

Caracterización microbiológica del agua potable del estado de Guanajuato mediante el sistema de espectrometría de masas MALDI-Biotyper® (estudio preliminar)

Microbiological characterization of drinking water from the state of Guanajuato using the MALDI-Biotyper® mass spectrometry system (preliminary study)

Flores-Ríos, Martha Angélica¹; Martínez-Vega, Ámbar Valeria¹; Ortiz Rodríguez, Andrea¹; Reyes-Ramberg, Carolina¹; Rodríguez-Tierrafría, Aura Stephanie¹; Espinoza-Cruz, Tania Lizeth¹; Wrobel, Kazimierz¹; Corrales-Escobosa Alma Rosa¹.

¹ Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato

ma.flores.rios@ugto.mx¹; av.martinezvega@ugto.mx¹; a.ortiz.rodriguez@ugto.mx¹; c.reyesramberg@ugto.mx¹; as.rodrigueztierrafría@ugto.mx¹; alma_rce@ugto.mx¹.

Resumen

El acceso a agua potable es un derecho universal establecido en nuestra constitución; sin embargo, el creciente aumento de la población y las actividades antropogénicas han ocasionado un importante deterioro en la calidad de esta. El abastecimiento y distribución de agua de buena calidad para uso y consumo humano es esencial para prevenir y evitar la transmisión de diversas enfermedades. El análisis microbiológico del agua es indispensable para asegurar la calidad de agua para el consumo humano y evitar que sea fuente de transmisión de diversas enfermedades infecciosas. En este trabajo se utilizó el método de filtración en membrana para evaluar la calidad del agua de muestras obtenidas directamente del sistema de distribución y/o almacenadas en tinaco/cisternas. Las membranas fueron transferidas a dos medios de cultivo (agar nutritivo y cromogénico) para obtener las UFC/100mL y la identificación de los microorganismos obtenidos se llevó a cabo por MALDI-Biotyper®. Los resultados obtenidos muestran que las plantas potabilizadoras municipales en Guanajuato y León cumplen con los valores de la NOM-127-SSA1-201, y los microorganismos detectados se deben al almacenamiento en cisternas y/o tinacos, lo que indica que es necesario realizar una limpieza y desinfección más frecuente. Además, se resalta la importancia de la responsabilidad individual y comunitaria al mantener las condiciones adecuadas de almacenamiento del agua, asegurando así una fuente de agua potable confiable y segura.

Palabras clave: Agua potable, calidad de agua, NOM, microorganismos, UFC, identificación, espectrometría de masas, MALDI-TOF-Biotyper.

Introducción

El agua potable es un derecho que todos los seres humanos debemos tener. Es fundamental para la vida en nuestro planeta, ya que es importante para muchas actividades humanas, como el cuidado del medio ambiente, la producción de alimentos, el aseo de seres humanos y animales, la salud, la agricultura, entre muchas otras (Pinos & Malo-Larrea, 2018). Por ende, es fundamental y necesario que el agua sea lo más limpia posible para el consumo humano. De lo contrario, se pueden desarrollar diversas enfermedades que pueden afectar la salud humana, la economía y el medio ambiente.

Cada vez más, el planeta se enfrenta a un aumento de la población humana, el cambio climático y la contaminación ambiental. Por ello, es importante recordar a la población y crear conciencia sobre la importancia de cuidar el agua que nos rodea. Aunque es un derecho humano, también es nuestra responsabilidad cuidarla y asegurarnos de que esté limpia.

A pesar de ser un recurso esencial, no todos tienen el privilegio de acceder a agua de alta calidad. En México, la calidad del agua varía debido a varios factores, como la ubicación geográfica y la fuente de abastecimiento, la infraestructura, los costos de operación, la falta de inversión en mantenimiento y rehabilitación, así como el deterioro de las fuentes de agua en cantidad y calidad, lo que ha llevado al sistema de abastecimiento al límite de la operatividad física y económica. Por ello, es necesario llevar a cabo el monitoreo constante de la calidad del agua potable para detectar los posibles riesgos para la salud pública e implementar medidas preventivas que aseguren un suministro seguro y confiable de agua potable.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable deben cumplir con los estándares de calidad establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 (Secretaría de Salud (SSA), 2021), que define los límites permitidos para las características físicas, químicas, microbiológicas, y radiactivas del agua, con el fin de reducir el riesgo para la salud humana.

Entre las principales enfermedades gastrointestinales transmitidas por el agua se encuentran la disentería provocada por la bacteria *Shigella dysenteriae*, la tifoidea originada por el bacilo *Salmonella typhi*, la salmonelosis causada por una especie del Género *Salmonella*, cólera provocado por *Vibrio cholerae* y diferentes cepas de *Escherichia coli*, las cuales causan diversas enfermedades gastrointestinales

La evaluación microbiológica del agua se realiza generalmente determinando la contaminación por materia fecal, debido a que las heces excretadas por animales y/o humanos puede contener una gran variedad de microorganismos, pudiendo contener inclusive microorganismos enteropatógenos como bacterias del género *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*; protozoarios como *Entamoeba histolytica*; virus como enterovirus o de la hepatitis A.

