

La *Moringa oleifera*, un recurso agrosostenible para la potabilización de aguas

Optimización de la extracción del agente coagulante

Resumen

Las semillas de *Moringa oleifera* pueden ser utilizadas para la obtención de agentes de tratamiento de aguas potables, principalmente en países en vías de desarrollo. El proceso de extracción del coagulante se ha sometido a estudio para su caracterización y optimización, así como la estabilidad con el tiempo de las propiedades del extracto. El producto coagulante es plenamente satisfactorio cuando se ha obtenido mediante un proceso a temperatura ambiente, pH 7, agitación magnética de 30 minutos y con una concentración de cloruro sódico de 1 M. No existen diferencias significativas entre la extracción de semilla con y sin cáscara. Las propiedades de coagulación-floculación de la *Moringa oleifera* son bastante estables para períodos de hasta un mes de almacenamiento. La reducción de la eficacia, en 30 días, es de alrededor del 20%.

Jorge
Sánchez Martín

Departamento de Ingeniería
Química y Química Física
Universidad de Extremadura

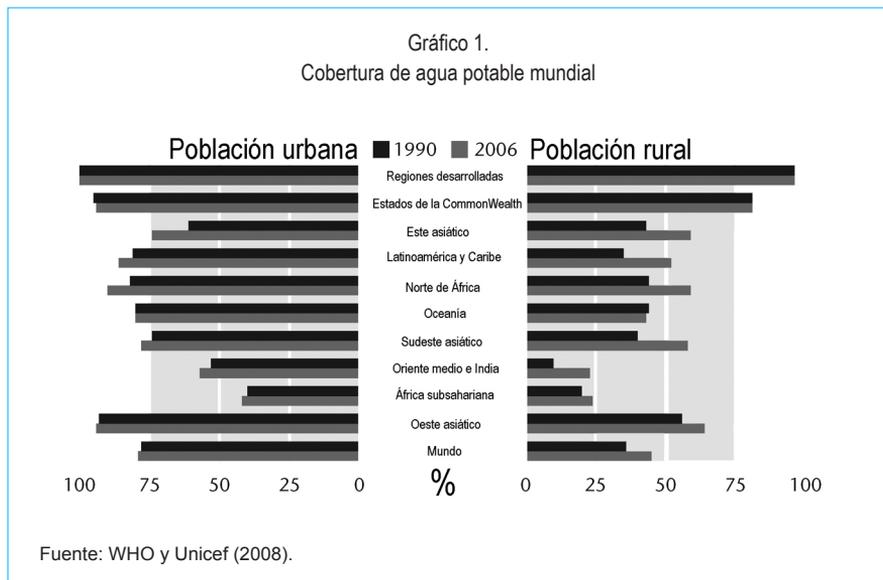
Jesús Beltrán
de Heredia Alonso

1. Introducción

Investigar en agua, potable o residual, es una prioridad en la coyuntura global en la que vivimos. La disponibilidad de agua potable, o en condiciones adecuadas para la higiene personal, abastecimiento del ganado, riego u otros usos consuntivos, constituye una cuestión de vital importancia a la que se debe dedicar el tiempo y el esfuerzo necesarios, que pueden ser aportados desde la investigación y la concienciación de que el agua es un bien escaso e imprescindible (REES, 2009)

Las relaciones entre la carencia de agua y los índices de desarrollo son evidentes, de manera que se establece un vínculo directo entre la posibilidad de un abastecimiento de agua de calidad y el nivel de desarrollo humano de una zona. En palabras sencillas, la carencia de agua se concreta en tres dimensiones diferentes pero complementarias: a) escasez de agua que imposibilita o dificulta el desarrollo de actividades económicas básicas; b) escasez de agua que dificulta el acceso universal a los servicios básicos; y c) escasez de agua que deviene en situaciones de alta morbi-mortalidad, tales como las que se producen cuando sobrevienen epidemias.

