análisis metagenómico de la biota presente. Los resultados mostraron que hay un efecto floculante en las muestras de agua y que con el tratamiento se alteran las poblaciones microbianas; finalmente, se observa que las poblaciones de bacterias de importancia en salud pública no son retiradas con el tratamiento.

PALABRAS CLAVE: Coagulación-floculación, OTU, tag, análisis metagenómico, tratamiento de aguas.

*Laboratorio de Biotecnología Experimental - Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7876-1219>. E-mail: igarcial@ipn.mx

**Laboratorio de Biotecnología Experimental - Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1233-0133>. E-mail: jhernandezm@ipn.mx

***Laboratorio de Biotecnología Experimental - Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0010-9386>. E-mail: clizarazu@ipn.mx

****Laboratorio de Biotecnología Experimental - Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6021-0427>. E-mail: jquiroz@ipn.mx

*****Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. Programa Académico: Maestría en Análisis Clínicos. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5038-3076>. E-mail: abocanegra@uat.edu.mx

*****Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte. Programas Académicos: Energías Renovables y Mecatrónica. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5840-8234>. E-mail: karla.estrada@uttn.mx

Recibido: 16/01/2023

Aceptado: 08/03/2023

Moringa Powder as a Flocculant in Raw Water for Removal of Bacteria of Public Health Importance

ABSTRACT

Flocculation is a precipitation method that retains suspended solids, releasing gray water with a lower organic load. Moringa powder has a flocculating effect and in this case its effect was evaluated among bacterial populations, especially those of public health importance. The study was carried out in the City of Reynosa, Tamaulipas, which has two channels that carry water for urban and agricultural use. Four places were sampled, two in the city and the others on the outskirts of the city. The water samples collected at each point were divided into two. One batch was the controls and the other one was added moringa powder. Subsequently, DNA extraction was performed on all batches for metagenomic analysis of the present biota. The results showed that there is a flocculating effect in the water samples and that microbial populations are altered with treatment; finally, it is observed that populations of bacteria of public health importance are not removed with treatment.

KEY WORDS: Coagulation-flocculation, OTU, tag, Metagenomic analysis, Water treatment.

Introducción

La ciudad de Reynosa, Tamaulipas, en México, es cruzada por dos canales que conducen agua para uso urbano y agrícola: El Canal Anzaldúas, una derivación directa del Río Bravo; y el Rodhe, cuyo origen son las aguas de la Presa Marte R. Gómez. Para desestabilizar las partículas coloidales y formar flóculos por agregación de partículas se añaden coagulantes químicos o naturales a las aguas residuales (Cevallos, *et al.*, 2022). El cloruro de polialuminio (PAC) es usado ampliamente en el tratamiento del agua, así como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico (Padilla *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha asociado un riesgo mayor del Alzheimer en poblaciones donde la concentración media de aluminio residual excede a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (Mold *et al.*, 2021).

La cáscara y aceites de semillas de *Moringa oleifera* (MO) se han evaluado como coagulantes (Oliveira *et al.*, 2018), ya que las semillas contienen cantidades importantes de aminoácidos y compuestos que forman puentes y neutralizan las cargas que interactúan con las partículas

coloidales, responsables de la turbidez y el color. Estos aminoácidos forman proteínas solubles en agua de bajo peso molecular, y punto isoeléctrico entre 10 y 11, que actúan como coagulante catiónico (Ndabigengesere *et al.*, 1995). Los análisis de HPLC de las semillas de moringa mostraron que el perfil de aminoácidos es de naturaleza hidrofílica. Esto favorece mecanismos de adsorción y puentes químicos que pueden interactuar con las partículas coloidales responsables de la turbiedad de las aguas y que permite su remoción (Campos *et al.*, 2003).

Madsen *et al* (1987) y Folkard (1989) observaron que hay una correlación entre la reducción de turbiedad en el agua (cantidad de sólidos), al tratarla con MO, y la disminución de bacterias en el agua. Otro estudio concluyó que el sulfato de aluminio disminuye la turbidez en un 96 %, mientras que las semillas de MO reducen solamente 64 % (Meza *et al.*, 2018).

Nonfodji (2020) caracterizó una proteína dimérica coagulante de la semilla de MO que mostró una morfología heterogénea con poros de mucho tamaño y cuyo peso molecular es de 31.5 kDa. Esta proteína fue usada para tratar aguas residuales de hospitales y fue capaz de reducir el 64 % de la turbiedad y 38.3 % de la Demanda Química de Oxígeno, también fue capaz de reducir la presencia de algunas bacterias, 74.28 % para *E.coli*, 76.36 % para *V. cholerae* y 90 % para *P. aeruginosa*.

También se han encontrado agentes antimicrobianos en la MO, por ejemplo el 4(α -L-ramnopiranosiloxi)encil isotiocianato que fue identificado en el estudio de Eilert *et al* (1981) que mostró capacidad para inhibir *B. subtilis* y *M. pheli* en concentraciones mayores a 40 mol.L⁻¹. Otros estudios mostraron que los derivados de moringa funcionan mejor que el sulfato de aluminio (Temitope *et al.*, 2020; y Al-Jadabi *et al.*, 2021).

