

Evaluación de la capacidad de mejora de parámetros de calidad de aguas superficiales, subterráneas y residuales mediante el uso de semillas de *Moringa oleifera*

Silvia M. Vallecillo; María V. Ormaechea; Analía N. Dragan; Silvana R. Spizzo; Julia A. Trossero; Francisco Mugherli Bohl; Zandra Della Giustina; Andrés Perusset

Autores: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta provincial N°11, km 10,5. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
Contacto: monica.vallecillo@uner.edu.ar

ARK: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/wcfv7aac2>

RESUMEN

El agua es un recurso indispensable para la vida y esencial para el desarrollo de la producción y la industria, donde su calidad es de gran interés. En el presente trabajo se evaluó la factibilidad de mejorar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua utilizando el polvo de semilla de *Moringa oleifera*. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos: turbidez, pH, alcalinidad, dureza, conductividad y arsénico en aguas superficiales y subterráneas y el efecto bactericida de la *Moringa oleifera* en aguas residuales y superficiales mediante el análisis de coliformes totales. En todos los casos se evaluaron los tratamientos A, B y C, los cuales representan semillas completas (con cáscara y aceite), semillas sin cáscara y semillas sin cáscara y sin aceite, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron que el polvo de las semillas de *Moringa oleifera* generó una mejora en la turbidez de aguas superficiales. Además, se observó una disminución del contenido de arsénico y carbonatos en aguas subterráneas y una leve disminución de la dureza y el calcio. En tanto, al evaluar el pH, conductividad y concentración de bicarbonatos no se evidenciaron efectos en ninguna de las aguas tratadas. Respecto a la calidad microbiológica de aguas residuales y superficiales, la *Moringa oleifera* no mostró efectos bactericidas.

Palabras clave: *Moringa oleifera*; agua; absorción

1. Objetivos

- Comprobar la disminución de la turbidez en el agua utilizando semillas molidas de *Moringa oleifera* con y sin aceite.
- Determinar la mejora en otros parámetros físicos químicos en aguas de diferentes procedencias, utilizando semillas molidas de moringa con y sin aceite.
- Evaluar la capacidad biosorbente del arsénico (As).
- Determinar si el contenido de proteínas de las semillas con y sin aceite varía en el tiempo, desde el momento de cosecha y hasta los 180 días.

2. Plan de actividades original y actividades cumplidas

La duración de la ejecución del proyecto sufrió diferentes tipos de retrasos, principalmente debido a inconvenientes para el traslado a diferentes sitios para la toma de muestras para poder efectuar los análisis, por no contar con fondos suficientes para combustible debido a la desvalorización de los montos solicitados en el presupuesto. Otro inconveniente que ocasionó retrasos fueron las determinaciones de arsénico en aguas subterráneas, debido a diferentes limitantes al ajustar la técnica para su determinación, por lo que los análisis debieron tercerizarse. Además, en el caso del muestreo de aguas residuales de la industria láctea, la variabilidad en el nivel de efluentes generó limitantes en el segundo muestreo, por lo cual se debió reprogramar. Con respecto al objetivo planteado de determinar si el contenido de proteína de las semillas variaba en el tiempo (hasta los 180 días desde su cosecha), el mismo se replanteó debido a la interrupción en el normal desarrollo del proyecto y alargamiento del mismo (por la pandemia COVID-19). Gracias a la colaboración de la Empresa Laskkan de Victoria (Entre Ríos) se pudo contar con diferentes muestras de semillas de diferente lugar de producción y año de cosecha, lo que permitió obtener muestras para determinar las variaciones que se presentan.

3. Marco teórico:

Nuestro planeta posee en su superficie un 71 % de agua: el 97 % de la misma es salada y sólo el 3 % es dulce. De esta última, el 1 % se encuentra disponible para consumo y producción (Redolfi, N. 2016). Por lo expresado, no toda el agua del planeta puede usarse para el consumo humano; además, un 75 % del agua potable se encuentra inaccesible en forma de hielo en los casquetes polares. La proporción de agua dulce que nos queda es la que precisamos para la vida y que resulta verdaderamente importante para los procesos vitales del planeta. Por otra parte, está expuesta diariamente a procesos de contaminación causados por las actividades desarrolladas por el ser humano, lo cual no puede dejar de atenderse a fin de lograr la sostenibilidad ambiental.

La provincia de Entre Ríos presenta características únicas y particulares en su estructura geomorfológica. Casi la totalidad de sus límites políticos están formados por cursos de agua, que incluyen los ríos Paraná y Uruguay, a lo que se agrega su rica red hidrográfica interna. Esto ayuda a que se cuente con un buen abastecimiento de agua para llevar a cabo las producciones tanto animales como vegetales. Se puede presentar algún déficit estacional, principalmente vinculado a la época estival, pero son sólo temporales, por lo cual la cantidad no es un factor limitante. En cambio, cuando hablamos de calidad, existen algunos inconvenientes de acuerdo a su procedencia.

En el caso de aguas superficiales (dulces), éstas provienen de ríos, arroyos, lagunas o tajamares, entre otros, y pueden presentar diferentes inconvenientes en cuanto a su calidad, tales como la turbidez natural o contaminaciones con nitratos, metales pesados, bacterias provenientes de explotaciones ganaderas o agrícolas.

El Acuífero Guaraní es uno de los grandes reservorios de agua subterránea y la provincia de Entre Ríos se encuentra asentada sobre él. Este acuífero está compuesto por agua que se encuentra en poros y fisuras de areniscas, formadas en tiempos geológicos del mesozoico, en general cubiertas por potentes capas de basalto que las confinan. Esta agua es utilizada tanto para el abastecimiento de los hogares como para riego, bebida animal e uso industrial. Uno de los aspectos que hacen particularmente útil al agua subterránea para el consumo humano es la menor contaminación a la que está sometida y la capacidad de filtración del suelo, que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. No obstante, cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar.

La incorporación de los constituyentes al agua en variedad y concentraciones diferentes es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación. Los factores que condicionan entonces la composición del agua subterránea natural son múltiples. Entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables, etc. Aunque la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción del mismo, no debe olvidarse que las interacciones agua-medio, que determinan dicha composición, son procesos dinámicos que se desarrollan, a ritmo diverso, tanto en el espacio como en el tiempo. Debido a esto, normalmente presentan diversa salinidad y contienen impurezas, que pueden ser de naturaleza físico-química o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Estos contaminantes pueden llegar por lixiviaciones de las mismas explotaciones agropecuarias o por constitución propia de los suelos, según sea el caso. Cuando los componentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su uso. En referencia a esto, Fernández Cirelli, et al. (2013) expresan que existen factores sobre el nivel de tolerancia de una determinada especie animal a la concentración de las distintas sales, lo cual tiene incidencia sobre la salud del animal, y disminuye los niveles de consumo. Herrero et al. (2002) plantea que, para asegurar la sanidad animal, es fundamental considerar por un lado a los elementos presentes en el agua en su rol de minerales y, por otro, prestar especial atención a aquellos que se presentan en condiciones de contaminación, como son el arsénico y los nitratos.

En los establecimientos agropecuarios, el agua interviene en la mayoría de los procesos productivos, ya sea como insumo de producción (en el caso de riego) y bebida animal como en el lavado de insumos para la elaboración de alimentos durante la industrialización de los mismos, e incluso como un componente más de los enlatados y empaquetados, entre otros.

Si bien en nuestra provincia no tenemos dificultades en cuanto a cantidad, sí se presentan inconvenientes en algunos sitios en cuanto a su calidad para el consumo animal y para cumplir con lo que exige el Código alimentario argentino (CAA) cuando la misma es para consumo humano, además de cumplir las exigencias de SENASA en la habilitación de establecimientos y/o granjas en producción, como lo son las avícolas, porcinas, etc. En estos establecimientos productivos de nuestra provincia se suelen

utilizar aguas de origen subterráneo, y muchos de ellos poseen aguas con marcada dureza, excesiva conductividad, muy variables concentraciones de sodio, etc. No se tiene demasiado conocimiento acerca de la presencia de metales pesados como el arsénico y, en el caso de la existencia, si sobrepasa los niveles requeridos. Todo ello puede traer diferentes dificultades en procesos y hasta poner en riesgo la salud animal y humana.

Como la calidad del agua puede ser un factor limitante para la producción y también puede llegar a afectar a las poblaciones rurales y urbanas, es importante realizar un estudio en diferentes zonas de la provincia que permita evaluar la calidad del agua según las fuentes de provisión de la misma y determinar si es factible solucionar algunos de los inconvenientes que se presenten en cuanto a su calidad a través del uso de procesos de coagulación y floculación utilizando semillas de *Moringa oleifera* (Moringa). Esto es actualmente objeto de estudio en numerosos países del mundo preocupados por solucionar diferentes problemas de calidad del agua a través de medios naturales, más amigables con el medio ambiente y que no producen daño a la salud.

Moringa oleifera pertenece a la familia Moringaceae y es originaria del sur del Himalaya, nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán. Se encuentra diseminada en una gran parte del planeta. Alcanza de 7 a 12 m de altura y de 20 a 40 cm de diámetro. Las hojas son pinnadas; las flores son bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos, perfumadas y frutos en cápsulas trilobuladas, dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud que contienen de 12 a 25 semillas por fruto. Las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con tres alas blanquecinas. Cada árbol puede producir de 15.000 a 25.000 semillas por año. Los valores de proteína cruda en hojas son de 23 % y para tallo 9 %, y los valores de digestibilidad están en el 79 % y 57 % respectivamente (Bennett, 2003).

Falasca y Bernabé (2008) plantean que, en su hábitat natural, las temperaturas medias anuales presentan grandes fluctuaciones. Durante los meses más fríos soporta entre -1 °C y 3 °C, mientras que, en los meses más cálidos, de 38 °C a 48 °C.

En cultivos destinados a la producción de semillas para aceite/biodiesel, la densidad de siembra es de 500 a 700 plantas/ha. A partir del año de implantación, la producción aproximada es de 2.100 kg semilla/ cosecha/año (Urías Garavito et al., 2008).

En la provincia de Entre Ríos se han efectuado dos ensayos de campo para introducir la especie y evaluar su comportamiento forrajero y producción de semillas, los cuales han arrojado resultados preliminares satisfactorios, comprobándose su adaptación a nuestra zona agroclimática. No obstante, es necesario continuar estas evaluaciones (Isaurralde et al., 2018; Vallecillo et al., 2018).