El cuidado de los recursos hídricos se realiza atendiendo a tres dimensiones fundamentales: la depuración de las aguas residuales, la potabilización de las aguas destinadas al consumo humano y la *remediación* de los efluentes contaminados. Tanto en el aspecto del desarrollo como en la sostenibilidad ambiental, el agua constituye un tema transversal que debe ser contemplado como clave para propiciar un modelo de desarrollo sostenible de las comunidades (Diagrama 1).



La cobertura de aguas potables es un indicador básico para medir el nivel de desarrollo de una zona. Los *Objetivos de Desarrollo del Milenio* contemplan la disponibilidad de agua potable por cuanto afecta a la reducción de la pobreza extrema, la educación y la paridad de sexo, la salud y el medio ambiente (Naciones Unidas, 2000). Y en esto la brecha Norte-Sur también es muy evidente, a juzgar por los datos que muestra el Gráfico 1.

Como se aprecia claramente, la diferencia entre las zonas desarrolladas, cuya cobertura en zona urbana y rural roza el 100%, y las regiones más deprimidas de planeta, con una cobertura mucho menor en la mayoría de los casos y con grandes desequilibrios entre zonas urbanas y rurales, es más que manifiesta.

Para la producción de aguas potables es necesaria la aplicación de diversas fases de tratamiento. Una de ellas, quizá de las más importantes, es la retirada de la materia en suspensión presente en el agua. La retirada de turbidez muchas veces conlleva la eliminación de otro tipo de impurezas asociadas, como gran parte de microorganismos adsorbidos en las partículas coloidales y materia orgánica disuelta, metales pesados, etc. Para llevar a cabo la clarificación de aguas se utilizan los procesos de coagulación y floculación de la materia suspendida. Muchos productos comerciales desestabilizan la suspensión de coloides de las aguas y provocan la coagulación, floculación y posterior sedimentación. Algunos de ellos son las sales de hierro y de aluminio con actividad floculante. En todos estos casos, los productos utilizados son caros y difíciles de conseguir en países en vías de desarrollo, especialmente en las zonas rurales y aisladas, con lo que se hace necesaria la implementación de otros sistemas de coagulación-floculación que sean sostenibles, tanto por la disponibilidad de los reactivos como por la sencillez de mantenimiento y operación (Dorf, 2001).

Los coagulantes naturales son sustancias con capacidad para retirar toda o gran parte de la materia suspendida y coloidal de las aguas. Su empleo en países en vías de desarrollo proporciona muchas ventajas: 1) ofrecen una disponibilidad inmediata, al producirse directamente en las zonas de consumo; 2) su empleo no presenta una dificultad técnica elevada, lo cual los hace fácilmente utilizables por población no especialmente cualificada; 3) son biodegradables, no añaden propiedades no deseadas al agua que haya que retirar en fases posteriores de tratamiento; y 4) las dosis que se emplean son sensiblemente inferiores a las necesarias con coagulantes y floculantes industriales. Todos estos condicionantes hacen interesante el estudio y la investigación sobre estos productos a fin de

caracterizar y optimizar su empleo, sobre todo en lugares donde la disponibilidad de agua potable en condiciones y cantidades adecuadas venga determinada por la posibilidad de un tratamiento sencillo y eficaz (Olsen, 1985).

La *Moringa oleifera* es un árbol tropical del género de las *Moringaceae*. Es originaria de los valles subhimalayos, y se encuentra distribuida actualmente por todo el mundo, en los trópicos y subtropicos. Las propiedades de esta planta son muy variadas, desde la alimentación humana y animal (Richter *et al.*, 2003) hasta la explotación cosmética (Fuglie, 2001). Es significativa la ingente cantidad de aplicaciones en el campo del tratamiento de aguas, ya sea como activador de procesos anaerobios (Kalogo *et al.*, 2000 y 2001) o como materia prima para carbones activados (Pollard *et al.*, 1995; Warhurst *et al.*, 1997a, b y c)

Como agente coagulante han sido varias las investigaciones que se han llevado a cabo.