La elección del método adecuado para el análisis depende de muchos factores externos, como el volumen de la muestra, los tipos de microorganismos, el tiempo en el que se efectúa y los recursos financieros y económicos. Dependiendo de las características del agua, se puede analizar mediante un procedimiento llamado Métodos de los tubos múltiples o número más probable (NMP), y también el método por filtro de membrana.

Para facilitar la caracterización de microorganismos presentes en las muestras de agua, generalmente se utilizan medios de cultivos diferenciales que permiten el crecimiento selectivo de coliformes totales o fecales, Prueba de bacterias aeróbicas, o la prueba para enterococos, entre otros. La presencia de coliformes en el agua indica que la contaminación bacteriana es reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua.

La combinación de métodos convencionales, con técnicas recientes de alta resolución e inteligencia artificial será necesaria para la vigilancia microbiana a prueba de futuro del agua potable durante la distribución (Pluym, Waegenaar, De Gussemé, & Boon, 2024; Rani et al., 2024; Wen et al., 2020). Entre los que destaca la tecnología de MALDI-Biotyper (Jones, Darwich, Chalmers, Thompson, & Nielsen, 2023).

Para este estudio, se utilizó la espectrometría de masas MALDI TOF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time of Flight Mass Spectrometry) para la identificación de los microorganismos presentes en el ambiente (Sala-Comorera, Vilaró, Galofré, Blanch, & García-Aljaro, 2016). Este equipo es ampliamente utilizado en el ámbito clínico, farmacéutico, alimentario y medioambiental para la identificación de microorganismos. La técnica se basa principalmente en la adquisición y comparación de espectros de masas (rango de 2-20 kDa) de las proteínas ribosomales. Posteriormente, el sistema BIOTYPER (Bruker Daltonics) tiene programado un algoritmo para leer e identificar las muestras microbianas. Esto se hace mediante la identificación de los perfiles de las proteínas con espectros de masas de microorganismos ya analizados en la base de datos del programa. Adicionalmente, la identificación por esta tecnología permite caracterizar la posible resistencia antimicrobiana. Siendo una ventaja sobre los indicadores de contaminación fecal como *E. coli*. Y especies de enterococcus.

El objetivo general de este trabajo consistió en evaluar la calidad microbiológica del agua potable de tres municipios de Guanajuato (Celaya, Guanajuato y León), obtenida de manera directa del sistema de distribución y/o almacenada en contenedores (tinacos y cisternas). La caracterización de los microorganismos presentes se llevó a cabo mediante el método de filtración en membrana e identificación por espectrometría de masas utilizando el sistema MALDI-Biotyper®.

Metodología

Para la realización de este estudio preliminar del análisis de la calidad de agua en los sistemas de distribución de agua divide en tres secciones: selección y toma de muestra, análisis microbiológico por el método de filtración de membrana e identificación de microorganismos aislados por MALDI Biotyper®.

a) Selección y toma de muestra

Para la evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua se seleccionaron tres diferentes municipios de Guanajuato: Celaya, León y Guanajuato (debido a la accesibilidad de muestras). De estas muestras, se llevó la toma muestra directamente del sistema de abastecimiento (León y Guanajuato) o de contenedores (Tinaco de 750 L y cisternas de 5000

L). Para la toma de muestra se siguió los protocolos descritos en la nom-230-221-2002 (Secretaría de Salud (SSA), 2002). Para ello, desinfectaron las llaves con alcohol al 70 % con una torunda, se flameo con un encendedor y se dejó correr el agua por 3 min. Se debe reducir el flujo del agua antes de llenar la bolsa de muestreo. Se tomó 100 mL de muestra en una bolsa de 100 mL estéril que contenía una pastilla de tiosulfato de sodio para neutralizar la cloración, dejando un espacio vacío y evitando que la boca de la bolsa toque manos o el grifo. Las muestras se transportan en un contenedor con hielo, manteniéndolas a una temperatura inferior a 15°C hasta su análisis, el cual no debe exceder las 24 horas desde su recolección. Dichas bolsas deben estar etiquetadas con información relevante como fecha, hora, lugar de muestreo y tipo de muestra

En particular, del municipio de Celaya, se obtuvo una muestra domiciliaria (Tinaco). Mientras que de León, solo se obtuvo del sistema de distribución municipal (Sapal) y para Guanajuato, la toma se realizó en 4 puntos (una llave del patio, y de tres diferentes laboratorios) en las instalaciones de la Universidad de Guanajuato (Sede Pueblito de rocha) y de un domicilio particular. En ambas ubicaciones, se llevó a cabo la toma directa del sistema de distribución municipal (SIMAPAG). El total de las muestras está descrito en la Tabla 1.

b) Análisis microbiológico

Para la determinación de microorganismos cultivables en muestras de agua potable (grifo) se empleó el método de filtración por membrana. Se inicia con la preparación del medio de cultivo mediante la elaboración de agar nutritivo. Para esto, se pesa 3.1 g de polvo de agar nutritivo y se suspende en 100 mL de agua destilada. La mezcla se agitó continuamente hasta que se disuelva por completo. Posteriormente, el medio se esterilizó en autoclave a 121°C durante 20 minutos y se distribuyó en las cajas Petri (60 x 15 mm), añadiendo aproximadamente 10 mL de agar en cada una y se dejó solidificar en campana de flujo laminar. De manera similar, se preparó el agar cromogénico disolviendo 3.67 g de polvo de agar en 100 mL de agua destilada. Este medio se calienta hasta ebullición, asegurándose de agitar para una completa disolución sin sobrecalentar. Al igual que el agar nutritivo, se esteriliza en autoclave a 121°C durante 20 minutos y se distribuye en cajas Petri.