4. Plan de actividades cumplidas:

- A. Búsqueda bibliográfica y de antecedentes en bases de datos.
- B. Gestión de incorporación de equipamiento, material de seguridad, material de vidrio y reactivos. Preparación de soluciones patrones, calibración de equipos y puesta a punto de técnicas analítica.
- C. Limpieza de las semillas, molienda, acondicionamiento, conservación de harina de moringa y extracción de aceite.
- D. Selección de puntos de muestreo y toma de muestras de fuentes hídricas superficiales, subterráneas y efluentes.
- E. Análisis de aguas superficiales, subterráneas y efluentes y sus tratamientos con moringa.

- F. Análisis de resultados obtenidos del uso de los diferentes tratamientos en aguas superficiales
- G. Confección del informe final

5. Metodología

5.1. Limpieza de las semillas, molienda, acondicionamiento y conservación de harina de moringa

Para preparar la semilla para los diferentes tratamientos planteados en el Proyecto, se procedió a acondicionar las mismas para lo cual se fueron tomando pequeñas muestras de semillas de 10 a 50 gramos, a las cuales se les efectuó un proceso de limpieza manual para extraer partículas extrañas, posteriormente, se colocaron en estufa durante 48 hs a 60 °C para su secado. Luego se procedió a prepararlas para los diferentes tratamientos:

Tabla N° 1. Tratamientos realizados con semillas de *M. oleifera*

Tratamiento A:	Polvo de semilla con cáscara y con aceite.
Tratamiento B:	Polvo de semilla sin cáscara y con aceite.
Tratamiento C:	Polvo de semillas sin aceite y sin cáscara.



Figura N° 1. Semillas completas, cáscara y semillas sin cáscara.



Figura N° 2. Semillas molidas y mortero de porcelana utilizado para el proceso.



Figura N° 3. Manta eléctrica para el calentamiento del agua, columna del Soxhlet, aceite de moringa y semillas molidas sin aceite y sin cáscara.



Figura N° 4. Tratamientos: A) semillas molidas con cáscara y aceite; B) semillas molidas sin cáscara y con aceite; C) semillas molidas sin cáscara y sin aceite.

5.2. Extracción y determinación del contenido de aceite y proteína bruta de las semillas de *Moringa oleifera*

Dada la posibilidad de contar con semillas de *Moringa oleifera* y cápsulas, cosechadas en distinto año y localidad de producción (Misiones y Paraná), proporcionadas por la Empresa Laskkan de Entre Ríos, se efectuaron los análisis composicionales de aceite y proteína, siendo los años analizados 2018 y 2019. A efectos de una conservación adecuada de los materiales, se sometieron a una limpieza manual. Posteriormente se las colocó en un lugar seco y fresco con una temperatura cercana a los 13–18 °C. Para su utilización, se fueron tomando muestras acorde a la cantidad necesaria según los análisis a realizar. Las cápsulas y semillas se colocaron en estufa durante 48 hs a 60 °C. Luego, algunas semillas fueron peladas y trituradas en mortero hasta obtener una harina ligeramente fina de color blanco amarillento, aspecto grasoso y olor particular.

5.3. Determinación del contenido de aceite

La extracción del aceite de las semillas se realizó por el método de extracción con solvente (Soxhlet). Para ello se tomó una muestra de 100 g de semillas de *Moringa oleifera* sin cáscara. Se llenó el cartucho hasta 2/3 de su capacidad con semillas molidas y se pesó. A continuación, se colocó el cartucho en el cuerpo del Soxhlet y se montó el resto del equipo.

Se utilizó n-hexano en el balón (aproximadamente 300 ml) y se calefaccionó sobre manta eléctrica. Una vez que se agotó la muestra, se eliminaron los restos de solvente del cartucho de papel por evaporación a 60 ° C (máximo) hasta masa constante y por diferencia de pesadas se obtuvo el contenido de aceite, el que se expresa como % en base húmeda (Zhao y Zhang, 2013).

Debido a que es la primera vez que se trabaja con este tipo de extracciones con semillas de *Moringa oleifera* y a fin de determinar en forma práctica el método de extracción de aceite más apropiado, además de la extracción por Soxhlet se obtuvo el extracto hexánico de semillas por doble maceración directa; para ello, se colocaron 25 g de las muestras de semillas en un Erlenmeyer con 100 ml de hexano y se dejaron entre 48 y 72 hs. El procedimiento se repitió dos veces. El contenido de aceite extraído se determinó por diferencia de peso con la muestra original.

5.4. Determinación del contenido de proteína bruta por el método Kjeldahl (Protocolo PROMEFA, AOAC, 1998 N° 976.05)

El método Kjeldahl consiste en transformar todo el nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico mediante la digestión con H_2SO_4 concentrado, con temperaturas de 300 °C y catalizador. El resto de la materia orgánica se descompone hasta la formación de CO_2 y agua. Luego, el NH_3 que queda por exceso de H_2SO_4 como $SO_4(NH_4)_2$ se destila agregando NaOH, separando el NH_3 . El N total es determinado por titulación con H_2SO_4 y se aplica el factor de conversión (6,25) para estimar el contenido de PB de los alimentos.

El análisis de resultados se llevó a cabo con el paquete estadístico Infostat, versión 2021. Se realizaron pruebas con el estadístico "T" para muestras independientes y se compararon los datos obtenidos según semillas verdes vs semillas maduras y según procedencia y año de cosecha de semillas, siendo "Paraná vs Misiones, años 2018 y 2019" para la variable "proteína", donde al menos se tenían dos valores en cada grupo.

5.5. Materiales evaluados (M = muestra)

M1: Cosecha 2019, Paraná. Se cosecharon cápsulas con poco desarrollo y se extrajeron semillas inmaduras y chicas, color verde. Se determinó la calidad composicional en cuanto a contenido proteínas de las mismas.



Figura N° 5. Cápsulas inmaduras y semillas con escaso desarrollo.

M2: Cosecha 2018, Paraná. Semillas desarrolladas inmaduras, color verde amarillento claro. Semillas con suficiente desarrollo pero que no alcanzaron la madurez fisiológica.



Figura N° 6. Semillas desarrolladas, sin madurez fisiológica.

M3: Cosecha 2018, Paraná. Semillas desarrolladas y maduras. Mate. Semillas con madurez fisiológica provenientes de cápsulas secas, algunas con dehiscencia natural. Poseen más de un año de cosechadas y estuvieron conservadas bajo adecuadas condiciones de humedad y temperatura; de igual forma, se pierde calidad.



Figura N° 7. Cápsulas y semillas desarrolladas, con madurez fisiológica, cosechadas en 2018.

M4: Cosecha 2019, Paraná. Semillas desarrolladas y maduras. Se pudieron efectuar los análisis el mismo año de cosecha y se pueden comparar con las provenientes de Misiones.



Figura N° 8. Semillas cosechadas en Paraná en 2019.

M5: Cosecha 2019, Paraná. Cápsulas maduras. Constituyen la cobertura de las semillas de la muestra M4. En la Figura N° 9 se puede observar el estado en el que quedan las cápsulas luego de su molido. Durante el proceso de molienda se desprende un polvo muy fino que inunda el ambiente y afecta las vías respiratorias, por lo cual se deben tomar las medidas adecuadas de protección.

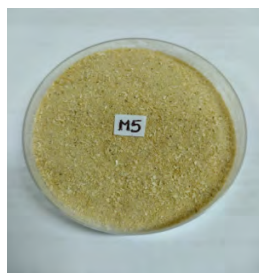


Figura N° 9. Cápsulas molidas cosecha 2019.

M6: Cosecha 2019, Misiones. Semillas maduras cosechadas en el año 2019 en la provincia de Misiones.



Figura N° 10. Semillas cosechadas en 2019 provenientes de la provincia de Misiones.

M7: Cosecha 2018, Misiones. Semillas provenientes de la provincia de Misiones.



Figura N° 11. Semillas cosechadas en Misiones en el año 2018.

M8: Cosecha 2019, Cáscaras de semillas desarrolladas y maduras. Material proveniente de semillas cosechadas en Paraná en el año 2019.



Figura N° 12. Cáscaras de semillas molidas y sin moler, cosechadas en Paraná en 2019.

6. Resultados alcanzados y discusión para las determinaciones de contenido de aceite y de PB

6.1. Resultados alcanzados y discusión para la obtención de aceite

La extracción de aceite se efectuó con hexano para los diferentes tratamientos utilizando un equipo Soxhlet y maceración directa. La diferencia promedio en la cantidad de aceite que se extrajo a través del método con el Soxhlet fue un 5,9 % mayor en comparación con la maceración directa, pero el gasto de solvente fue de un 33 % menor con este último método.



Figura N° 13. Equipo utilizado para la extracción de aceite a través del método Soxhlet.

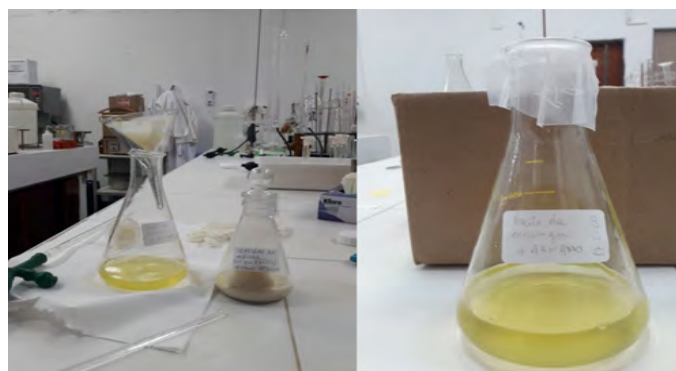


Figura N° 14. En la foto de la izquierda, se observa en el Erlenmeyer de la izquierda hexano con aceite luego del filtrado y en el de la derecha el otro Erlenmeyer con restos de producto sin terminar de filtrar. En la foto de la derecha se aprecia el hexano y aceite de moringa con un color amarillo.