Las semillas de *Moringa oleifera* poseen gran cantidad de materia proteínica. Alrededor de un 1% de estas proteínas son polielectrolitos catiónicos activos, con pesos moleculares de entre 7 y 17 K Dalton. La determinación exhaustiva de la naturaleza del agente coagulante ha sido objeto de estudio previo (Gassenschmidt *et al.*, 1995). Las proteínas causantes de la desestabilización de los coloides y de su retirada por sedimentación son aquellas que se comportan como polielectrolitos catiónicos y que neutralizan las materias suspendidas, puesto que la mayoría de ellos tienen carga negativa.

La extracción en agua de principios proteínicos de sus semillas y su posterior empleo como coagulante/floculante natural también ha sido objeto de estudio (Okuda *et al.*, 1999). Se han propuesto sistemas diferentes de extracción, como el lavado en acetona fría, redisolución en tampón de amonio e intercambio iónico (Okuda *et al.*, 2001), aunque el encarecimiento del producto final debido a estas operaciones intermedias es considerable.

Existen algunos estudios más sobre el ensayo de floculación (Muyibi y Evison, 1995; Ndabigengesere y Narasiah, 1996; 1998a y b) aproximándose tanto al tratamiento de aguas potables como, en algún caso, al de aguas residuales.

Las conclusiones de todas las investigaciones anteriores confirman la utilidad de la *Moringa oleifera* como agente coagulante natural, si bien existen aspectos que no están cubiertos por los estudios previos. Son, por tanto, objeto del presente trabajo:

a) realizar un estudio integral de las condiciones de extracción de las semillas de *Moringa oleifera* para determinar aquellas óptimas que permitan maximizar el rendimiento del proceso de coagulación/floculación en aguas superficiales; b) estudiar la estabilidad del extracto en el tiempo y con las condiciones de almacenamiento; c) realizar estudios sobre agua de río (superficial), no artificial; y d) Completar aspectos no contemplados anteriormente de la extracción, como son el tipo de agitación, el tiempo de agitación, la influencia de la cáscara en la molienda, etc.

2. Materiales y métodos

2.1. Preparación del extracto de *Moringa oleifera*

Las semillas se adquirieron a SETROPA, Holanda. La extracción se lleva a cabo de la siguiente manera: se reduce a polvo una cierta cantidad de semilla, con la ayuda de un molinillo doméstico. Se prepara una disolución de cierta concentración de cloruro sódico y se añade la cantidad de polvo de semilla necesaria para obtener el extracto de la concentración a estudiar. La mezcla de disolución salina y polvo de *Moringa oleifera* se agita a temperatura y pH concretos durante un tiempo. Posteriormente, se filtra dos veces, primero en un equipo de filtración grosera consistente en un papel de filtro sostenido en embudo Büchner; y después en uno de filtración fina de *millipore*, con papel de 0,45 μm . El resultado es un líquido claro de aspecto lechoso, con poca diferencia aparente entre el extracto de la semilla con cáscara y sin ella.

2.2. Ensayo de floculación

El tratamiento se lleva a cabo según normalización del ensayo Jar Test (Mcconnachie *et al.*, 1999). Se introduce 1 L de agua turbia recogida del río Guadiana a su paso por Badajoz, a la que previamente se ha medido su turbidez, en un vaso de precipitados. Se le añade la dosis deseada de extracto de *Moringa oleifera* y se coloca en el *Jart Test* de VELP SCIENTIFICA JLT4, que se programa a 2 minutos y 100 rpm de agitación. Concluida la primera etapa, se reprograma el aparato a 20 minutos y 30 rpm de agitación. Una vez pasado este tiempo, se deja reposar, aún en el vaso, el agua con la dosis. Transcurrido un tiempo estándar de 1 hora, se puede tomar la muestra de la turbidez final a 3 cm de la superficie del líquido, en el centro del vaso. La turbidez se determinó con un turbidímetro Hanna HI93703.