La espectrofotometría UV-Vis es una aplicación basada en la ley de Beer-Lambert que dice: “La intensidad de un haz de luz monocromática, que incide perpendicular sobre una muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra”; esto establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de la solución, ya que cuando existe un mayor número de moléculas, estas tendrán una mayor interacción con luz (Thomas y Burgess, 2007).

La espectrofotometría UV-Vis es ampliamente utilizada para la determinación cuantitativa de sólidos orgánicos e inorgánicos (Bosch y Sanchez, 2012). Esta técnica ayuda a correlacionar la respuesta de UV-visible (como la absorbancia) con la sustancia o determinante a ser estimado. Por ejemplo, en el caso de la turbidez, generada por los sólidos en suspensión, provoca dispersión de la luz y sombra, influyendo así en la absorbancia en todo el espectro. En nuestro estudio usamos esta técnica para estimar el impacto de la adición del polvo de MO en la remoción de sólidos suspendidos, entre ellos las poblaciones de microorganismos.

Debido a la importancia de realizar estudios del impacto de los floculantes para disminuir los riesgos a la salud de la población, se evaluó el efecto de la adición de polvo de semilla de moringa en aguas de canales de riego que pasan por la ciudad de Reynosa y determinar mediante análisis metagenómicos su impacto en las poblaciones bacterianas, haciendo énfasis en aquellas asociadas en salud pública.

1. Materiales y métodos

1.1. Origen de las muestras de agua

Se hicieron 4 muestreos de agua en el municipio de Reynosa, Tamaulipas, México; con ellos se determinó la concentración óptima de *Moringa oleifera* (MO) como coagulante. Así mismo, se realizaron análisis metagenómicos para identificación bacteriana en las muestras tratadas y no tratadas con MO. De los 4 muestreos, 2 se hicieron en el canal Rodhe (R) y 2 en el canal Anzaldúas (A). En cada canal se obtuvo una muestra en la mancha urbana (I) y el otro en las márgenes de la ciudad (E). En cada muestreo se tomaron 2 litros de aguas superficiales con una profundidad mayor de 30 cm, empleando para ello, frascos de vidrio estériles (Cabrerero 2018) los cuales fueron colocados en hielo y transportados al laboratorio.

1.2. Determinación de la concentración óptima MO

Los frutos de MO se recolectaron manualmente de árboles y se secaron por 24 horas, al cabo de las cuales por extrusión se extrajo el aceite y pulverizadas hasta obtener un polvo fino (90% de partículas con diámetro de entre 200 a 500 μm).

El agua de los muestreos se dividió en 4 grupos: Anzalduas Exterior (AE), Anzalduas Interior (AI), Rodhe exterior (RE) y Rodhe interior (RI). De cada grupo se tomó, por triplicado, 200 ml en un matraz erlenmeyer de 1 L. A cada uno se le añadieron 10, 20 y 40 mg.L⁻¹ MO. Las muestras se agitaron por 45 minutos a 300 RPM y se dejaron reposar 2 horas. Posteriormente, se recuperaron los sobrenadantes que fueron analizados por espectrometría (Beckam Coulter DU 650) a longitudes de onda (LO) de 433, 337 y 512 nm. El agua miliQ estéril sirvió como control negativo. Se realizó un ANOVA de una vía y comparación de medias (Tukey) usando el programa Rstudio versión 4.0.4.

1.3. Extracción de DNA metagenómico

Para la extracción de ADN las muestras fueron homogeneizadas y separadas en volúmenes de 500 ml. A los frascos tratados se les adicionaron 20 mg.L⁻¹ de MO. Se agitaron por 45 minutos y luego se dejó reposar por 2 horas. Para la obtención de la biomasa se filtró el agua con membranas de nylon de 0,45 µm, 47 mm (Marca Merck, Irlanda). De la membrana se recuperó la biomasa para hacer la extracción del ADN (Goswami, 2020) usando el kit de extracción de Bio Basic EZ-10 Spin Column Blood Genomic DNA Miniprep Kit (SK8253/SK8254) siguiendo las recomendaciones del fabricante. Del DNA extraído se optimizaron las concentraciones a 9 ng.µl⁻¹ en cada una de las muestras. Las extracciones fueron visualizadas con el transiluminador Kodak modelo Gel Logic II2 en un gel de agarosa 1%. La concentración del ADN obtenido se determinó en el NanoDrop™ 2000 modelo ND2000CLAPTOP de la marca Thermo Scientific™.

1.4. Análisis metagenómico

La secuenciación masiva se realizó con Illumina. Los productos de PCR se repararon en los extremos, se unieron en cola A y se ligaron con adaptadores. Con estos resultados se elaboraron bibliotecas para generar lecturas crudas de extremo emparejado de 250 pares de bases (pb). Los archivos de la secuenciación fueron procesados eliminando aquellas secuencias cortas y de baja calidad. Los archivos se limpiaron con el software Cutadapt versión 2.8 (<https://cutadapt.readthedocs.io/en/v3.0/changes.html#v2-8-2020-01-13>). Para el filtrado de

calidad de lecturas de las muestras se empleó el software QIIME versión 1.7.0 (Quantitative Insights into Microbial Ecology, <https://qiime2.org/>).