Una vez preparado el medio y teniendo las muestras de agua. Se procede a realizar el análisis microbiológico mediante el método de filtración en membrana (Secretaría de Salud (SSA), 1994, 2021; Comercio, 2019; "UNE-EN ISO 6222:1999. Water quality - Enumeration of culturable microorganisms - Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium," ; "UNE-EN ISO 7899-2: 200. Calidad del agua. Detección y recuento de enterococos intestinales. Parte 2: Método de filtración de membrana.," ; "UNE-EN ISO 8199:2018. Water quality - General guidance on the enumeration of microorganisms by culture.," ; "UNE EN ISO 9308-1:2000. Calidad del agua. Detección y recuento de *Escherichia coli* y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración en membrana,"). Primero, las muestras de agua se filtran a través de membranas estériles de ésteres de celulosa con un tamaño de poro de 0.45 µm. Se coloca la membrana filtrante en el embudo del equipo de filtración y se filtra un volumen de 100 mL de la muestra. Posteriormente, la membrana es transferida a un medio con agar nutritivo o agar cromogénico para obtener el número de microorganismos cultivables y coliformes totales y *E. coli*.

c) Identificación por MALDI-Biotyper®

Para la identificación de colonias se utilizó el sistema MALDI-Biotyper (Pluym et al., 2024; Rani et al., 2024; Sala-Comorera, Blanch, Vilaró, Galofré, & García-Aljaro, 2017). Para ello, se colocó 1 µL del estándar BTS en un pocillo de la placa para MALDI, se espera a que se seque y se adiciona 1 µL de la matriz HCCA (Ácido alfa-ciano-4-hidroxicinámico) preparada a una concentración de 10 mg/mL, esta muestra sirve para llevar la calibración en el equipo. Adicionalmente, cada colonia se toma con un palillo de dientes estéril y se transfiere a un pocillo de manera individual, se añade 1 µL de matriz HCCA. En algunos casos se agrega 1 µL de ácido fórmico, para ayudar a la ionización. Una vez colocadas todas las muestras en la placa de MALDI, esta se introduce al equipo, se abre el software Flex control y se selecciona el método para el análisis. El equipo se calibra utilizando el pocillo con el estándar BTS, y se adquieren los espectros de masas. El análisis de estos espectros de masas adquiridos se realiza con el software MBT Compas Explorer, que presenta la posible identificación de los microorganismos correspondientes a cada muestra. El valor de score se basa en el rango de probabilidad con base en la comparación de los espectros obtenidos con los presentes en la base de datos. La asignación a nivel de género o especie está descrita en la Tabla I. Como se puede apreciar, un valor superior a 1.7 indica la probable identificación a nivel de género, un valor de 2.0 a 2.3 indica la identificación segura de género y probable identificación a nivel de especie y un valor superior a 2.3 indica alta probabilidad de identificación a nivel de especie.

Tabla 1. Valores de Score (Rango) para la identificación de microorganismos por sistema de MALDI Biotyper®.

Rango	Descripción	Símbolos	Color
2.300 ... 3.000	Identificación de especies altamente probable	(+++)	verde
2.000 ... 2.299	identificación segura del género, probable identificación de la especie	(++)	verde
1.700 ... 1.999	Probable identificación del género	(+)	amarillo
0.000 ... 1.699	Identificación no fiable	(-)	rojo

Resultados y discusión

La calidad del agua en México varía ampliamente a causa de diversos factores como la infraestructura, la ubicación geográfica y la fuente de suministro (Flores Casamayor, Morales Martínez, Mora-Rodríguez, & Delgado-Galván, 2021; Reina, 2017). En este trabajo de investigación, se llevó a cabo un estudio preliminar para evaluar la calidad microbiológica del agua potable de tres municipios de Guanajuato, obtenida de tomas directas de los sistemas de distribución (SEPAL y SIMAPAG) o almacenada en cisternas o tinacos. La cuantificación se llevará a cabo mediante el método de filtración por membrana y la identificación de los microorganismos presentes por espectrometría de masas utilizando el sistema MALDI-Biotyper®.

a) Análisis microbiológico

Para evaluar diferentes sistemas de distribución de agua potable, se seleccionaron tres municipios diferentes: Celaya, León y Guanajuato. Para la toma de muestra se siguió el protocolo descrito en la NOM-230-SSA1-2002 (Secretaría de Salud (SSA), 2002). La toma de muestra del agua potable en Celaya se realizó en un domicilio de una zona habitacional, en una llave de grifo proveniente de un tinaco. La toma de muestra en León se realizó en una zona habitacional, en una llave de grifo exterior proveniente del sistema de distribución SEPAL. En Guanajuato, se realizaron tomas en dos ubicaciones distintas: en la Colonia Burócrata y en la sede de Pueblito de Rocha de la DCNE de la Universidad de Guanajuato. En la Colonia Burócrata, se realizaron dos tomas: una proveniente directamente del sistema de distribución SIMAPAG (exterior) y otra de un tinaco (interior). En la sede de Pueblito de Rocha, se tomaron seis muestras: una del sistema de distribución de SIMAPAG (exterior) y cinco de tres laboratorios diferentes (Lab 1, 10 y 11) ubicados en dos edificios (B y C), además de una muestra de una llave de riego (edificio B).