2.3. Ensayo de estabilidad

Para medir la estabilidad del extracto, se realizó una extracción estándar a 1 M de cloruro sódico, 30 minutos de agitación magnética, 5% de semillas de *Moringa oleifera* (p/p), pH 7 y 20 °C. Se separaron tres fracciones: una para mantener a temperatura ambiente (entre 15 y 20 °C), otra para guardar refrigerada en frigorífico (entre 4 y 8 °C) y una última para conservar en congelador (menos de -20 °C). Se realizaron ensayos de tratamiento, a dosis de 1 mL·L⁻¹ y 2,5 mL·L⁻¹ durante 62 días, y se estudió la variación de la eficacia del proceso de floculación. El parámetro de referencia fue la turbidez.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de agua de partida

En esta investigación se ha optado por trabajar con aguas reales, obtenidas del río Guadiana a su paso por Badajoz. Se pretende con esta decisión acometer el problema del tratamiento de aguas potables desde una perspectiva lo más real posible, evitando por tanto la simulación de aguas turbias con diferentes agentes químico-físicos, como el caolín (Ghebremichael, 2004). El agua recogida del río se sometía a tratamiento en el mismo día de su toma. Las características de este agua vienen referidas en la Tabla 1.

Tabla 1.
Caracterización química del agua de partida

Parámetro	Unidades	Valor
Conductividad	S·cm ⁻¹	400
Sólidos en suspensión	mg·L ⁻¹	15
Sólidos totales	mg·L ⁻¹	452
Calcio	mg·L ⁻¹ de Ca ²⁺	37,7
Dureza	mg·L ⁻¹ de CaCO ₃	152
Nitrógeno amoniacal	mg·L ⁻¹ de N-NH ₄ ⁺	0,7
Nitrato	mg·L ⁻¹ de NO ₃ ⁻	0,4
Cloruro	mg·L ⁻¹ de Cl ⁻	40,4
Oxidabilidad al KMnO ₄	mg·L ⁻¹ de O ₂	19,3
Turbidez	NTU	123,3
Coliformes totales	Colonias/100 mL	800
Coliformes fecales	Colonias/100 mL	400
Streptococos fecales	Colonias/100 mL	140

3.2. Influencia de la cáscara de la semilla

La operación de molienda puede llevarse a cabo sobre la semilla entera o sólo sobre el núcleo tras la retirada de la cáscara. Este proceso de limpieza de la semilla es un tratamiento previo a la extracción que puede ser útil o no en la medida en que incremente la eficacia de la retirada de turbidez. Se han realizado experimentos que varían las condiciones de extracción entre pH 5 y 9; entre temperaturas de 20 a 60 °C y con agitación magnética o por ultrasonidos. Los Gráficos 2 a 7 muestran la diferencia casi inapreciable de eficacia en retirada de turbidez entre aquellas extracciones con y sin cáscara, sobre todo a dosis de 5 y 10 mL·L⁻¹.

El Gráfico 2 muestra la diferencia entre la eficacia en la retirada de turbidez de extractos obtenidos con cáscara y sin ella. El proceso de extracción ha sido en este caso el estándar, es decir, pH 7, temperatura ambiente (en torno a los 20 °C), agitación magnética durante 30 minutos. Como se ve, apenas hay diferencia entre la extracción con unas semillas y otras.

Los Gráficos 3 y 4 representan el ensayo de extracción a pH 5 y 9, manteniendo el resto de las variables de extracción idénticas a las del ensayo estándar del Gráfico 2. Se puede ver que sigue sin apreciarse una diferencia significativa debida a la presencia o ausencia de cáscara, sobre todo a valores medio-altos de dosis de extracto.

De igual modo, la extracción a diferentes temperaturas (Gráficos 5 y 6) no arroja una desviación significativa entre la eficacia del extracto con y sin cáscara. En el caso del experimento Gráfico 7 tampoco aparecen grandes diferencias. No resulta significativa, por tanto, la influencia de la presencia o no de cáscara. En algunos casos (Gráficos 5, 6 y 7) se aprecia una leve mejoría con la retirada de la cáscara, que puede deberse únicamente al aumento de concentración de los principios proteínicos.