Las secuencias se compararon (programa Gold, algoritmo UCHIME) para detectar y eliminar secuencias quiméricas. Posteriormente, con lecturas efectivas, las secuencias fueron procesadas con el software Uparse v7.0.1001 para la obtención de cada Unidad Taxonómica Operativa (OTU). Aquellas secuencias con $\geq 97\%$ de similitud fueron asignadas, conservando una secuencia representativa para cada OTU. Esta secuencia fue procesada con el software Mothur para ser comparada con la base de datos SSUrRNA de SILVA (<https://www.arb-silva.de/>) y obtener finalmente la anotación de especies por rango taxonómico (reino, phylum, clase, orden, familia, género y especie). La relación filogenética de todas las secuencias representativas de los OTUs fue procesada con el software MUSCLE versión 3.8.31 (<https://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/muscle/>) para comparar secuencias múltiples.

2. Resultados y discusión

2.1. Determinación de la concentración óptima MO

En la tabla 1 se presentan los resultados del análisis de varianza para los valores de absorbancia obtenidos en las muestras de aguas de los canales. Hay una diferencia altamente significativa en la absorbancia de cada uno de los sitios muestreados (tabla 1). Los resultados permiten estimar que las muestras de aguas del canal Rodhe contienen más materia en suspensión (0,0568) que el Anzalduas (0,0166). Los análisis de varianza de los sitios I (internas) y E (externas), en Anzalduas son 0,0125 (E) y 0,0207 (I), mientras que en Rodhe son 0,0248 (E) y 0,0889 (I); en ambos casos el análisis permite estimar que (I) tienen más sólidos en suspensión que los (E) ($p < 0,000$) (tabla 1).

Por otra parte, en cuanto a la evaluación de la longitud de onda más adecuada para la determinación de sólidos totales en estas aguas, se usaron 3 diferentes: 337, 433, 512 nm. Así, el análisis fotométrico del agua miliQ empleada como control dio valores de absorbancia de 0.000 en todas las lecturas. Se hicieron análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para hacer interacciones entre las diferentes LO empleadas y los resultados mostraron que LO 337 tiene diferencias altamente significativas con respecto a las otras (tabla 1). Esto significa que es mejor

para evaluar la absorbancia en muestras de agua tratadas con moringa y eso es contrastante con los datos reportados por Salazar Gámez (2015).

Tabla 1. ANOVA y comparación de medias de absorbancia para canal, sitio, longitud de onda y concentración de muestras de agua en Reynosa, Tamaulipas. Se indica la comparación de medias para canal, longitud de onda, sitio y por cantidad de polvo de moringa empleado. Las negritas confirman la diferencia significativa. Con la letra a y b indica diferencias estadísticas significativas.

Factor	Canal		Longitud de onda		
Nivel	Anzalduas	Rhode	337	433	512
Promedio	0,01820185	0,06405370	0,07076667 a	0,03070556 b	0,02191111 b
Nivel de significancia	9,68E-06		2,57E-04		
Factor	Sitio		Concentración		
Nivel	Exterior	Interior	10 mg.L ⁻¹	20 mg.L ⁻¹	40 mg.L ⁻¹
Promedio	0,01958148	0,06267407	0,03876389	0,03505833	0,04956111
Nivel de significancia	3,56E-05		5,25E-01		

Ahora, con respecto a la cantidad de MO empleado, los reporten muestras con cantidades pequeñas como 0.25 -- 1.25 mg.L⁻¹ (Zaid *et al* 2019) hasta de 800 mg.L⁻¹ (Arantes *et al* 2015). En este estudio se valoraron concentraciones de 10, 20 y 40 mg.L⁻¹ y los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticas entre estos valores (tabla 1), por lo que aparentemente la cantidad de polvo de moringa en cualquiera de las cantidades aquí evaluadas tienen el mismo efecto en la floculación de las aguas tratadas. Para las evaluaciones en este trabajo se determinó emplear 20 mg.L⁻¹ debido a que si hay diferencias significativas, entre antes del tratamiento con MO y después del tratamiento, en los valores de la absorbancia que fueron obtenidos. También se utiliza la concentración de 20 mg.L⁻¹ debido a que es la concentración de MO que causa una

mayor disminución del valor de la absorbancia después del tratamiento, como se puede ver en la tabla 2. La disminución de la absorbancia permite estimar que hay una remoción de sólidos suspendidos después del tratamiento, lo cual coincide con reportes de otros autores como Arantes *et al* (2015) y Zaid *et al* (2019) quienes también usan cantidades de 20 mg.L⁻¹ o menores.

Tabla 2. ANOVA de medias absorbancia de las muestras de agua antes y después de someterlas a tratamiento con moringa (*Diferencias significativas; **Diferencias altamente significativas).