Los resultados obtenidos en el rendimiento de aceite de las diferentes muestras analizadas se presentan en la Tabla N° 2. Cabe aclarar que no se efectuaron las determinaciones para semillas verdes con muy poco desarrollo (M1), cápsulas (M5) y cáscaras (M8), debido a que no se consideraron representativas. Para el caso de las semillas cosechadas el mismo año, el contenido de aceite siempre fue algo superior para las procedentes de la provincia de Misiones, cuyos valores fueron de 40 % (2018) y 40,9 % (2019) comparados con los valores obtenidos para semillas cosechadas en Paraná, Entre Ríos, con valores de 36,2 % (2018) y 37,4 % (2019).

Tabla N° 2. Contenido de aceite (%) de las diferentes muestras analizadas de *M. oleifera*

N° de Muestra	Referencias	Fecha de Cosecha	% Aceite
M1	S. Verdes chicas	2019 Paraná	-
M2	S. Verdes desarrollas	2018 Paraná	15,7
M3	Semillas	2018 Paraná	36,2
M4	Semillas	2019 Paraná	37,4
M5	Cápsulas	2019 Paraná	-
M6	Semillas	2019 Misiones	40,9
M7	Semillas	2018 Misiones	40,0
M8	Cáscaras	2019 Paraná	-

En todos los casos, se encuentran dentro de los valores citados por Álvarez Mena (2017), procedentes de una revisión amplia de información brindada por numerosos autores en donde cita un rango de entre 30,8 % a 44,8 % para el contenido de aceite de semillas maduras.

6.2. Comparación entre diferentes métodos de extracción de aceite (Equipo Soxhlet y Hexano en frío con doble extracción)

Inicialmente se realizó un estudio comparativo de dos métodos de extracción de aceite de las semillas, uno con el equipo Soxhlet y el otro a través de una doble extracción con hexano en frío. Las diferencias obtenidas en contenido de aceite extraído por ambos métodos no se consideran significativas para estos análisis exploratorios, la ventaja con el método de extracción en frío es que la misma es menos riesgosa que con el equipo Soxhlet.

Tabla N° 3. Contenido de aceite (%) de semillas de *M. oleifera* con diferente método de extracción.

Método	% aceite
Equipo Soxhlet	40
1ª extracción en frío	27,92
2ª extracción en frío (total)	37,64

6.3. Resultados alcanzados y discusión para la obtención de Proteína Bruta

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de proteínas de las diferentes muestras de semillas analizadas se presentan en la Tabla N° 4. No poseen diferencias significativas según año de cosecha y procedencia; sus valores se encuentran entre 32,95 a 38,7 %, similares a los citados por Álvarez Mena (2017) de 32,9 % a 38,3 %. Con respecto a las semillas verdes, no son comparables debido a que, como se trata de semillas verdes inmaduras, no se sabe exactamente el grado de madurez de cada una de las muestras. Con respecto a los valores hallados en el contenido de esta variable para cápsulas, el mismo fue de 8,65 % y para cáscara del 12 %. Estos se consideran elevados dado que los mismos podrían ser considerados residuos de cosecha y de agroindustria respectivamente, con lo cual se les podría dar un uso como insumo para la suplementación animal a través de su incorporación a alimentos concentrados o en dietas totalmente mezcladas.

Tabla N° 4. Contenido de proteína (%) de semillas de *M oleifera* de distinta procedencia y año de cosecha, y de cáscara y cápsulas.

N° de muestra	Referencias	Fecha de cosecha	% PB
M1	S. Verdes chicas	2019 Paraná	35,60
M2	S. Verdes desarrollas	2018 Paraná	40,60
M3	Semillas	2018 Paraná	34,65
M4	Semillas	2019 Paraná	38,70
M5	Cápsulas	2019 Paraná	8,65
M6	Semillas	2019 Misiones	32,95
M7	Semillas	2018 Misiones	34,60
M8	Cáscaras	2019 Paraná	12,00

6.4. Metodología utilizada y resultados alcanzados para los tratamientos de diferentes fuentes de agua (superficial- subterránea y residuales).

A fin de facilitar la presentación y entendimiento de las diferentes metodologías, tratamientos, dosis utilizadas y resultados alcanzados, se presenta la información en tres apartados según el tipo de agua tratada.

6.4.1. Apartado I: Aguas superficiales

6.4.1.1. Metodología de evaluación en aguas superficiales:

Con el fin de evaluar los efectos de la semilla de *Moringa oleifera* en la mejora de parámetros fisicoquímicos del agua, se utilizaron los tratamientos A, B y C en aguas de diferentes fuentes de origen superficial. Algunas fueron sistemas abiertos, como el río Paraná, arroyo La Picada, arroyo Salto, arroyo Molino Doll; otros fueron cerrados, como el lago del Parque Gazzano y el tajarar de la escuela Alberdi.

Además, se evaluó el efecto bactericida de los diferentes tratamientos en el arroyo La Picada, arroyo Molino Doll y tajarar de la escuela Alberdi.

6.4.1.2. Metodología de evaluación de la turbidez

La turbidez fue evaluada mediante el Test de Jarras en el laboratorio de la Planta Potabilizadora Echeverría de la ciudad de Paraná. Para procesar las muestras se utilizó el equipo PARSEC-ARIES VI, el cual tiene capacidad para tratar seis muestras a la vez (Figura N° 15). Luego se midió la turbidez utilizando Turbidímetro de Laboratorio Hach modelo 2100N, el cuál mide la turbidez en un rango de 0 a 4000 NTU (*Nephelometric Turbidity Units*).

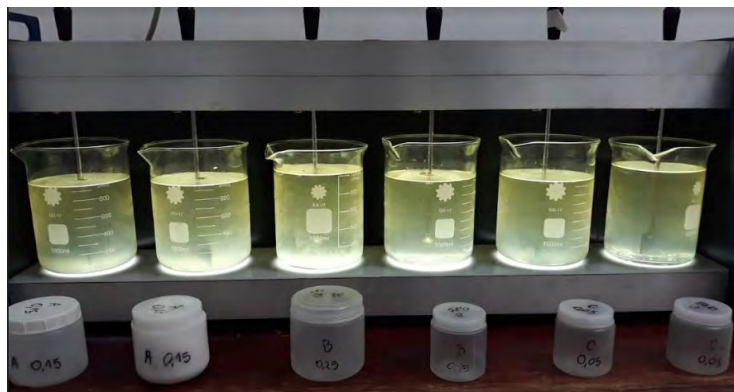


Figura N° 15. Foto del equipo PARSEC-ARIES VI de la Planta Potabilizadora Echeverría.

Para determinar la dosis óptima de cada tratamiento, se analizó solamente agua del río Paraná, utilizando concentraciones de: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 mg de harina de moringa/L.

Se procedió de la siguiente manera:

1. Se llenaron los seis contenedores (vasos de precipitados de 1 L) con la muestra a analizar.
2. Se les agregó el coagulante (harina de moringa), en distintas concentraciones, dejando un testigo; luego, se agitó durante 1 minuto a 120 rpm.
3. Transcurrido este tiempo, se continuó agitando a 89 rpm durante 20 min. Esta velocidad, más lenta, promueve la formación de flóculos grandes mediante la mejora de las colisiones de partículas.
4. Finalmente, se apagaron los mezcladores y se dejó reposar por 30 minutos.
5. A continuación, se extrajeron 100 ml de muestra de la parte superior para medir la turbidez final y realizar cada una de las determinaciones programadas en cada contenedor.

6.4.1.3. Resultados alcanzados en la determinación de la dosis óptima para cada tratamiento, evaluación de la turbidez y discusión

Los resultados preliminares obtenidos al analizar en los tres tratamientos (A, B y C) el efecto de distintas dosis de moringa sobre la turbidez (NTU) en agua proveniente del río Paraná se muestran en la Tabla N°4.

Tabla N° 5. Valores obtenidos para cada tratamiento con la aplicación de diferentes dosis.

DOSIS (mg/L)	TURBIDEZ (NTU)		
	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C
50	8,7	*	3,9
100	4,2	*	4,69
150	3,6	5,8	4,13
200	4,0	4,9	7,71
250	4,2	3,0	7,82

300	4,5	3,6	11,2
350	*	4,6	*
400	*	5,2	*
450	*	5,4	*
Turbidez inicial (NTU)	277		17,4

*No pudo realizarse la determinación

Debido a cuestiones operativas de la planta potabilizadora, los análisis se realizaron en dos momentos. Inicialmente, se analizó el agua del río Paraná tratada con todas las dosis mencionadas para los tratamientos A y B. En esta oportunidad, el agua presentó valores de turbidez inicial de 277 NTU. Sin embargo, en los días posteriores que se puso en marcha el tratamiento C con sus correspondientes dosis, la turbidez inicial del río fue de 17,4 NTU. Esto se debió a una bajante histórica del río Paraná que presentó valores extremadamente bajos de turbidez. Estos datos se muestran en la Tabla N° 5.

Se realizaron gráficas de cada tratamiento para observar el efecto de las distintas dosis. En las Figuras N° 16, 17 y 18 se hace evidente el efecto de remoción de la turbidez en todos los casos evaluados. Además, se observan dosis óptimas por encima de las cuales no mejora la remoción. Por el contrario, se muestra un incremento de la turbidez, comportamiento también registrado por Gómez Menenses (2016).

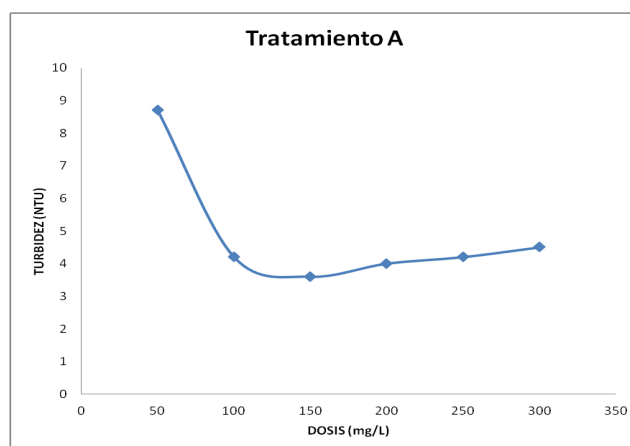


Figura N° 16. Resultados de variaciones de la turbidez con el tratamiento A.