Como se mencionó en la metodología, en todos los casos se tomaron 100 mL de agua en bolsas estériles que contenían tiosulfato de sodio. Las muestras fueron filtradas en condiciones de esterilidad y las membranas fueron transferidas a cajas de Petri que contenían agar nutritivo o agar cromogénico. Estas se incubaron por 24 a 48 horas (hasta la aparición de colonias visibles).

Una vez transcurrido este tiempo, las colonias se contaron para determinar las UFC por cada 100 mL de agua en cada muestra. La descripción de las muestras y resultados son presentados en la Tabla 2 y Figura 1.

Tabla 2. Descripción de muestras analizadas y resultados de crecimiento en Agar nutritivo (AN) y cromogénico (AC) reportado en Unidades formadoras de colonias por cada 100 mL.

Descripción de muestra		UFC/100 mL			
		24 h		48 h	
No.	Lugar	AN*	AC*	AN*	AC*
Celaya (JUMAPA)					
I	Tinaco	0	0	52	0
León (SEPAL)					
II	Exterior	0	0	0	0
Guanajuato (SIMAPAG)					
Col. Burócrata					

III	Exterior	27	0	30	0
IV	Tinaco	5	3	13	3
Col. Pueblito de Rocha					
V	Edificio B	100	91	100	91
VI	Lab. 1, Edificio B	130	0	130	9
VII	Lab. 10, Edif. C, R1	100	0	100	3
VIII	Lab. 10, Edif. C, R2	115	0	115	0
IX	Lab. 11, Edif. B	140	2	140	60
X	Exterior	0	0	0	0

I) Muestra de agua domiciliar de Celaya (Tinaco): Después de 24 h de incubación, no se observó la aparición de ninguna colonia en agar cromogénico y agar nutritivo. Sin embargo, después de 48 h de incubación, aparecieron 52 UFC/100 mL en el medio con agar nutritivo, siendo todas de apariencia similar. Mientras que en el agar cromogénico no hubo crecimiento de colonias. Lo que sugiere la presencia de microorganismos no pertenecientes a los coliformes fecales. Por ello, es importante llevar a cabo su identificación.

II) Muestra de agua domiciliar de León (Exterior): En estas muestras, no se observó crecimiento en el agar cromogénico y agar nutritivo después de 24 o 48 h de incubación. Indicándonos con esto que la potabilización del agua por parte de SEPAL en León cumple con lo establecido en la NOM-112-SSA-194 (Secretaría de Salud (SSA), 2002). Siendo un agua de buena calidad.

III) Muestra de agua domiciliar de Guanajuato (Exterior): En las muestras de agar cromogénico no se observó crecimiento de microorganismos de 24 o 48 h de incubación. Mientras que en el agar nutritivo se observó 27 UFC/100 mL después de 24 h de incubación y 30 UFC/100 mL después de 48 h de incubación. Cabe señalar que en esta toma, faltó llevar a cabo una mayor desinfección de la llave. Por lo que los resultados deben tomarse con precaución.

IV) Muestra de agua domiciliar de Guanajuato (Tinaco): En el agar cromogénico se observó el crecimiento de 3 UFC/100 mL en las primeras 24 h de incubación. Por otra parte, en el agar nutritivo se observó 5 UFC/100 mL después de las primeras 24 h incrementando a 13 UFC/100 después de 48 h. En estas muestras es necesario llevar a cabo la identificación. Otro punto para destacar de estos resultados sugiere que no pertenecen al grupo de *E. coli*.

V) Muestra de llave de Edificio B de la sede de Pueblito de Rocha (Cisterna): En esta muestra de agua se observó un crecimiento de 100 y 91 UFC/100 mL en las primeras 24 h en agar nutritivo y agar cromogénico, respectivamente. Al igual que la muestra anterior, estos microorganismos no pertenecen al grupo de coliformes fecales.

VI) Muestra de agua del laboratorio I de la sede Pueblito de rocha (Cisterna): En las primeras 24 h de incubación, no se observó crecimiento en el agar cromogénico. Después de 48 h de incubación, se observaron 9 UFC/100 mL. Por otra parte, en el agar nutritivo se contabilizaron 130 UFC/100 mL después de 24 h de incubación, indicando contaminación microbiana.

VII) Muestra de agua del laboratorio 10 de la sede Pueblito de Rocha (Cisterna): Para este laboratorio se tomaron dos muestras en diferentes días. En agar cromogénico, no se observó crecimiento después de 24 h de incubación. Después de 48 h de incubación, en una de las réplicas se observaron 3 UFC/100 mL. Por otra parte, en el agar nutritivo se observó un crecimiento 100 y 115 UFC/100 mL después de 24 h, con la formación de 100 colonias por cada 100 ml de agua.

VIII) Muestra de agua del laboratorio 11 de la sede Pueblito de Rocha: En el agar cromogénico se observó 2 UFC/100 mL y aumentó a 60 UFC/100 mL después de 48 h de cultivo. Por otra parte, en el agar nutritivo se observaron 140 UFC/100 mL después de 24 h de incubación.