Anova y comparación de medias

Factor	10 mg.L ⁻¹		20 mg.L ⁻¹		40 mg.L ⁻¹	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Promedio	0,06785000	0,03876389	0,06785000	0,03505833	0,06785	0,04956111
Nivel de significancia	* 1,08E-02		** 3,52E-03		2,14E-01	

2.2. Análisis metagenómico

2.2.1. Análisis de OTUs y anotación taxonómica

Para un manejo más rápido de la muestra se etiquetó cada una acorde a sus características como se puede ver en la tabla 3.

Los resultados muestran que la mayor cantidad de marcadores (tags) detectadas en el análisis metagenómico fue de 138.583 en una muestra del canal Anzaldúas, siguiéndole de cerca una muestra del canal Rodhe con 137.662 tags. De los resultados anteriores, para Anzaldúas la asignación promedio fue de 119.668 tags y para el canal Rodhe la cantidad fue de 134.377 tags. Por el contrario, en la muestra de RI se detectaron en promedio 106.925 tags.

En cuanto a la cantidad de OTUs detectados, que representa la cantidad de especies presentes en una muestra, la correspondiente al canal Rodhe interior, no tratada con MO (RIS6), tiene 1.024 especies, mientras que la tratada (RIM5) tiene 937 OTUs. Esto significa una disminución de la presencia de 87 OTUs debido al tratamiento.

Tabla 3. Se muestra el nombre de todas las muestras usadas para el análisis metagenómico acorde a su canal de origen, localización y tratamiento.

Nombre de las muestras utilizadas en el análisis metagenómico

Tratamiento/Canal	Anzaldúas		Rodhe	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Con tratamiento	AIM1	AEM3	RIM5	REM7
Sin tratamiento	AIS2	AES4	RIS6	RES8

2.3. Efecto del tratamiento

La figura 1 muestra la cantidad de marcadores (tags number) en el eje Y, que representa el número de secuencias que fueron detectadas en cada muestra de agua.

La cantidad de marcadores totales (total tags) muestra el número de secuencias efectivas que fueron detectadas durante el análisis. Por su parte, Marcadores de taxones (taxon tags) corresponde al número de secuencias anotadas, mismas que sirven para la asignación de nombres científicos a los que corresponden las secuencias obtenidas. Las secuencias sin anotación, incompletas o códigos genéticos no asignados están en los marcadores sin clasificación (unclassified tags). Los marcadores únicos (unique tags) corresponden al número de secuencias con una frecuencia de 1, lo que significa que se encuentran una sola vez en las muestras. También en el eje Y se puede ver la cantidad de OTUs (OTUs Number) que se refiere a la cantidad de unidades taxonómicas (OTU) que se encuentran en las muestras de agua que fueron analizadas (Figura 1).

La muestra más limpia y con un menor número de OTUs corresponden al canal Anzaldúas interior tratado con MO (AIM1) y hay disminución de 224 OTUs en comparación a la que no fue tratada con MO (AIS2). Esto representó una disminución en la cantidad de especies, las cuales fueron removidas con el tratamiento. Un resultado similar se obtuvo con la muestra de este canal tomada en la salida de la mancha urbana de Reynosa (AEM3). En este caso, la disminución fue de 135 OTUs con respecto a la que no recibió el tratamiento (AES4) (Figura 1).