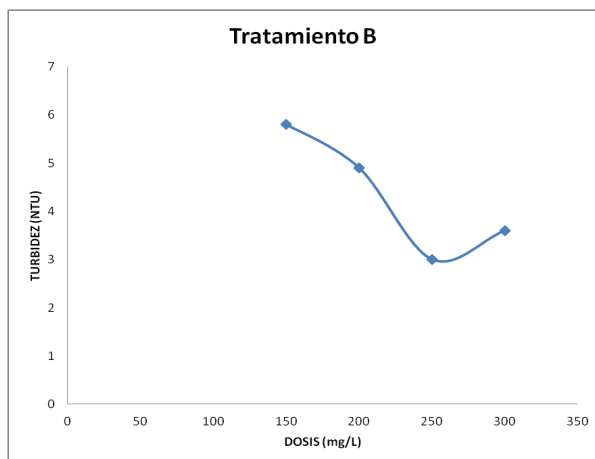


Figura N° 17. Resultados de variaciones de la turbidez con el tratamiento B.

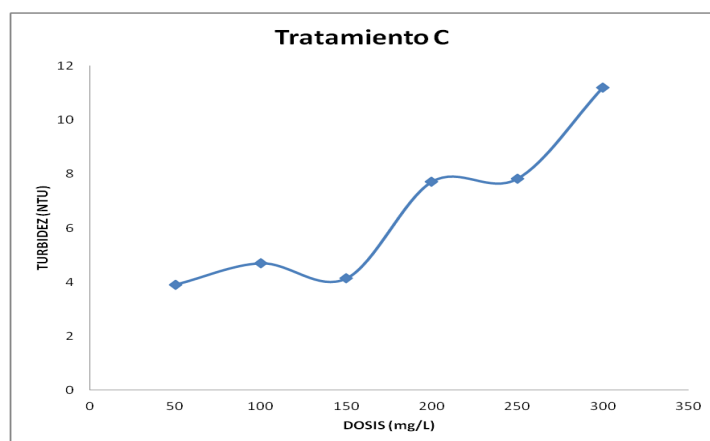


Figura N° 18. Resultados de variaciones de la turbidez con el tratamiento C.

Para los tratamientos A y B, con la misma turbidez inicial, se encontró que la mayor efectividad se logra utilizando dosis de entre 100 mg/L a 300 mg/L. Con el tratamiento A se llegó a disminuir la turbidez del agua hasta 3,6 NTU, con una dosis de 150 mg/L. Por otro lado, con el tratamiento B se obtuvo el menor resultado de turbidez, llegando a 3,0 NTU al utilizar la dosis de 250 mg/L. Respecto al tratamiento C, la dosis óptima que permitió mayor remoción se encontró alrededor de los 50 mg/L, obteniendo resultados de 3,9 NTU.

De esta forma, las dosis seleccionadas para los tratamientos A, B y C son 150 mg/L; 250 mg/L y 50 mg/L, respectivamente.

6.4.1.4. Análisis de agua superficial de diferentes orígenes

Al evaluar el impacto de los tres tratamientos en las dosis seleccionadas en aguas superficiales de otros orígenes, se hallaron los resultados observados en la Tabla N° 6.

Tabla N° 6. Turbidez de las muestras de agua cruda y sometidas a distintos tratamientos y dosis de *Moringa oleifera* de agua superficial.

TURBIDEZ (NTU)								
Tratamiento	Repeticiones	Río Paraná	A° La Picada	A° Molino Doll	Tajamar Alberdi	A° Salto	A° Thompson	Laguna Parque Gazzano
Testigo	1	14,3	15,8	16	11,4	58,5	160	29
Testigo	2	14,3	15,8	16	11,4	58,5	160	29
Testigo	3	14,3						
A	1	6,63	4,01	17,4	16,1	14,7	20,9	8,2
A	2	6,8	3,1	17	16,9	13,9	22,1	8,6
A	3	6,96						
B	1	7,87	4,4	17	16,1	5,7	11,6	6,6
B	2	8,23	3,8	18,6	16	5,15	17,7	6,2
B	3	8,29						
C	1	5,87	5,07	18,9	14,3	18,5	24,5	12
C	2	5,67	5,2	18	14,8	18,2		12,5
C	3	5,69						

Para una mayor visualización de los resultados se trabajó con porcentajes de variación de la turbidez y, al aplicar un análisis estadístico ANOVA, se observó que los tratamientos alcanzaron una remoción en aguas superficiales superior al 50 %. El mayor efecto se obtuvo en muestras de los arroyos Salto y Thompson, que presentaron las aguas más turbias, donde la remoción fue del 91 % (Figura N° 19). Similares resultados fueron hallados por Nuñez Ponce (2007) para aguas superficiales, con un 98 % de reducción de la turbidez utilizando una dosis de 300 mg/ L de semilla sin cáscara, coincidiendo con Muyibi y Okuofu (1995), quienes encontraron mayor efectividad coagulante a niveles más altos de turbidez.

Cabe mencionar que, en el caso del arroyo Molino Doll y el tajamar Alberdi, las aguas presentaban turbidez inicial baja y, luego de aplicados los tratamientos, la misma aumentó; por ello, en la Figura N° 19 se observa la variación de turbidez en escala negativa. Esto puede deberse a que, al entrar en contacto los coagulantes de *Moringa oleifera* con las partículas coloides, no encuentren la suficiente materia para adherirse y sedimentarse, lo que hace que quede suelto y se convierta en aporte orgánico y material en suspensión en el agua tratada (Nuñez Ponce, 2007).

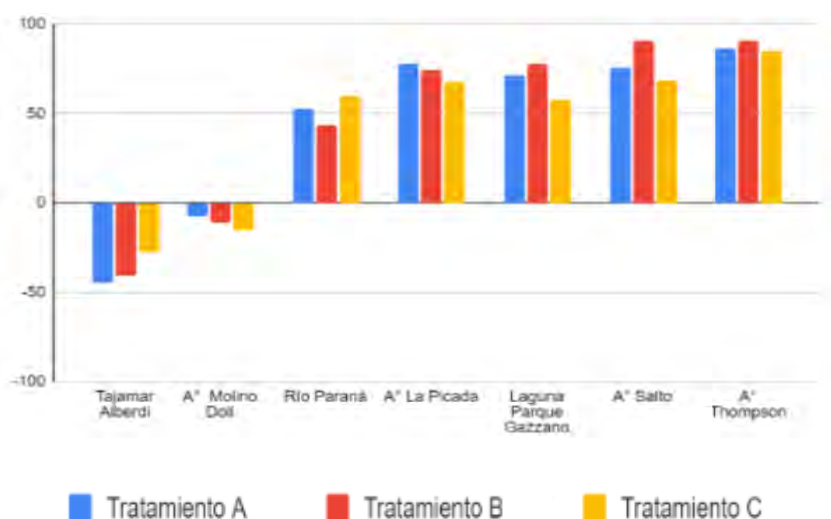


Figura N° 19. Variación porcentual de la turbidez de aguas de diferentes orígenes.

6.4.1.5. Metodología de evaluación del pH

Inmediatamente de extraídas las alícuotas del testigo y de cada tratamiento del Test de Jarras, se determinó su pH. Para ello se utilizó la sonda multiparamétrica portátil Hanna modelo HI991003.

6.4.1.6. Resultados alcanzados en la evaluación del pH y discusión

En el caso de aguas superficiales, se determinó solamente el pH para evaluar si los tratamientos con moringa tienen algún efecto sobre el mismo.

Se observan los valores hallados de pH en las distintas aguas antes y después de aplicar los diferentes tratamientos con semillas de *Moringa oleifera*. Analizando estos resultados, se evidencia que no hubo alteraciones importantes de pH con el uso del coagulante natural, en coincidencia con lo encontrado por Mejía Carrillo et al. (2020).

Tabla N° 7. pH en agua superficial tratada con *M. oleifera*

pH							
Tratamiento	Repeticiones	Río Paraná	A° Molino Doll	Tajamar Alberdi	A° Salto	A° Thompson	Laguna Parque Gazzano
Testigo	1	7,64	8,28	9,02	7,61	7,64	7,54
Testigo	2	7,64					
A	1	7,72	8,38	8,83	7,74	7,49	7,98
A	2	7,67	8,42	9,11	7,71	7,46	7,98
B	1	7,65	8,35	9,04	7,53	7,37	7,96
B	2	7,63	8,43	9,16	7,64	7,41	7,96
C	1	7,62	8,44	9,16	7,8	7,64	7,95
C	2	7,61	8,46	9,15	7,59		7,73

Similares resultados obtuvieron Mendoza et al. (2000) en muestras de agua cruda con la adición de las diferentes dosis del coagulante *Moringa oleifera*.

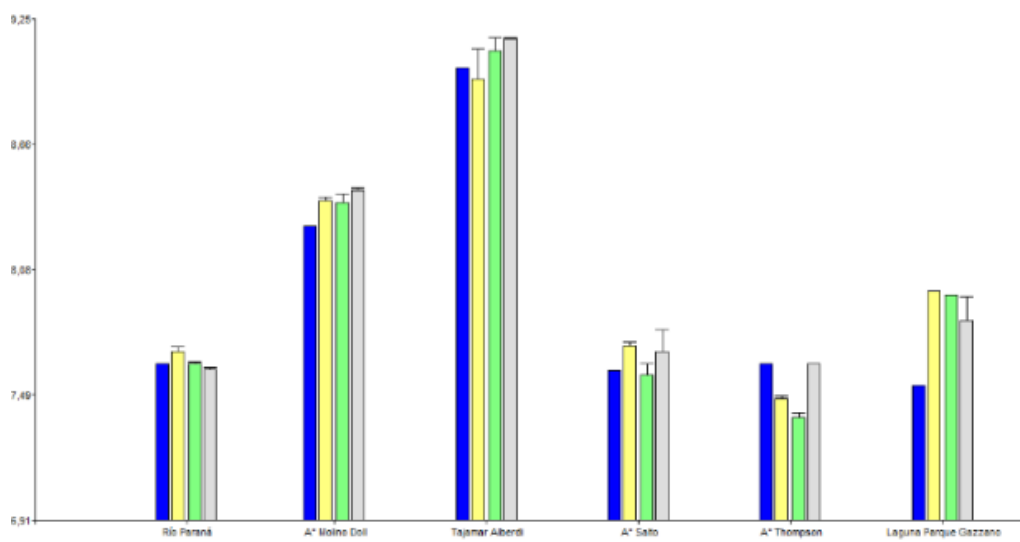


Figura N° 20. Efecto de los tratamientos en el pH de las muestras.