Gráfico 2. Extracción estándar. pH 7, 20 °C, NaCl 1M y agitación magnética

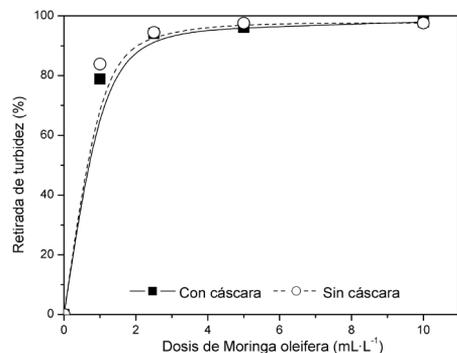


Gráfico 3. Extracción a pH 5, 20 °C, NaCl 1M y agitación magnética

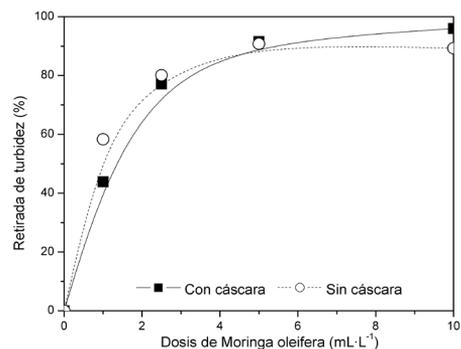


Gráfico 4.
Extracción a pH 9, 20 °C y NaCl 1M

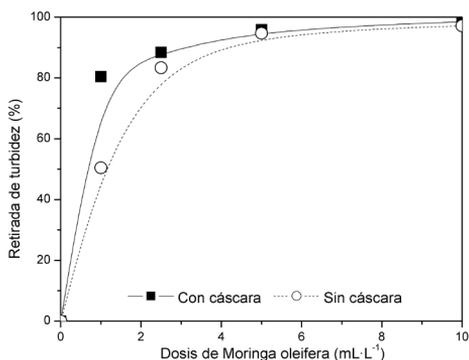


Gráfico 5.
Extracción a 40 °C, pH 7, NaCl 1M y agitación magnética

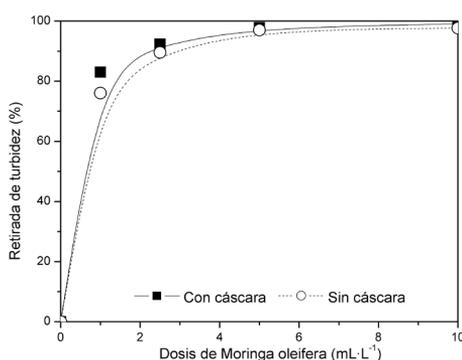


Gráfico 6.
Extracción a 60 °C, pH 7, NaCl 1M y agitación magnética

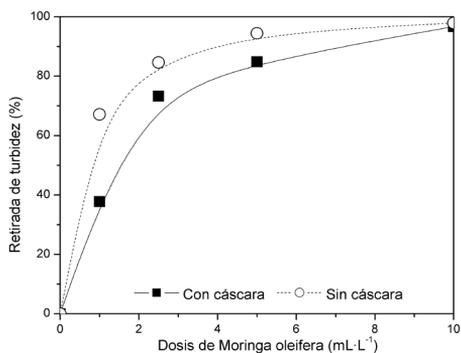
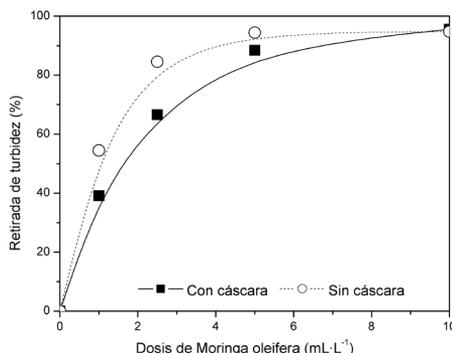


Gráfico 7. Extracción a pH 7, 20 °C, NaCl 1 M y agitación por ultrasonidos



3.3. Influencia de la temperatura, pH y tipo de agitación en función de la presencia o ausencia de cáscara

Para estudiar la influencia que ejercen estas variables sobre el proceso de obtención del extracto, se realizaron series de ensayos modificando la temperatura entre 20 y 60 °C, el pH entre 5 y 9 y el tipo de agitación: magnética o por ultrasonidos. Se combinaron los datos que se mostraron anteriormente en gráficos conjuntos, de modo que se pueda estudiar la influencia real de la temperatura, pH y tipo de agitación.