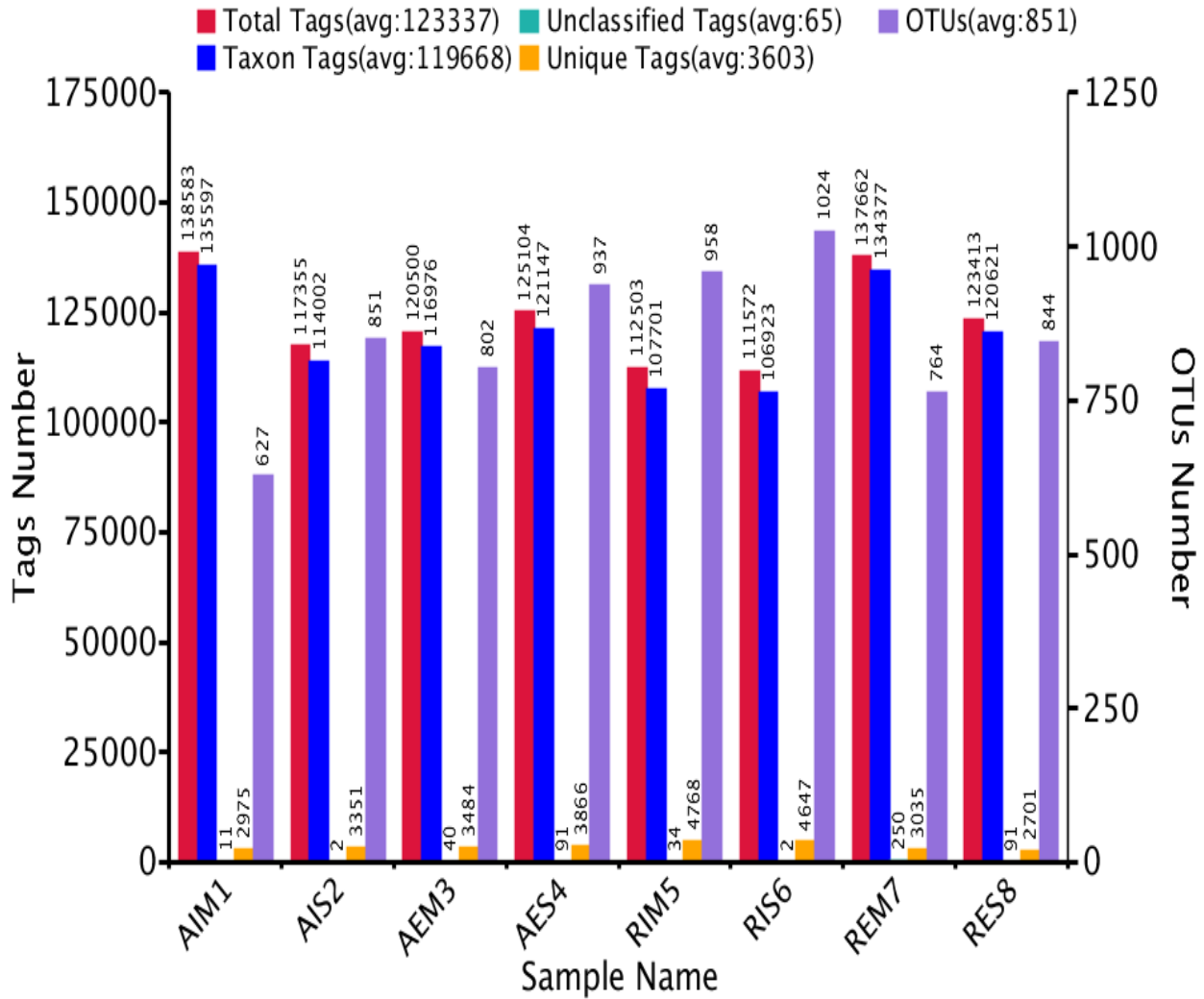


Figura 1. Marcadores totales y número de OTUs de cada muestra.

La muestra RIS6, es donde se detectó el mayor número de OTUs con 1.024 y en RIM7 se redujo esa cantidad a 958 OTUs, es decir, por efecto del MO disminuyó en 66 OTUs. Caso similar sucede con la muestra de Rodhe tomada al exterior de la mancha urbana (REM7), que disminuye 80 OTUs con respecto a la que no recibió el MO (RES8) (Figura 1). En un análisis global, el tratamiento fue más efectivo en las aguas del canal Anzaldúas, ya que ahí es donde se observa la mayor disminución en la cantidad de OTUs cuando se usa el MO, lo que presupone es el resultado de la floculación causada por el tratamiento.

2.4. Abundancia taxonómica

La presencia de las especies varía en cada una de las muestras y para detallar se elaboró un mapa de calor (Heat Map) (figura 2), donde se observan las muestras y los grupos de organismos más representativos en cada una de ellas.