6.4.1.7. Metodología de evaluación de coliformes totales

Se realizó el análisis microbiológico de los sitios evaluados, previo a la aplicación de los tratamientos y, posteriormente, a los extractos de cada uno de ellos, obtenidos mediante el Test de Jarras.

Se trabajó empleando la técnica del Número Más Probable (APHA, 1992), utilizando como medio de cultivo caldo Mack Conkey, en baterías de tubos 5-1-1. Inicialmente, se procedió a determinar las diluciones de trabajo.

Luego de la siembra, los tubos fueron incubados a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, durante 48 hs. Los resultados se expresaron como NMP de coliformes totales/100 ml de agua.

Se trabajó con aguas superficiales de diferentes arroyos del departamento Paraná, siendo: ALP (arroyo La Picada), AMD (arroyo Molino Doll) y TEA (tajamar de la Escuela Alberdi). El objeto era determinar si el extracto de *Moringa oleifera*, en tratamiento A (polvo de semilla con cáscara y con aceite), tratamiento B (polvo de semilla sin cáscara y con aceite) y tratamiento C (polvo de semilla sin cáscara y sin aceite) produciría efecto en la reducción de coliformes totales, determinación posterior al Test de Jarras realizado con cada tratamiento.

ALP: inconvenientes técnicos limitaron la obtención de resultados confiables. Es por ello que no se analizó este arroyo.

AMD: se determinó como diluciones de trabajo hasta 10^{-4} . Se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra TC: 500 NMP/100 ml de coliformes totales

Muestra post trat. A: 300 NMP de coliformes totales/100 ml de agua

Muestra post trat. B: 110 NMP de coliformes totales/100 ml de agua

Muestra post trat. C: 350 NMP de coliformes totales/100 ml de

TEA: se determinó como diluciones de trabajo hasta 10^{-3} . Se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra TC: 4 NMP de coliformes totales/100 ml de agua

Muestra post trat. A: 4 NMP de coliformes totales/100 ml de agua

Muestra post. trat. B: 2 NMP de coliformes totales/100 ml de agua

6.4.1.8. Resultados de los análisis de coliformes totales

En base a los resultados obtenidos, se observó que el tratamiento B resultó más eficiente en la reducción de bacterias coliformes en todos los casos, y se condice con lo dicho por Hernández Bojorge et al. (2016). En ningún caso se pudo establecer correlación alguna entre el grado de turbidez y la carga microbiológica, expresada en coliformes totales.

6.4.2. Apartado II: Aguas subterráneas

6.4.2.1. Metodología utilizada en las determinaciones para aguas subterráneas:

Para la evaluación del efecto de *Moringa oleifera* en aguas subterráneas en los parámetros pH, dureza, alcalinidad y As, se realizó un análisis exploratorio a fin de determinar si los diferentes tratamientos realizados permiten mejorar la calidad de la

misma. En este sentido, se trabajó con análisis por triplicado.

Se trabajó con aguas subterráneas de las cuales se conocía que presentaban una concentración de As superior a 40 ppb; dos de ellas correspondientes a las zonas urbanas de Colonia Ensayo y Feliciano, y la restante del área rural del departamento homónimo a ésta última. Las mismas fueron acondicionadas y transportadas al Laboratorio de Análisis de Agua de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER), donde se analizaron los análisis detallados en la Tabla N° 8.

Posteriormente, se realizaron los tratamientos A, B y C, utilizando en todos los casos dosis de polvo de las semillas de *Moringa oleifera* al 1 y 5 %, con tiempos de contacto de 10 y 120 minutos. Para ambas dosis, se colocó el agua a tratar en un vaso de precipitado de 1 L y se agitó junto con el polvo de semilla de *Moringa oleifera* con agitador magnético durante 1 minuto, para luego filtrar utilizando filtros Quanty de un tamaño de poro de 28 micrómetros y realizar los análisis correspondientes.

Tabla N° 8. Parámetros físico-químicos evaluados.

Determinación	Técnica	Unidades
pH	Potenciométrica 4500 H-B - APHA (1992)	Unidades de pH
Alcalinidad	Titulométrica 2320 - B - APHA (1992)	ppm de CaCO ₃
Dureza	Titulométrica 2340 - C - APHA (1992)	ppm de CaCO ₃
Conductividad	Conductimetría (2.500 B)	µS/cm

El análisis de concentración de As de las muestras tratadas y sin tratar fue realizado en el laboratorio de la Cámara Arbitral de Cereales de Entre Ríos mediante técnica de generación de hidruros con espectro de absorción atómica (Persee 900, AA990).

6.4.2.2. Resultados alcanzados en las determinaciones de arsénico y discusión

Respecto al contenido de As en agua, el agua tratada con polvo de semillas de *Moringa oleifera*, en todos los tratamientos, mostró una disminución respecto al análisis del agua sin tratar.

Considerando que sólo se analizaron las muestras por duplicado debido al alto costo de los análisis y la imposibilidad de realizar dicho análisis en nuestro laboratorio, no se analizaron estadísticamente los resultados.

En la Tabla N° 9 se muestran los resultados medios, los cuales mostraron variabilidad entre los tratamientos y los diferentes sitios de muestreo. Al analizar los resultados considerando el límite de 50ppb establecido por la Organización Mundial de la Salud (2018), se observó que, en Colonia Ensayo, las muestras disminuyeron desde 70,6 ppb en el agua cruda hasta valores que se encuentran aptos para consumo en los tratamientos A (32 ppb) y C (35 ppb), en tanto el tratamiento B (52 ppb) se encontró por encima de dicho valor. En el caso del agua de la ciudad de Feliciano, todos los tratamientos mostraron un efecto, disminuyendo a niveles óptimos para consumo humano en las que los tratamientos A, B y C disminuyeron a 23, 11 y 41 ppb, respectivamente.

Tabla N° 9. Contenido de arsénico (As) en agua de las muestras sin tratar y con los tratamientos A, B, y C.

Muestra	Testigo (ppb)	Tratamiento A (ppb)	Tratamiento B (ppb)	Tratamiento C (ppb)
Colonia Ensayo	70,6	32	52	35
Feliciano (ciudad)	75,9	23	11	41

Al evaluar la eficiencia de remoción de cada tratamiento, se observó que los tratamientos B y A fueron los que mostraron un mayor porcentaje de remoción, alcanzando un porcentaje de 86 y 70 %, respectivamente, en aguas de Feliciano. En Colonia Ensayo la disminución fue menor, del 55 y 27 %, respectivamente, y, en el caso del tratamiento C, para ambos sitios la disminución fue cercana al 50 %.

La eficiencia de remoción de As no evidenció una tendencia clara al comparar los tres tratamientos evaluados. (Figura N° 21).

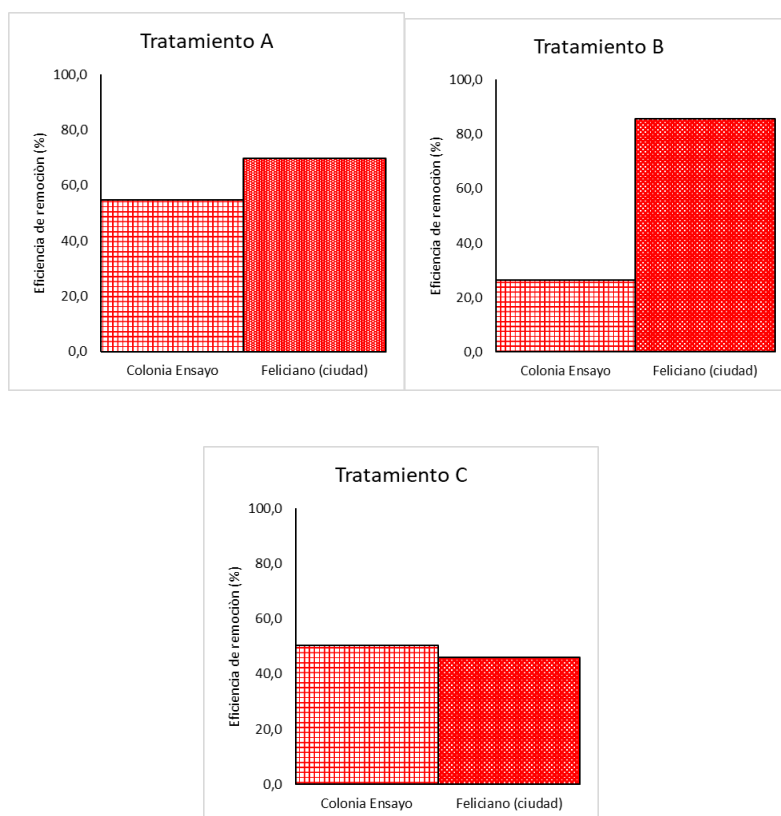


Figura N° 21. Eficiencia de remoción de los tratamientos A (arriba a la izquierda), B (arriba a la derecha) y C (abajo).

Al analizar los resultados obtenidos, los mismos son algo inferiores a los encontrados por Aguilar Díaz (2019), quien alcanzó una remoción del 90 % del contenido de As en aguas utilizando una dosis de 9 gramos de semilla seca y triturada por litro de agua

a tratar, y a los hallados por Hernández Sánchez (2018) utilizando dosis de 1g/L y un periodo de agitación de 1 hora, el cual removi6 el 80 % del As presente en la muestra.

Si bien los resultados obtenidos son algo inferiores a los citados por otros autores, es muy interesante el nivel de disminuci6n que se obtuvo en el contenido de As con dosis muy bajas de harina de *Moringa oleifera*.

6.4.2.3. Resultados alcanzados en las determinaciones de dureza, de calcio y discusi6n

Respecto al efecto del tiempo de contacto de la muestra de agua con la moringa, se puede observar en la Figura N6 22 que no existen diferencias estadisticamente significativas sobre los resultados en las determinaciones de calcio y dureza.