IX) Muestra de agua grifo-directa (Exterior): En estas muestras, no se observó crecimiento en el agar cromogénico y agar nutritivo después de 24 o 48 h de incubación. Indicando con esto que la potabilización del agua por parte de SIMAPAG es buena, cumpliendo con lo establecido en la norma.

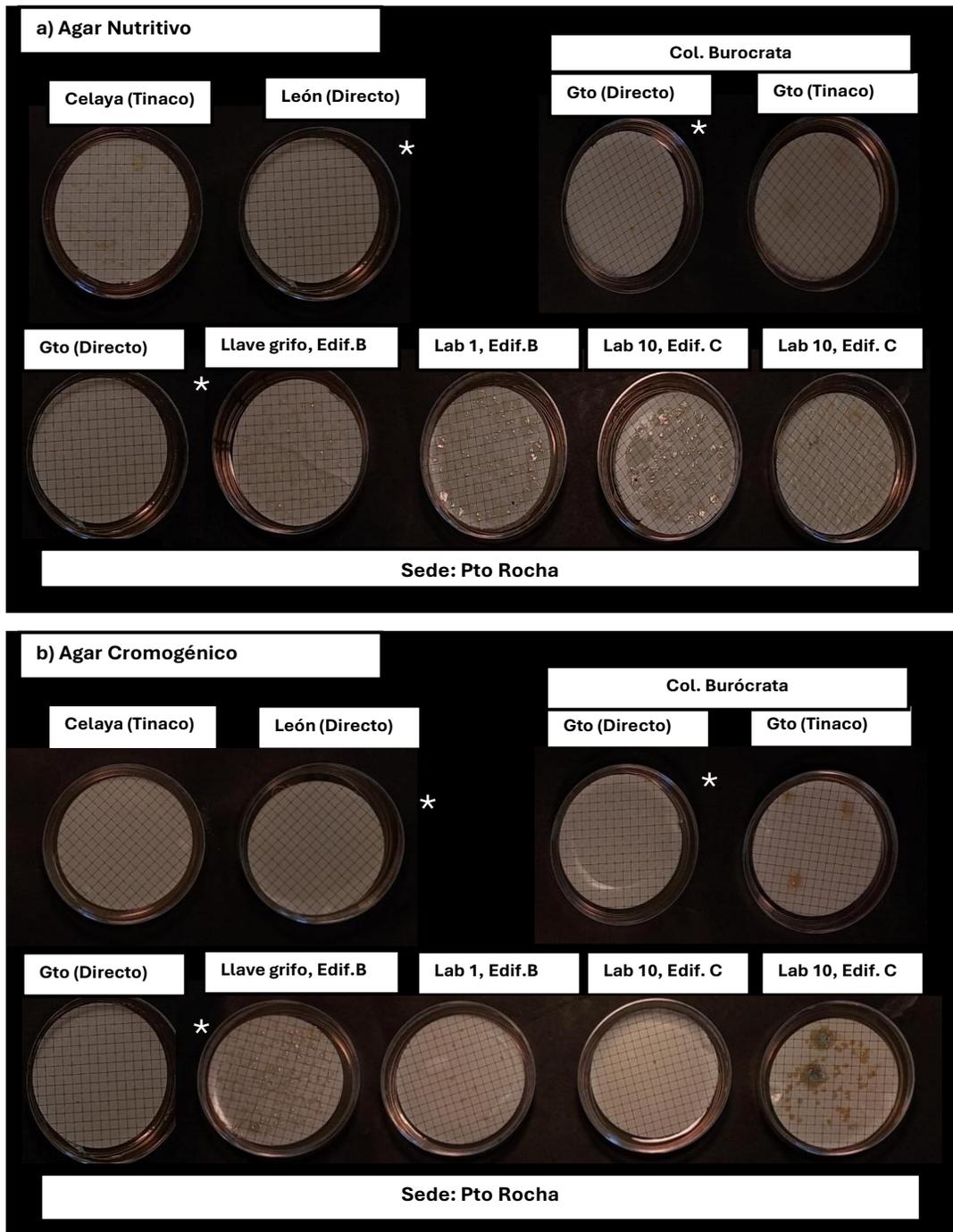


Figura 1. Cultivos microbiológicos de membranas en agar nutritivo (a) y agar cromogénico (b) de agua potable filtrada de muestras descritas en la Tabla 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos en Tabla 2 y la figura 1, en las muestras de agua potable analizadas del sistema de distribución directamente a los municipios de León y Guanajuato (SEPAL y SIMAPAG, respectivamente), no se observó crecimiento de microorganismos en ninguno de los medios analizados (agar nutritivo y/o agar cromogénico). Lo cual indica que las plantas de tratamiento del agua en León y Guanajuato cumplen correctamente con lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

Cabe señalar que de acuerdo con lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021, que regula principalmente la contaminación fecal presente en agua organismos coliformes, en este trabajo se utilizó el agar cromogénico que es un medio selectivo diferencial de coliformes totales y de *E. coli* (colonias azules) y agar nutritivo que se utiliza para medir la cantidad de bacterias heterótrofas, aerobias o anaerobias facultativas, mesófilas y psicotróficas. En ninguna de las colonias se observó en agar cromogénico la coloración azul, positivo para *E. coli*. De acuerdo con el protocolo la coloración corresponde a la actividad de β -D-glucuronidasa (oxidasa positiva), por lo que se descarta la contaminación por este microorganismo.