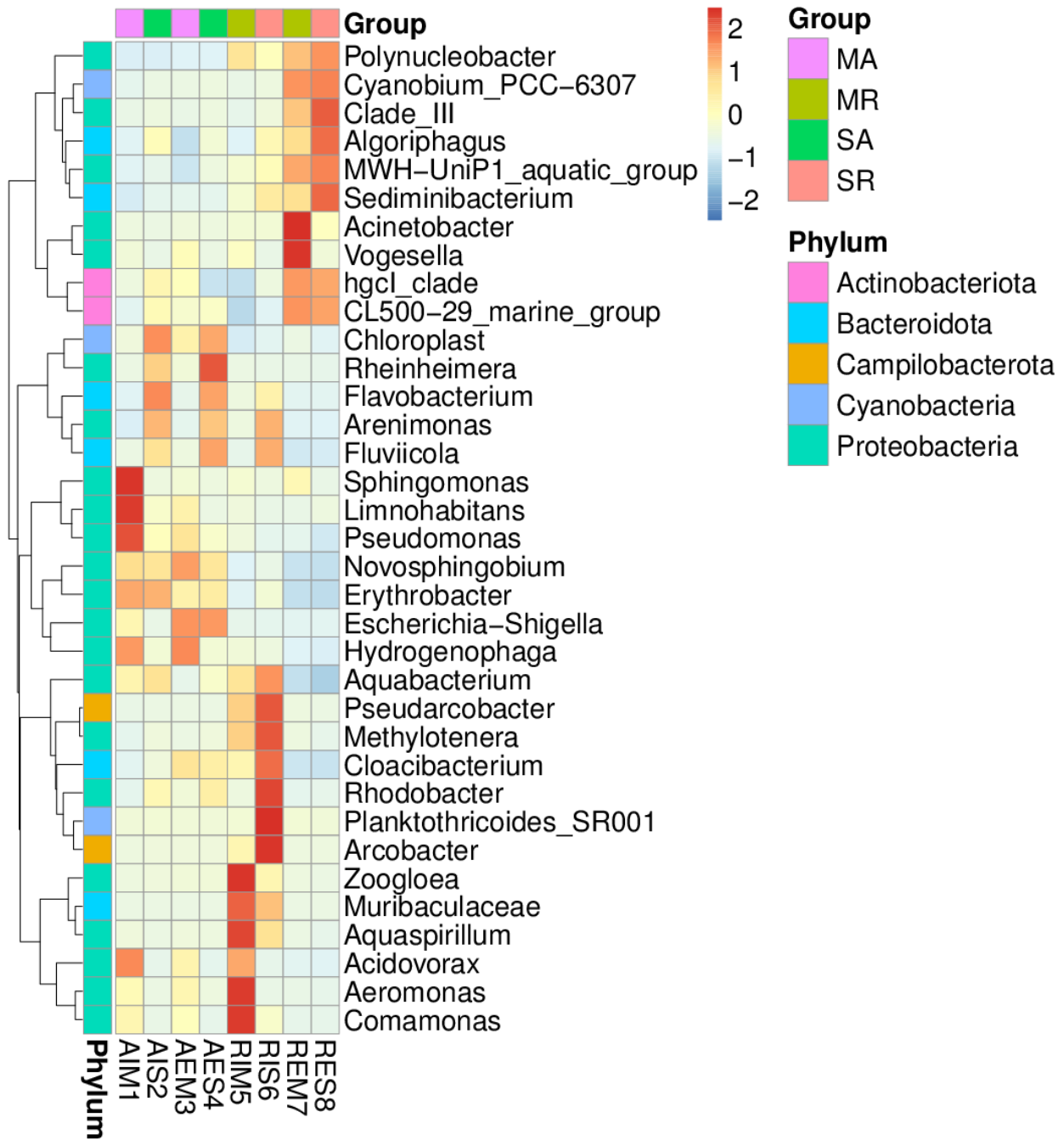


Figura 2. Mapa de calor de abundancia taxonómica por género.

En la figura 2 se muestra la importancia de los 35 géneros principales que fueron detectados como resultado del análisis metagenómico efectuado. En la figura 2 representa en el eje X, el mapa de calor con las muestras analizadas y los grupos en la parte superior. En el eje Y están los Phylla del lado izquierdo y los géneros del lado derecho. Por último, el mapa de calor tiene colores que van de -2 a 2 donde 0 representa la puntuación media bruta (figura 2).

2.5. Efecto sobre las poblaciones bacterianas de interés en salud pública

Las bacterias patógenas de mayor interés en salud pública acorde a La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) (Forde 2019) incluye a *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, *Legionella* spp., *Leptospira* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae* y *Yersinia enterocolítica*.

Del grupo de las bacterias antes mencionadas, *Campylobacter*, causante de la enfermedad de Crohn (Mahendran *et al.*, 2011), se identificó un solo OTU en las muestras RIM y REM lo cual indica que el tratamiento con la moringa no remueve esta bacteria. En el caso de *E coli*, algunos aislados pueden causar infecciones alimentarias graves (Vogt *et al.*, 2005) y fue detectada en una sola de las muestras, y es la tratada con MO, por lo que se estima que el tratamiento no remueve la bacteria.

En lo que respecta a *Helicobacter*, se detectó en ambos canales (3 OTUs), con mayor presencia en el canal Rodhe. En este caso si hay una remoción por efecto del tratamiento, y no se detecta en las muestras de Rhode que fueron tratadas con MO. Por su parte, *V cholerae*, que es patógena de humanos (Lutz, 2013), en este análisis se detectó en ambos canales y en este caso no hay efecto del tratamiento de moringa para la remoción de esta bacteria. Caso contrario sucede con *Leptospira* spp que está ausente en las muestras AIM, AEM y RIM, lo que confirma que se precipitaron por efecto del tratamiento. Finalmente, en el caso de *Legionarella*, causante de la enfermedad del legionario (Dooling *et al.*, 2015), se identificaron 2 OTUs de este género, tanto en Rodhe como en Anzalduas. En uno de los OTUs obtenidos no se nota efecto por el uso de MO mientras que en el otro si es perceptible, ya que su presencia disminuye de 0.08% (AI) y 0.05% (RI) o desaparece con el tratamiento.

2.6. Efecto del MO en las poblaciones bacterianas

Durante el análisis de los resultados obtenidos en este análisis se encontró que, con la excepción de *Escherichia*, ningún género de las bacterias de interés en salud pública se encuentra entre los 35 géneros principales detectados en las muestras (Figura 2).

Tabla 4. OTUs obtenidos en la secuenciación masiva de las muestras tomadas con o sin tratamiento

Género	AIM1	AIS2	AEM3	AES4	RIM5	RIS6	REM7	RES8
<i>Campylobacter</i>	0	0	0	0	2	2	2	0
<i>Escherichia</i>	1069	140	2547	2451	95	27	20	7
<i>Helicobacter</i>	4	0	0	0	0	75	0	0
<i>Legionella</i>	0	5	1	1	5	3	2	0
<i>Leptospira</i>	0	3	2	3	1	4	25	7
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Shigella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Yersinia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vibrio</i>	0	0	2	0	3	0	2	1
<i>Staphylococcus</i>	9	0	1	0	0	5	1	4

Si bien la actividad antimicrobiana de MO está bien registrada, también se ha notado que este efecto puede ser irregular y no siempre se eliminan las bacterias de interés. En este estudio, si bien hay una reducción en el número de OTUs, se estima que el uso de moringa por sí solo no es suficiente para asegurar la remoción de todas las bacterias patógenas.