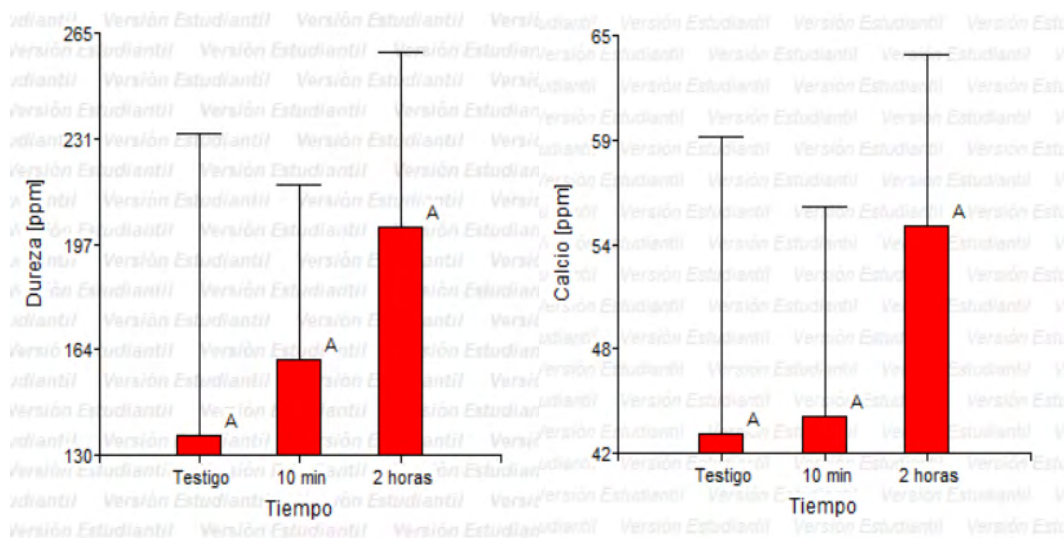


Figura N6 22. Efecto del tiempo de contacto entre una muestra de agua y moringa en la dureza (izquierda) y el contenido de calcio (derecha). Se grafica el promedio entre los tres tratamientos con moringa (A y B) y su error estándar para las determinaciones realizadas a una muestra de agua de Colonia Ensayo, con una dosis de 5 % de moringa. El testigo es la muestra sin tratar. Letras iguales indican la falta de diferencia significativa. Dureza: test de Tukey; alfa=0,05; F=0,24; DMS=363,44079. Calcio: test de Tukey; alfa=0,05; F=0,33; DMS=76,96580.

No obstante, se observ6 un incremento de 6stos parámetros en muestras tratadas, el cual se hace más notable cuando el tiempo de contacto entre la muestra de agua y la dosis de moringa es de 2 horas. Debido a estos datos es que se decidi6 seguir trabajando con 10 minutos para realizar el tratamiento de las muestras de agua en las otras determinaciones relacionadas con estos parámetros. Pueden apreciarse los resultados de las determinaciones realizadas en la Tabla N6 10.

Tabla N6 10. Resultados de la determinaci6n de dureza y calcio para una muestra de agua con distintos tiempos de contacto entre 6sta y la dosis de moringa indicada. A y B representan distintos tratamientos de moringa hechos a la muestra de agua. El testigo es la muestra sin tratar.

Parámetro	Muestra	Dosis	Tiempo	Testigo	A	B
Dureza [ppm]	Colonia Ensayo	5 %	10 min	136	202	194
		5 %	2 h	136	204	323
Calcio [ppm]	Colonia Ensayo	5 %	10 min	43	54	-
		5 %	2 h	43	51	39

Al analizar los efectos de la dosis de moringa usada para tratar las muestras de agua, después de otras dosis preliminares, se decidió continuar trabajando con dosis de 1 y 5 %. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas dosis de moringa utilizadas (Figura N° 23), pero a pesar de ello, las muestras analizadas presentan mayores valores de dureza con las dosis del 5 y 1 %. Lo inverso sucede para el caso del calcio, donde no sólo la dosis del 1 % provocó menores valores de calcio, sino que además pareciera haber reducido los niveles respecto a la muestra testigo.

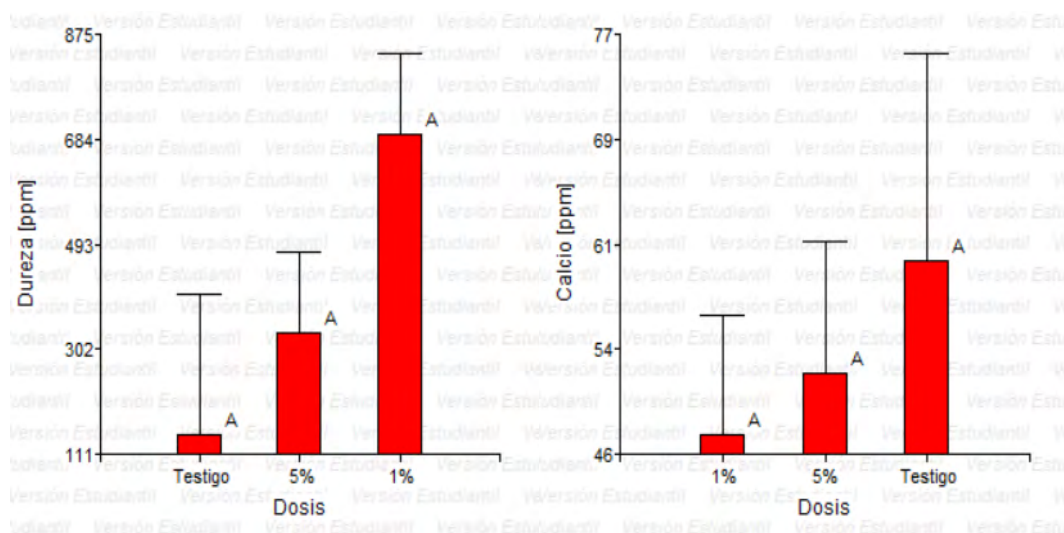


Figura N° 23. Efecto de la dosis de moringa en la dureza (izquierda) y el contenido de calcio (derecha). Se grafica el promedio entre los tres tratamientos con moringa (A y B) y su error estándar para cada parámetro para dos muestras de agua, con un tiempo de 10 minutos de tratamiento. El testigo es la muestra sin tratar. Letras iguales indican la falta de diferencia significativa (en mayúscula). Dureza: test de Tukey; alfa=0,05; F=2,39; DMS=725,95542. Calcio: test de Tukey; alfa=0,05; F=0,27; DMS=44,64254.

Como se puede ver en la Tabla N° 11, los valores disímiles obtenidos en la dureza y calcio con los distintos tratamientos de moringa (A y B), sumado a la falta de repeticiones, no permiten sacar una conclusión clara referida al efecto de la dosis de moringa a emplear. Pese a esto y debido a las tendencias observadas en los resultados obtenidos para el caso del calcio, es que se decidió seguir trabajando con una dosis de 5 % para los siguientes análisis.

Tabla N° 11. Resultados de la determinación de dureza y calcio para una muestra de agua tratada con distintas dosis de moringa. A y B representan distintos tratamientos de moringa hechos a la muestra de agua. El testigo es la muestra sin tratar.

Parámetro	Muestra	Tiempo	Dosis	Testigo	A	B
Dureza [ppm]	Colonia Ensayo	10 min	1%	136	960	660
		10 min	5%	136	202	194
	Feliciano (campo)	10 min	1%	156	1300	904
		10 min	5%	156	624	736
Calcio [ppm]	Colonia Ensayo	10 min	1%	43	34	32
		10 min	5%	43	54	49
	Feliciano (campo)	10 min	1%	77	48	72
		10 min	5%	77	56	80

En cuanto a los tratamientos realizados a las muestras de agua, si bien no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre éstos, los resultados muestran una tendencia favorable hacia el tratamiento A en cuanto a la disminución del contenido calcio en la muestra (Figura N° 24). En cuanto a la dureza, los dos tratamientos provocan un aumento.

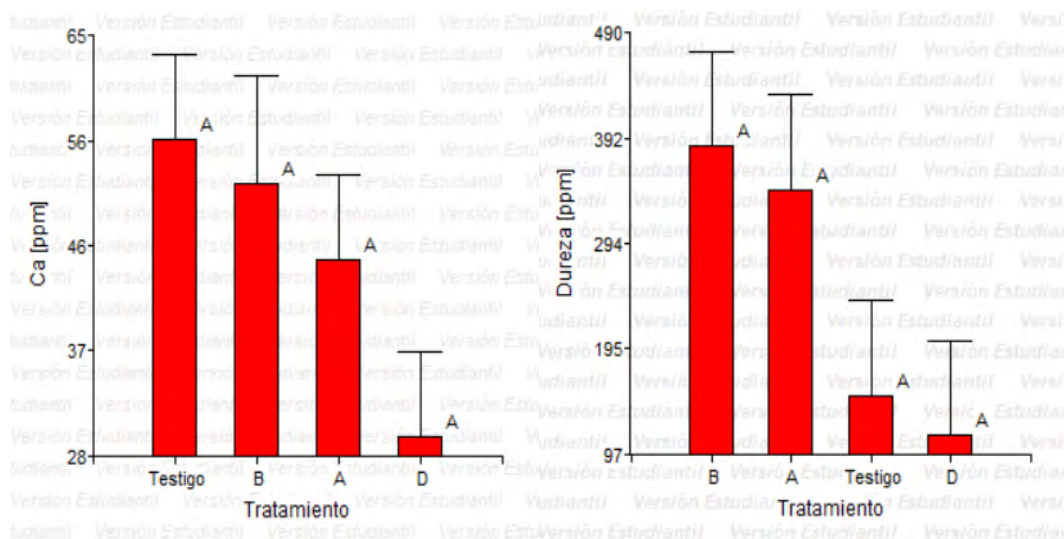


Figura N° 24. Efecto en la dureza (izquierda) y el contenido de calcio (derecha) de distintos procesamientos hechos a la moringa con la que se trataron las muestras de agua. Se grafica el promedio y error estándar (95 % confianza) de los valores obtenidos en las muestras de agua analizada con los dos tratamientos con moringa (A y B). Los tratamientos se realizaron con una dosis de 5 % de moringa y tiempo de contacto de 10 minutos. El testigo es la muestra sin tratar. Letras iguales indican la falta de diferencia significativa. Dureza: test de Tukey; alfa=0,05; F=2,31; DMS=433,76859. Calcio: test de Tukey; alfa=0,05; F=2,33; DMS=41,24210.