Como se aprecia en estos resultados, los microorganismos aislados, no pertenecen a los microorganismos del tipo coliformes fecales, por lo que resulta importante llevar a cabo la identificación de estos, para conocer el posible riesgo a la salud.

b) Identificación de microorganismos por MALDI-Biotyper®

Una vez realizada la cuantificación de microorganismos, se procedió a realizar la identificación de las colonias aisladas en cada una de las muestras. Los espectros de masas representativos correspondientes a las colonias de los microorganismos obtenidos de los cultivos en agar cromogénico y agar nutritivo son presentados en las Fig. 2 y 3, respectivamente. En estas figuras se puede apreciar, el espectro de masa con el perfil de proteínas ribosomales adquiridas en un rango de masas de 2-20 KDa. Como control positivo para *E. coli*, se adquirió el espectro de masas de una colonia de una cepa de laboratorio (DH5 alfa).

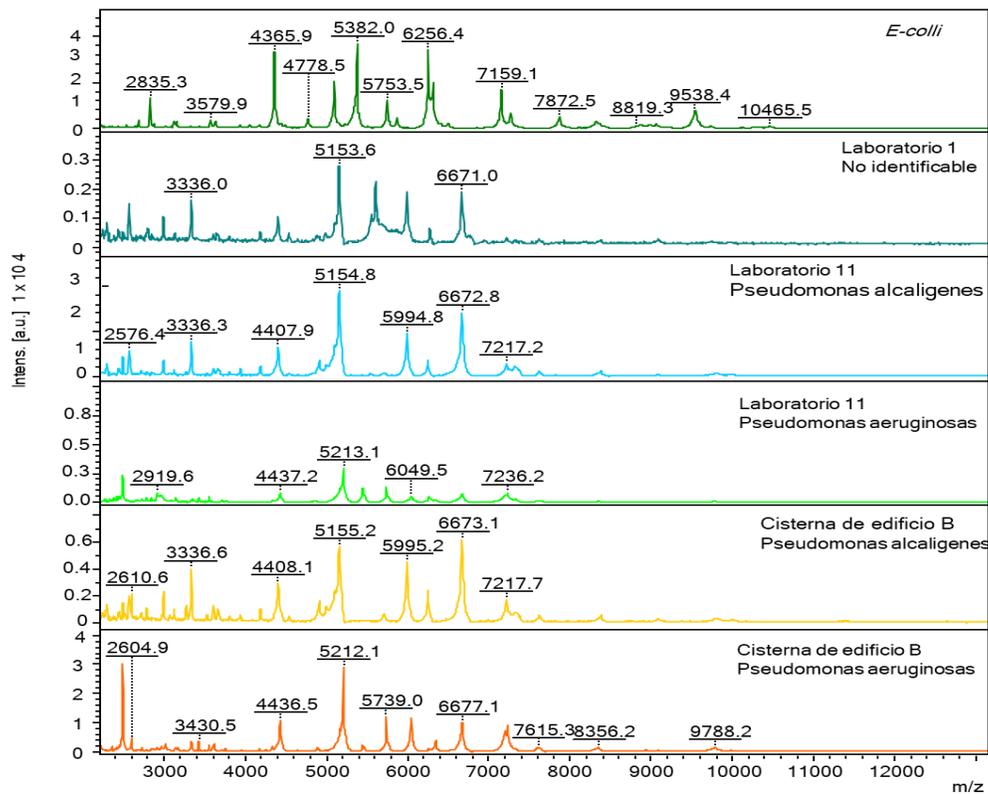


Figura 2. Espectros de masas obtenidos por MALDI TOF MS del análisis de microorganismos de muestras con agar cromogénico