Acorde al estudio de Aboagye (2021), el MOC es eficiente para reducir la cantidad de bacterias como *Salmonella sp.* (99,4%), *E. coli* (78,8%) y *S. aureus* (80,90%) en muestras de aguas tratadas en laboratorio. En este estudio, no se detectó un efecto reductor en *E. coli* en ninguna de las muestras, mientras que en *Staphylococcus* el efecto reductor sí se observa en Rhode donde hubo 9 secuencias identificadas antes del tratamiento y solo una después de agregar el MO. Por último, no se encontró presencia de *Salmonella*, *Shigella* ni *Yersinia* en ninguna de las muestras.

En el caso de *Staphylococcus* hubo una reducción en las muestras del canal Rodhe, pero no en el caso de Anzaldúas donde al parecer aumentan. Por último, *E coli* también aparentemente aumentó su presencia en las muestras tratadas y eso es porque el tratamiento redujo el número de otras bacterias presentes en las muestras sin la aplicación de MO. Estas diferencias con el trabajo de Aboagye (2021) se pueden deber a las disímiles condiciones en las que se llevaron a cabo en los experimentos y la cantidad de moringa usada, en este caso fue mucho menor que la dosis reportada.

Conclusión

De las 3 longitudes de onda probadas para estimar la presencia de sólidos suspendidos en las muestras de agua, la LO de 337 nm es la de mayor diferencia significativa entre las 3. Con respecto al efecto de la cantidad de polvo de moringa y el efecto en la floculación, se puede apreciar que, debido a la disminución de la absorbancia después del tratamiento con MO, si existe un efecto floculante en las aguas tratadas. Ahora, con respecto a los análisis metagenómicos realizados a las muestras de agua de los canales Anzaldúas y Rodhe tratadas con polvo de moringa como floculante, mostró un impacto en la modificación de la biota con respecto a las aguas no tratadas. Se precipitaron poblaciones de *Flavobacterium* y *Arcobacter spp*, mientras que se incrementa la abundancia relativa de bacterias potencialmente riesgosas a la salud humana, como *Hydrogenophaga*, *Acidovorax* *Aeromonas*. Los estudios efectuados confirmaron el impacto de la adición de MO en la diversidad bacteriana de las muestras, ya que en todos los casos la cantidad de OTUs se reducen en las muestras tratadas con moringa, aunque ello no es relevante en cuanto a las bacterias de importancia en salud.

Trabajo futuro

Como posible extensión del trabajo y para confirmar el efecto floculante de la semilla de MO se propone complementar el estudio para determinar si la concentración de sólidos suspendidos tiene un efecto en la floculación de moringa, porque eso podría determinar en qué condiciones puede usarse este agente en tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente, también es deseable continuar con el trabajo en puntos de descargas de aguas residuales

domésticas para complementar los resultados con la medición de concentración de microorganismos patógenos, como *E. coli* y coliformes totales, antes y después de aplicación de moringa, con utilización de muestra control.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Instituto Politécnico Nacional, proyecto SIP: 20221669 y por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Hernández-Mendoza y Quiroz-Velásquez son becarios EDI-IPN y SNI, Lizarazo-Ortega es becario EDI-IPN.

Conflicto de interés

No existe.

Referencias

- Aboagye, G., Navele, M., & Essuman, E.K. (2021). Protocols for assessing antibacterial and water coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder. *MethodsX*, Vol.8, 101283. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101283>
- Al-Jadabi, N., Laaouan, M., Mabrouki, J., Fattah, G., & El Hajjaji, S. (2021). Comparative study of the coagulation efficacy of *Moringa Oleifera* seeds extracts to alum for domestic wastewater treatment of Ain Aouda City, Morocco. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 314, p. 08003). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131408003>
- Arantes, Camila C., Paterniani, José E.S., Rodrigues, Danielle S., Hatori, Patrícia S., Pires, Marta S.G. (2015). Different forms of application of *Moringa oleifera* seeds in water treatment. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 19 issue 3, pp: 266-272. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p266-272>
- Bosch Ojeda C., Sanchez Rojas F. (2012). Recent applications in derivative ultraviolet/visible absorption spectrophotometry: 2009–2011: A review. *Microchem. J.* 2013;106:1–16. doi: 10.1016/j.microc.2012.05.012
- Cabrero Martínez, Omar, Palma Nicolás, José Prisco, Martínez Vázquez, Ana Verónica, Rivera Sánchez, Gildardo, Bocanegra García, Virgilio. (2018). Detección por cultivo de amibas de vida libre en fuentes de agua superficiales de la Cd. de Reynosa, Tamaulipas. *Mexican Journal of Biotechnology* 2018, 3(2):16-22. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.2.16>
- Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, G., Sulbarán, B., & Ojeda, G. (2003). Caracterización del Agente Coagulante Activo de las Semillas de *Moringa Oleifera* Mediante