A raíz de los resultados, se concluye que es necesario realizar más repeticiones para confirmar estas tendencias en términos estadísticos. Los valores obtenidos para estos parámetros pueden apreciarse en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Resultados de la determinación de dureza y calcio muestras de agua tratadas con moringa con distintos procesamientos (A y B). El testigo es la muestra sin tratar.

Parámetro	Muestra	Tiempo	Dosis	Testigo	A	B
Dureza [ppm]	Colonia Ensayo	10 min	5%	136	202	194
	Feliciano (campo)	10 min	5%	156	624	736
	Feliciano (ciudad)	10 min	5%	165	205	221
Calcio [ppm]	Colonia Ensayo	10 min	5%	43	54	
	Feliciano (campo)	10 min	5%	77	56	80
	Feliciano (ciudad)	10 min	5%	47	25	23

A pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas respecto a las muestras testigo, se observan tendencias favorables para la reducción de los contenidos de calcio en las muestras con un tiempo de contacto de 10 minutos y una dosis del 1 % de moringa con el tratamiento A. Esto es congruente con lo hallado por Capcha Nieto y Cabrera Toledo (2018) y Rondón Macías (2017).

Para el caso de la dureza, también sin diferencias significativas en todas las pruebas hechas, la tendencia de todos los tratamientos es a aumentar sus valores. En este caso, los resultados se contradicen con lo encontrado en Capcha Nieto y Cabrera Toledo (2018) y Rondón Macías (2017).

Debido al carácter exploratorio de estos experimentos y a pesar de la necesidad de realizar repeticiones, estos datos sirven para orientar los esfuerzos de próximos trabajos, que deberán confirmar estas tendencias y pueden conducir a resultados interesantes para la reducción del calcio en muestras de agua superficial.

6.4.2.4. Resultados alcanzados en las determinaciones de alcalinidad y discusión

La alcalinidad se evaluó mediante el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^{1-}) medidos en ppm de CaCO_3 . Las muestras extraídas de Feliciano (campo) y Colonia Ensayo presentaban inicialmente un contenido de CO_3^{2-} de 32 y 73 ppm, respectivamente. Luego de aplicar los tres tratamientos con polvo de semillas de *Moringa oleifera*, no se halló este ion en las muestras tratadas. Esto permite inferir que los tres tratamientos aplicados eliminaron todo el carbonato presente en las muestras de agua.

Los resultados obtenidos en la determinación de HCO_3^{1-} muestran que no existe una disminución de este parámetro, el cual inicialmente mostró valores de 558, 461 y 513 mg/L en aguas de Feliciano (campo), Colonia Ensayo y Feliciano (ciudad), respectivamente. Por el contrario, en algunos casos se produjo un incremento de este ion en el agua tratada. En base a estos datos, la *Moringa oleifera* no mejoraría los valores de alcalinidad de agua subterránea, lo cual coincide en parte con lo expresado por Arreola y Canepa (2013), quienes encontraron que al tratar el agua subterránea con *Moringa oleifera* no se modificaba la alcalinidad, y lo reportado por Rodríguez et al. (2005), quienes mencionan que la alcalinidad no varía significativamente en función de la dosis de *Moringa oleifera*, la velocidad de agitación y el tiempo de duración de las mismas.

6.4.2.5. Resultados alcanzados en las determinaciones de conductividad (cw) y discusión

Al evaluar los efectos de los diferentes tratamientos en la conductividad de aguas subterráneas de Feliciano (campo), Colonia Ensayo y Feliciano (ciudad) se pudo observar que, en todos los casos, la *Moringa oleifera* incrementó los valores de este parámetro, independientemente de la dosis y tiempos de exposición utilizados. Este efecto negativo no es coincidente con la leve disminución de conductividad eléctrica que hallaron Cañari Porras y Leon Lopez (2022) en aguas subterráneas.

Tabla N° 13. Se muestran los resultados hallados para alcalinidad luego de aplicar los tratamientos A, B y C con las dosis y tiempos de contacto detallados previamente:

Concentración	Tiempo	Origen muestra	Tratamiento	CO3 ppm	HCO3 ppm	CW
			Testigo	32	558	3000
1%	10 min	Feliciano (campo)	A	0	550	3000
			B	0	558	3000
			C	0	552	3000

1%	2 horas	Feliciano (campo) B C	A	0	492	3000
			0	568	3000	
			0	558	3000	
5%	10 min	Feliciano (campo) B C	A	0	546	3000
			0	542	3500	
			0	570	3500	
5%	2 horas	Feliciano (campo) B C	A	0	355	4000
			0	561	3300	
			0	572	3600	

Concentración	Tiempo	Lugar	Tratamiento	CO3 ppm	HCO3 ppm	CW
			Testigo	73	461	1100
1%	10 min	Colonia Ensayo	A	0	497	1300
			B	0	517	1150
			C	0	525	1450
			A	0	507	1100
5%	10 min	Colonia Ensayo	B	0	553	2000
			C	0	561	2000
5%	2 horas	Colonia Ensayo	A	0	541	2000
			B	0	533	2000
			C	0	517	2000
5%	10min	Colonia Ensayo	A	0	481	1900
			B	0	521	1950
			C	0	550	1950
5%	2 horas	Colonia Ensayo	A	0	461	1525
			B	0	497	1650
			C	0	517	1700
5%	2 horas	Colonia Ensayo	A	0	525	2000
			B	0	507	1900
			C	0	553	1900

Concentración	Tiempo	Lugar	Tratamiento	CO3 ppm	HCO3 ppm	CW
			Testigo	0	513	1870
1%	10 min	Feliciano (ciudad)	A	0	507	2500
			B	0	501	2500
			C	0	513	2700

5%	10 min	Feliciano (ciudad)	A	0	502	3000
			B	0	550	2900
			C	0	550	3100
1%	2 horas	Feliciano (ciudad)	A	0	497	2700
			B	0	489	2700
			C	0	507	2800
5%	2 horas	Feliciano (ciudad)	A	0	513	3000
			B	0	507	29000
			C	0	501	3100

6.4.3. Apartado III: Aguas residuales

6.4.3.1. Metodología de evaluación de aguas residuales

Uno de los grandes desafíos que presenta hoy la producción e industrialización láctea es el tratamiento de sus efluentes. Más específicamente, su tratamiento con sistemas eficientes, de bajo impacto ambiental y económicos.

En el presente proyecto se trabajó con agua residual del efluente de una industria láctea en sus diferentes etapas de tratamiento (M1=laguna anaeróbica, M2=primera laguna facultativa y M3=segunda laguna facultativa) y agua de lavado de corral de espera en un galpón de un tambo estabulado (MT), con el objeto de determinar si el extracto de *Moringa oleifera* con tratamiento A (polvo de semilla con cáscara y con aceite) y B (polvo de semilla sin cáscara y con aceite) produciría efecto en la reducción de coliformes totales.

Se realizó el análisis microbiológico de los sitios evaluados de manera previa y posterior a la aplicación de los tratamientos.

Se utilizó la técnica del número del Número Más Probable (9221 B APHA, 1992), utilizando como medio de cultivo caldo Mack Conkey doble concentración con campanas Durham, en baterías de tubos 5-1-1. Inicialmente, se procedió a sembrar la muestra tal cual (TC) a fin de determinar las diluciones de trabajo.

Luego de la siembra, los tubos fueron incubados a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, durante 48 hs. Para la lectura de los resultados, se consideró que un tubo presentaba crecimiento de coliformes si se observaba producción de gas (al menos en un 10 %) y cambio de color del medio. Los resultados se expresaron como NMP/100 ml de agua.

6.4.3.2. Resultados del tratamiento del agua de lavado de corral de espera de un tambo estabulado (MT) y discusión

Para este caso, se trabajó con diluciones de hasta 10^{-8} , dado que la procedencia de la muestra tenía una alta carga de materia fecal bovina. Se sembraron las diluciones desde 10^{-5} hasta 10^{-8} , presentando los siguientes resultados para los distintos tratamientos:

Muestra TC: $150 \cdot 10^6$ NMP de coliformes totales/100 ml

Muestra con tratamiento A: $500 \cdot 10^5$ NMP de coliformes totales/100 ml

Muestra con tratamiento B: $70 \cdot 10^4$ NMP de coliformes totales/ 100 ml

De los resultados podemos inferir que el tratamiento B resultó significativo en la reducción de bacterias coliformes.

6.4.3.3. Resultados del tratamiento de efluentes de una industria láctea en sus diferentes piletas de tratamiento (M1, M2 y M3) y discusión

Para el caso M1 se realizaron diluciones de la muestra tal cual (TC) hasta 10^{-7} , sembrando solamente $10^{-5}/10^{-7}$, y para los casos de los tratamientos de M2 y M3 la muestra tal cual se trabajó hasta la dilución 10^{-6} , sembrando desde 10^{-4} hasta 10^{-6} .

- M1 con tratamiento A se sembró de 10^{-2} hasta 10^{-4} y con tratamiento B 10^{-1} hasta 10^{-3} .
- M2 con tratamiento A se sembró 10^{-2} hasta 10^{-4} y con tratamiento B 10^{-1} hasta 10^{-3} .
- M3 con tratamiento A se sembró 10^{-3} hasta 10^{-5} y con tratamiento B 10^{-2} hasta 10^{-4} .

Los resultados fueron los siguientes según muestra y tratamiento:

- M1 TC: $40 \cdot 10^5$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M1 con tratamiento A: $1100 \cdot 10^2$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M1 con tratamiento B: $1100 \cdot 10^1$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M2 TC: $4 \cdot 10^4$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M2 con tratamiento A: $21 \cdot 10^2$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M2 con tratamiento B: $1100 \cdot 10^1$ de coliformes totales/100ml de muestra.
- M3 TC: $4 \cdot 10^4$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M3 con tratamiento A: $40 \cdot 10^3$ NMP de coliformes totales /100 ml de muestra.
- M3 con tratamiento B: $90 \cdot 10^2$ de coliformes totales/100ml de muestra.

Con estos resultados podemos inferir que el tratamiento B resultó más eficiente en la reducción de bacterias coliformes en las tres piletas (Figura N° 25), lo cual se condice con lo dicho por Hernández Bojorge et al. (2016).



Figura N° 25. Sitios de muestreo: M1 (izquierda), M3 (centro) y M3 (derecha).