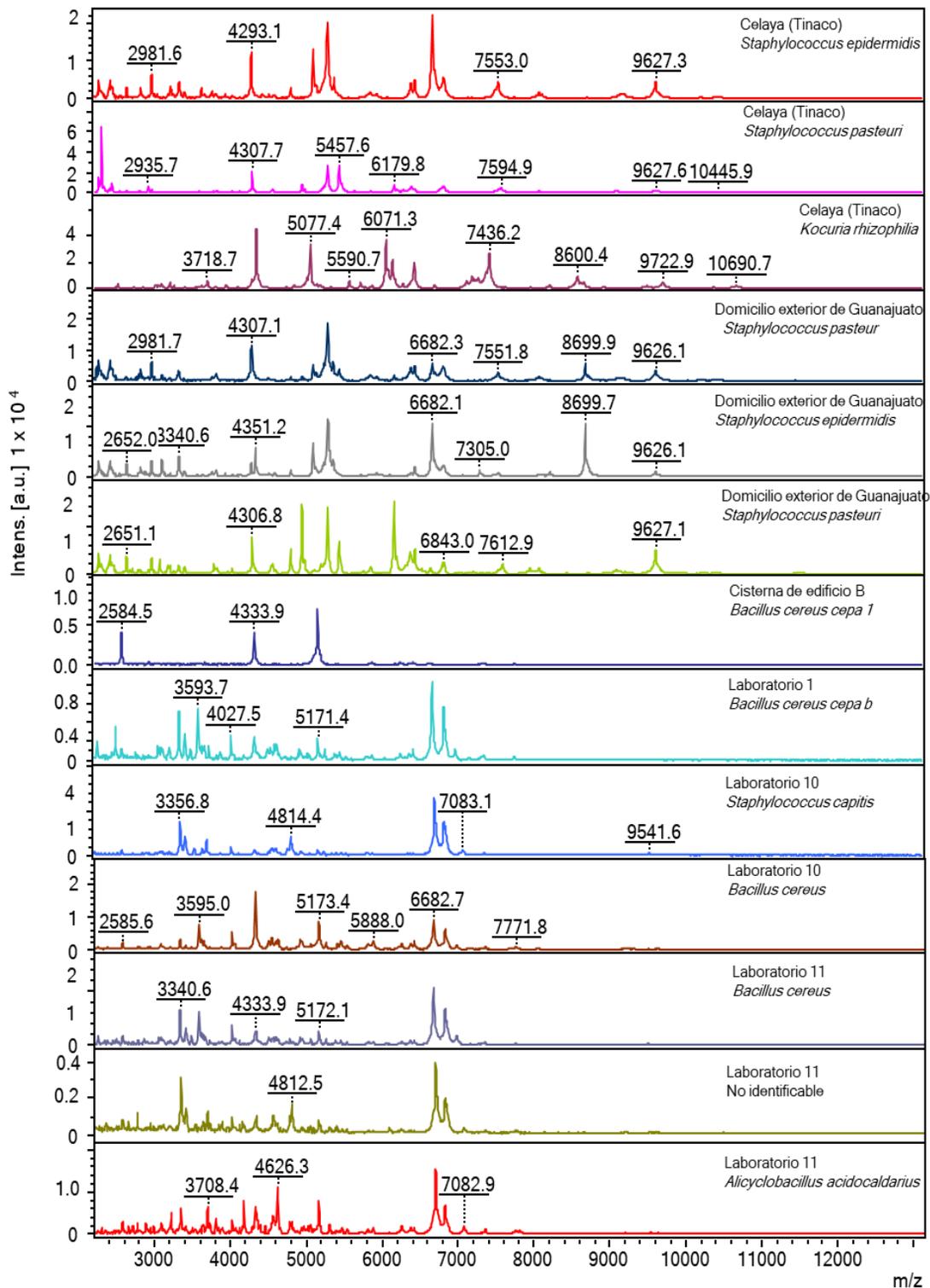


Figura 3. Espectros de masas obtenidos por MALDI TOF MS del análisis de microorganismos de muestras con agar nutritivo

Una vez obtenidos los espectros de masas se procedió a llevar a cabo la identificación en el software MBT Compas Explorer (Bruker Daltonics), que presenta la posible identificación de los microorganismos correspondientes a cada muestra. El valor de score se basa en el rango de probabilidad con base a la comparación de los espectros obtenidos con los presentes en la base de datos. La identificación de los microorganismos se presenta en las Tablas 3 y 4.

En agar cromogénico se detectó la presencia de *Pseudomonas alcaligenes* y *P. aeruginosa* en las cisternas de la Sede de Pueblito de Rocha, por lo que se recomienda, llevar a cabo una limpieza continua y más frecuente de estos contenedores.

Tabla 3. Identificación de microorganismos por MALDI Biotyper obtenidos de las muestras de agar cromogénico.

Inf. se Muestra		No. y característica de la colonia	MALDI-Biotyper	
No.	Lugar		Bacteria	Score
Guanajuato (SIMAPAG): Col. Pueblito de Rocha				
V	Edificio B	90 colonias crema	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	1.72
		1 colonia verde	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.07
VIII	Lab. 11, Edif. C	60 colonias crema	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	1.82
		1 Colonia verdes	<i>Pseudomonas aeruginosas</i>	1.84

Para las muestras que crecieron en el agar nutritivo se detectaron las siguientes bacterias: *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus pasteurii* y *Kocuria rhizophila* en el tinaco de la muestra domiciliar del municipio de Celaya. Mientras que para la muestra de tinaco del domicilio de Guanajuato se encontró *Staphylococcus pasteurii* y *Staphylococcus epidermidis*. En las muestras del agua obtenida de la cisterna de la sede de Pueblito de Rocha se encontró *Bacillus cereus*, *Staphylococcus capitis* y *Alicyclobacillus acidocaldarius*

Tabla 4. Identificación de microorganismos por MALDI Biotyper obtenidos de las muestras de agar nutritivo.