HPLC. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas*, 37(1). Recuperado a partir de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/3>

Cevallos Coox, N. N., Burgos Briones, G. A., & Córdova Mosquera, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones En Ciencia y Tecnología*, 16(2), 54-68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>

Dooling, K. L., Toews, K. A., Hicks, L. A., Garrison, L. E., Bachaus, B., Zansky, S., Carpenter, L. R., Schaffner, B., Parker, E., Petit, S., Thomas, A., Thomas, S., Mansmann, R., Morin, C., White, B., & Langley, G. E. (2015). Active Bacterial Core Surveillance for Legionellosis - United States, 2011-2013. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 64(42), 1190-1193. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6442a2>

Eilert, U., Wolters, B., & Nahrstedt, A. (1981). The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *Planta Medica*, 42(1), 55-61. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971546>

Folkard, G.K, Sutherla, and J.P., and Grant J.P. (1992). Natural coagulants at Pilot Scale. 18th WEDC conference; Water, Environment and Management. Proc. pp 55-58

Forde, M., Izurieta, R., Ôrmeci, B., Arellano, M., & Mitchell, K. (2019). Agua y salud. Calidad del Agua en las Américas. Pp. 29-38. Impreso por The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS) y México y por United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).ISBN: 978-607-8379-33-0

Goswami, Kakali Priyam, Pugazhenth, G. (2020). Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 268, 110583. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110583>

Lutz, C., Erken, M., Noorian, P., Sun, S., & McDougald, D. (2013). Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. *Frontiers in Microbiology*, 4, 375. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00375>

Madsen, M., Schlundt, J., & Omer, E. F. (1987). Effect of water coagulation by seeds of *Moringa oleifera* on bacterial concentrations. *The Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 90(3), DOI: 101-109. [10.1016/0378-8741\(88\)90285-1](https://doi.org/10.1016/0378-8741(88)90285-1)

Mahendran, V., Riordan, S. M., Grimm, M. C., Tran, T. A., Major, J., Kaakoush, N. O., Mitchell, H., & Zhang, L. (2011). Prevalence of *Campylobacter* species in adult Crohn's disease and the preferential colonization sites of *Campylobacter* species in the human intestine. *PloS one*, 6(9), e25417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025417>

Mold, M. J., O'Farrell, A., Morris, B., & Exley, C. (2021). Aluminum and Tau in Neurofibrillary Tangles in Familial Alzheimer's Disease. *Journal of Alzheimer's Disease Reports*, 5(1), 283–294. <https://doi.org/10.3233/ADR-210011>

Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. and Talbot, B.G. (1995). Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using Moringa-Oleifera. *Water Research*, 29, 703-710. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)

Nonfodji O., Fatombi J., Ahoyo T., Osseni S., Aminou T. (2020). Performance of Moringa oleifera seeds protein and Moringa oleifera seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater. *Journal of Water Process Engineering*. 33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101103>.

Oliveira, N. T., Nascimento, K. P., Gonçalves, B. de O., Lima, F. C. de, & Costa, A. L. N. da. (2018). Tratamento de água com Moringa oleifera como coagulante/floculante natural. *Revista Científica Da Faculdade De Educação E Meio Ambiente*, 9(1), 373–382. <https://doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>

Padilla-García, K., Pimienta-Rodríguez, G., & Mercado-Martínez, I. D. (2020). Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una ciénaga. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 49–60. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020005>

Salazar Gámez, L. L., Luna-delRisco, M., & Cano, R. E. (2015). Comparative study between M. oleifera and aluminum sulfate for water treatment: case study Colombia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(10), 668. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4793-y>

Temitope, A. A., Samuel, L. N., Abosedo, O. O., Toheeb, I. O., & Temitayo, O. O. (2020). Comparative Study on the Use of Moringa oleifera as Natural Coagulant and Aluminium Sulphate in Restaurant Wastewater Treatment. *J. Kejuruter*, 32, 693-698. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-32\(4\)-19](https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-32(4)-19)

Thomas, O y Burgess, C. (2007) UV-visible Spectrophotometry of Water and Wastewater (O Thomas and C. Burgess, eds.), Amsterdam, Netherlands, Elsevier. ISBN: 978-0-444-53092-9. ISSN: 0167-9244

Vogt, R. L., & Dippold, L. (2005). Escherichia coli O157:H7 outbreak associated with consumption of ground beef, June-July 2002. *Public health reports (Washington, D.C. : 1974)*, 120(2), 174–178. <https://doi.org/10.1177/003335490512000211>

Zaid, A.Q., Ghazali, S.B., Mutamim, N.S.A. et al. Experimental optimization of Moringa oleifera seed powder as bio-coagulants in water treatment process. (2019). *SN Appl. Sci.* 1, 504. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0518-0>