Gráfico 8.

Influencia de la temperatura en la extracción con cáscara

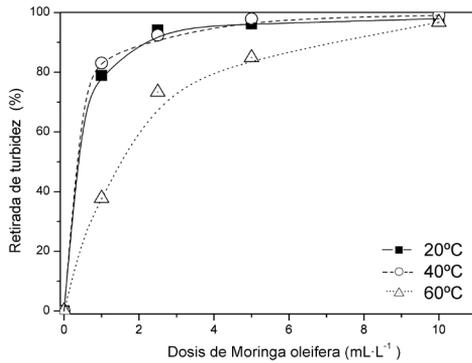


Gráfico 9.

Influencia de la temperatura en la extracción sin cáscara

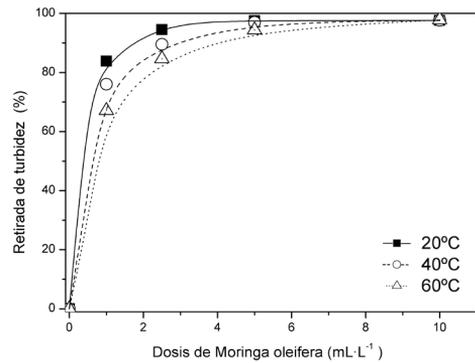


Gráfico 10.

Influencia del pH en la extracción con cáscara

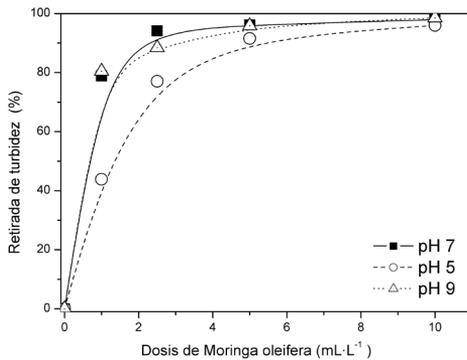
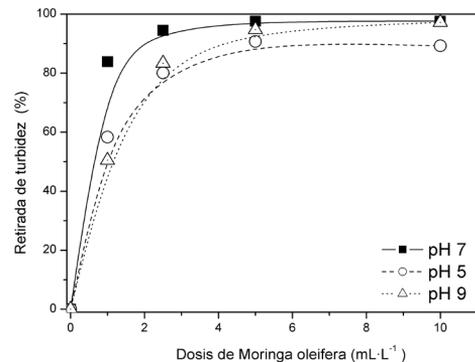


Gráfico 11.

Influencia del pH en la extracción sin cáscara



En los Gráficos 8 y 9 puede observarse la caída en la eficacia del tratamiento según se aumenta la temperatura en el proceso de extracción. Este progresivo descenso puede deberse a la naturaleza proteica del agente coagulante (Broin *et al.*, 2002; Gassenschmidt *et al.*, 1995) que puede sufrir daños en su estructura molecular debido a un aumento de la temperatura de extracción. Esta diferencia se aprecia especialmente en el Gráfico 8, donde hay una gran desviación en la eficacia de tratamiento con una extracción a 20 ó 40 °C y aquel que se llevó a cabo con extracto obtenido a 60 °C.