Inf. se Muestra		No. y característica de la colonia	MALDI-Biotyper	
No.	Lugar		Bacteria	Score
Celaya (JUMAPAG)				
I	Tinaco	37 Colonias crema	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1.99
		14 Colonias blancas	<i>Staphylococcus pasteurii</i>	2.03
		1 Colonias amarillas	<i>Kocuria rhizophila</i>	2.02
Guanajuato (SIMAPAG)				
Col. Burócrata				
III	Directo	57 Colonias blancas	<i>Staphylococcus pasteurii</i>	1.97
IV	Tinaco	17 Colonias amarillas	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1.88
			<i>Staphylococcus pasteurii</i>	2.11
Col. Pueblito de Rocha				
V	Edificio B	100 Colonias crema	<i>Bacillus cereus</i>	1.87
VI	Lab. 1, Edif. B	130 Colonias crema	<i>Bacillus cereus</i>	1.93
			<i>Bacillus cereus</i>	1.92
VII	Lab. 10, Edif. C	115 Colonias crema	<i>Staphylococcus capitis</i>	1.71
			<i>Bacillus cereus</i>	1.83
VIII	Lab. 11, Edif. B	140 Colonias crema	<i>Alicyclobacillus acidocaldarius</i>	1.80

Conclusión

El análisis microbiológico del agua continuo es indispensable para asegurar la calidad de agua para el consumo humano y evitar que sea fuente de transmisión de diversas enfermedades infecciosas. En este trabajo se utilizó el método de filtración en membrana para evaluar la calidad del agua de muestras obtenidas directamente del sistema de distribución y/o almacenadas en tinaco/cisternas. Las membranas fueron transferidas a dos medios de cultivo (agar nutritivo y cromogénico) para obtener las UCF/100mL y la identificación de los microorganismos obtenidos se llevó a cabo por MALDI-Biotyper®. Los resultados muestran que las plantas potabilizadoras municipales en Guanajuato y León cumplen con los valores de la NOM-127-SSA1-201 y que los microorganismos detectados se deben al almacenamiento en cisternas y/o tinacos, lo que indica que es necesario realizar una limpieza y desinfección más frecuente. Además, se resalta la importancia de la responsabilidad individual y comunitaria al mantener las condiciones adecuadas de almacenamiento del agua, asegurando así una fuente de agua potable confiable y segura.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada a las alumnas. Al Laboratorio Nacional de Caracterización de Propiedades Fisicoquímicas y Estructura Molecular UG-UAA-CONACyT

Bibliografía

- (SSA), S. d. S. (1994). NOM-112-SSA1-1994. BIENES Y SERVICIOS. DETERMINACION DE BACTERIAS COLIFORMES. TECNICA DEL NUMERO MAS PROBABLE.
- (SSA), S. d. S. (2002). NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- (SSA), S. d. S. (2021). NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.
- Comercio, S. d. E.-S. d. I. y. (2019). NMX-AA-102-SCFI-2019, CALIDAD DEL AGUA-ENUMERACIÓN DE ESCHERICHIA COLI Y BACTERIAS COLIFORMES-MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA (CANCELA A LA NMX-AA-102-SCFI-2006).
- Flores Casamayor, H., Morales Martínez, J. L., Mora-Rodríguez, J., & Delgado-Galván, X. (2021). Assessing industrial impact on water sustainability in El Bajío, Guanajuato State, Mexico. *Sustainability*, 13(11), 6161.
- Jones, M., Darwich, N., Chalmers, R., Thompson, K. C., & Nielsen, B. (2023). Use of MALDI-TOF MS in Water Testing Laboratories. *Microbiological Identification using MALDI-TOF and Tandem Mass Spectrometry: Industrial and Environmental Applications*, 405-429.
- Pinos, J., & Malo-Larrea, A. (2018). El derecho humano de acceso al agua: una revisión desde el Foro Mundial del Agua y la gestión de los recursos hídricos en Latinoamérica.
- Pluym, T., Waegenaar, F., De Gussemé, B., & Boon, N. (2024). Microbial drinking water monitoring now and in the future. *Microbial Biotechnology*, 17(7), e14532.
- Rani, D., Rana, V., Rani, A., Malyan, S. K., Kumar, A., Dhaka, R. K., & Rana, A. (2024). Microbial contamination in municipal water: Potential sources, analytical methods and remediation strategies *Algae Based Bioelectrochemical Systems for Carbon Sequestration, Carbon Storage, Bioremediation and Bioproduct Generation* (pp. 125-141): Elsevier.
- Reina, L. S. (2017). Análisis De La Calidad De Agua En Una Zona Del Noreste Del Estado De Guanajuato.
- Sala-Comorera, L., Blanch, A. R., Vilaró, C., Galofré, B., & García-Aljaro, C. (2017). Heterotrophic monitoring at a drinking water treatment plant by matrix-assisted laser desorption/ionization–time of flight (MALDI-TOF) mass spectrometry after different drinking water treatments. *Journal of Water and Health*, 15(6), 885-897.
- Sala-Comorera, L., Vilaró, C., Galofré, B., Blanch, A. R., & García-Aljaro, C. (2016). Use of matrix-assisted laser desorption/ionization–time of flight (MALDI-TOF) mass spectrometry for bacterial monitoring in routine analysis at a drinking water treatment plant. *International journal of hygiene and environmental health*, 219(7), 577-584.

- UNE-EN ISO 6222:1999. Water quality - Enumeration of culturable microorganisms - Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium.
- UNE-EN ISO 7899-2: 200. Calidad del agua. Detección y recuento de enterococos intestinales. Parte 2: Método de filtración de membrana. .
- UNE-EN ISO 8199:2018. Water quality - General guidance on the enumeration of microorganisms by culture.
- UNE EN ISO 9308-1:2000. Calidad del agua. Detección y recuento de Escherichia coli y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración en membrana.
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., . . . Yuan, Z. (2020). Microbial indicators and their use for monitoring drinking water quality—A review. *Sustainability*, 12(6), 2249.