7. Conclusiones

7.1. Contenido de aceite y proteínas de las semillas de *M. oleifera*

El contenido de aceite de las semillas es algo superior en las procedentes de la provincia de Misiones (40,0 – 40,9 %), mientras que las de Paraná presentaron valores levemente inferiores (36,2 – 37,4 %). Además, se analizaron los contenidos en proteínas de diferentes componentes: de semillas maduras (32,95 a 38,70 %); semillas inmaduras (35,6 %), cáscaras (12 %) y cápsulas (8,65 %), lo que brinda información desconocida para las producciones en nuestro país y ofrece resultados satisfactorios en cuanto a la calidad de las mismas para su uso en la alimentación humana y animal.

7.2. Conclusiones en aguas superficiales

La dosis utilizada para la remoción de la turbidez para los diferentes tratamientos varió desde 50 mg/L a 300 mg/L, logrando disminuciones en la turbidez del 91 % al 98 % con valores iniciales de 277 NTU y un menor efecto en aguas con menos de 50 NTU. El tratamiento B (semillas sin cáscara y con aceite) es el de mejor comportamiento en aguas con más de 50 NTU. En aguas con escasa turbidez, al tratarlas puede suceder el efecto contrario, donde las partículas coloidales de efecto coagulante de *Moringa oleifera* no encuentren superficie adherente. Por lo cual deben hallarse las dosis adecuadas para estos bajos niveles de turbidez.

7.3. Conclusiones en aguas subterráneas

Los datos analizados muestran que el polvo de semillas de *Moringa oleifera* agregado a aguas subterráneas en una concentración de 1 y 5 %, ya sea con 10 o 120 minutos, eliminó el carbonato de las muestras tratadas con todos los tratamientos utilizados, al tiempo que, para el caso de las muestras provenientes de Feliciano (ciudad) con un valor inicial alto, se disminuyó el contenido de As en un 70 a 86 % con los tratamientos A y B, respectivamente. Para el caso de las muestras provenientes de Colonia Ensayo, la disminución fue inferior para ambos tratamientos. Con respecto al tratamiento C para las muestras de ambas procedencias, la disminución fue cercana al 50 %. Por otra parte, se observó una leve disminución en la concentración de calcio, la cual fue más marcada en el tratamiento A. No se observaron mejoras en los parámetros conductividad, bicarbonatos y dureza. Respecto a éstos últimos, mostraron un comportamiento disímil y sin una tendencia clara, presentando en algunos casos aumentos en su concentración en muestras tratadas. Por lo expuesto es que se requiere continuar con la investigación a fin de confirmar estos resultados, más aún con los parámetros que mostraron respuestas positivas.

Respecto de los tratamientos, no se evidenció una tendencia clara que permita recomendar un tratamiento por sobre los demás. En este sentido, sería recomendable continuar con las pruebas para cada parámetro.

7.4. Conclusiones en aguas residuales

Los resultados obtenidos sirven de base para continuar con la investigación, no sólo de coliformes totales sino también de algunos microorganismos específicos. Se recomienda utilizar el tratamiento B, ya que es el que mejor resultados mostró en todos los tratamientos realizados, tanto en aguas superficiales como residuales.

Indicadores de producción

PUBLICACIONES con Referato

2023 Pretti, Joaquín; Dragan, Analía N.; Gieco, Adriana M. Ormaechea, M. Valeria; Silvana R. Spizzo; Vallecillo, Silvia M. Semillas de Moringa oleífera en la clarificación de aguas superficiales (JJI-AUGM 2023 – Compendio de resúmenes). https://jji2023.una.py/wp-content/uploads/2023/10/COMPENDIO_Resumenes_JJI-AUGM.pdf

2023 Determinación del contenido de aceite y proteína de semillas de Moringa oleífera *Revista Científica Agropecuaria en proceso de evaluación.*

ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN REALIZADAS

Inexa 2022: “Determinación de la dosis de semilla de Moringa oleífera para la eliminación de la turbidez del agua del río Paraná.

PRESENTACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES

2021 XXVIII Jornada de Jóvenes Investigadores. Universidad de Santiago de Chile. Determinación de la dosis de semilla de Moringa oleífera (Moringaceae) como clarificante en aguas superficiales.

2023 Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica y de la Innovación (ALTEC) y Presidenta del Comité Organizador del XX Congreso ALTEC 2023. Semillas de Moringa oleífera en la clarificación de aguas superficiales”. Trabajo completo aprobado. Septiembre 2023.

2023 Ormaechea, M. Valeria. - Silvana R. Spizzo. Asistencia al V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, Argentina y Ambiente 2023 (AA2023) y 4° Simposio Iberoamericano de Adsorción n (IBA-4), llevado a cabo de forma presencial del 3 al 5 de mayo de 2023 en Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.

Bibliografía

Aguilar Díaz, H. R. (2019). *Utilización de la Moringa oleífera como coagulante para la remoción de arsénico en el agua de los pozos del centro poblado Cruz del Medano del Distrito de Mórrope, 2018* [Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo].

Álvarez Mena, A. B. (2017). *Valor nutricional de la Moringa oleífera. Mito o Realidad. Sistematización de experiencias prácticas de investigación e intervención.* [Tesis de ingeniería, Universidad San Francisco de Quito.] <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6465/1/131761.pdf>

APHA (1992). *Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales* (17ª ed.). Madrid: Editorial Díaz de Santos S.A.

Arreola, M. M. S. y Canepa, J. R. L. (2013). *Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales.* *Ingeniería*, 17(2), 93-101.

Cañari Porras, A. S. y León López, K. N. (2022). *Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (Moringa oleífera) y (Opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la Quebrada Huaycoloro.* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33816>

Falasca, Silvia & Bernabé, María A. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de Moringa oleífera en Argentina. *Revista Virtual de REDESMA*. p. 1. [En línea]. <http://revistavirt.ual.redesma.org/vol3/pdf/investigacion/Moringa.pdf>. [Consultado en febrero de 2010]. 2008

- Fernández Cirelli, A.; Perez Carrera, A. L.; A V Volpedo. 2013. La calidad de agua como factor clave en la producción animal. El agua en la producción agropecuaria. Lugar: Buenos Aires;
- Garavito, U. (2008). Corporación Ecológica Agroganadera SA. *Colombia Moringa Oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel.*
- Hernández Bojorge, S., Cawich, Z. N., Gómez Lejarza, M. y González Moncada, C. (2016). Eficacia de la semilla de *Moringa oleífera* en el aclaramiento del agua. *Revista Universidad y Ciencia*, 9(14), 31-44.
- Hernández Sánchez, M. H., Zamora, H. R., Bolaños, G. V., Estrada, F. C., De Torres, B. B. y Palacios, D. J. (2018). Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleífera Lam.*) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano. *Revista Agrociencia*, 2(07), 32-42.
- Herrero, M.A., Iramain, M.S., Korol, S., Buffoni, H., Flores, M., Poli, M., Maldonado May, V., Sardi, G. y Fortunato, M.S. 2002. Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de Abasto Sur, Buenos aires (Argentina) REV. ARG.PROD. ANIM. VOL 22 N° 1.
- Isaurralde, R., Gieco, A., Vallecillo, M. y Lezana, L. (2018). *Evaluación distanciamiento y productividad primaria de Moringa oleifera con fertilización inorgánica.* [Informe Final aprobado].
- Mejia Carrillo, P. W., Urquia Collantes, K., Cabello Torres, R. J. y Valdiviezo Gonzalez, L. G. (2020). Evaluation of *Moringa oleifera* in the water treatment with high turbidity and organic. *Ingeniería del agua*, 24(2), 119-127. <https://doi.org/10.4995/la.2020.12274>
- Moringa oleifera Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa oleífera* como coagulante en la potabilización de las aguas. *Scientific Journal from the Experimental Faculty of Sciences*, 8(2), 235-242. <http://www.elaguapotable.com/Uso%20de%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf>
- Muyibi, S. A. y Okuofu, C. A. (1995) Coagulación de aguas superficiales de baja turbidez con semillas de *Moringa oleifera*. *Revista Internacional de Estudios Ambientales*, 48, 263-273. <http://dx.doi.org/10.1080/00207239508710996>
- Nuñez Ponce, E. (2007). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras.* Ed. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano.* (4ª ed.). Ginebra.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J. G. y Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 799-805.
- Redolfi, Natalia. 2016. Prospectiva tecnológica al 2025 en el uso del agua en la producción de alimentos. Análisis Tecnológicos y Prospectivos Sectoriales. Secretaría de Planeamiento y Políticas. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Residencia de la Nación.
- Richard N. Bennett, Fred A. Mellon, Nikolaus Foidl, John H. Pratt, M. Susan Dupont, Lionel Perkins y Paul A. Kroon *Revista de Química Agrícola y Alimentaria* **2003** 51 (12), 3546-3553
- Rodríguez, S., Muñoz, R., García, O. y Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36.

- Soliman, A., Muyibi, S. A. y Okuofu, C. (1995). Coagulación de aguas superficiales de baja turbidez con semillas de *Moringa oleifera*. *Revista Internacional de Estudios Ambientales*, 48 (3-4), 263-273.
- Vallecillo, M., Gieco, A., Isaurralde, R., Lezana, L. y Sánchez, L. (2018). *Evaluación de la producción de semillas de Moringa oleifera en Paraná, provincia de Entre Ríos*. [PID NOVEL UNER 2180s].
- Zhao, S. y Zhang, D. (2013). Supercritical fluid extraction and characterisation of *Moringa oleifera* leaves oil. *Separation and Purification Technology*, 118, 497-502.

PID 2117 Denominación del Proyecto

Evaluación de la capacidad de mejora de parámetros de calidad de aguas superficiales, subterráneas y residuales mediante el uso de semillas de moringa oleifera

Directora

VALLECILLO, Silvia Mónica

Codirectora:

ORMAECHEA, María Valeria

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Contacto

monica.vallecillo@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

“Química General” “Química Analítica” “Química Orgánica” Departamento Ciencias Básicas. “Bovinos de Leche” Departamento Producción Animal.

Integrantes del proyecto

Integrantes docentes: DRAGAN Analía Noemí; SPIZZO, Silvana Raquel; TROSSERO, Julia A; MUGHERLI BOHL, Francisco; DELLA GIUSTINA, Zandra; PERUSSET, Andrés

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

9/07/2019 y 31/07/2023

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 380/23 (19/10/2023)