Gráfico 12. Influencia del modo de agitación en la extracción con cáscara

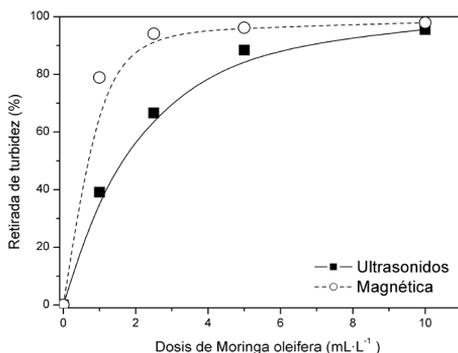
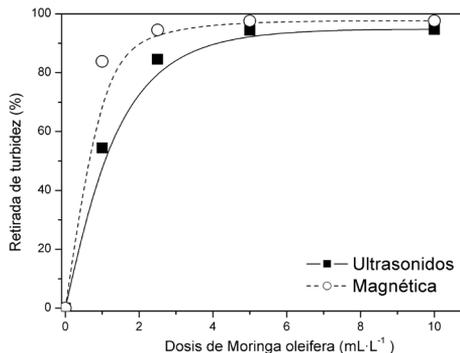


Gráfico 13. Influencia del modo de agitación en la extracción sin cáscara



Este mismo razonamiento es válido al observar la variación de eficacia según se modifica sensiblemente el pH (Gráficos 10 y 11). Tomando, por tanto, los datos de esta comparación, parece razonable recomendar la extracción “estándar”, es decir, a temperatura ambiente, pH 7 y con la semilla entera.

Otro parámetro estudiado fue el modo de agitación, entendido como agitación magnética o por ultrasonidos. Como se aprecia en los Gráficos 12 y 13, la agitación magnética resulta mucho más satisfactoria que la de ultrasonidos. La disolución y extracción del principio activo se desarrolla de tal modo que los ultrasonidos o bien no son eficaces para llevarla a cabo o bien atacan a las cadenas proteicas que componen dicho agente.

3.4. Influencia de la concentración de cloruro sódico

De acuerdo con la bibliografía, el proceso de extracción mejora sensiblemente con el empleo de una disolución extractora de NaCl en lugar de agua destilada o del grifo. Se han realizado ensayos modificando la concentración de NaCl entre 0 y 2,5 M. El Gráfico 14 muestra los resultados de variar la concentración de NaCl.

Se observa que la eficacia del extracto (en tanto por ciento de retirada de turbidez) aumenta con la concentración de NaCl en la disolución extractora. A partir de una concentración de 1 M, no obstante, las dosis superiores a 5 mL·L⁻¹ apenas

si son afectadas por el incremento de NaCl en la disolución. Esto puede ser debido a la presencia de electrolito en el agua, responsable de un aumento del transporte de materia desde el seno de la semilla reducida a polvo a la disolución (Okuda *et al.*, 1999 y 2001) y presenta un límite de efectividad.

3.5. Influencia de la concentración de semilla

Asimismo, se ha estudiado la influencia de la proporción másica entre las fases sólida (semilla) y líquida (disolución acuosa de NaCl). Se ha variado la concentración de semilla en la mezcla previa a la extracción entre 1 y 10% en peso. El Gráfico 15 muestra cómo varía la eficacia del extracto en función de la concentración inicial de *Moringa oleifera*.

Resulta sorprendente que la concentración creciente de *Moringa oleifera* en la mezcla de extracción conlleve una reducción en la eficacia del extracto. Se puede suponer que el bajo porcentaje de proteína con carácter de polielectrolito (Okuda *et al.*, 2001) permita una elevación de otros compuestos que, en cantidades mayores a las recomendadas, dificultan el proceso de floculación. A dosis relativamente altas de extracto (a partir de 10 mL·L⁻¹) las diferencias en concentraciones pequeñas de *Moringa oleifera* son mínimas.

3.6. Influencia del tiempo de agitación

Se ha variado también el tiempo de extracción de la semilla, es decir, el tiempo que la mezcla de semilla molida y disolución salina permanece en agitación. Se han realizado ensayos modificando este tiempo entre 10 y 60 minutos. Se

Gráfico 14. Influencia de la concentración de NaCl en la disolución extractora

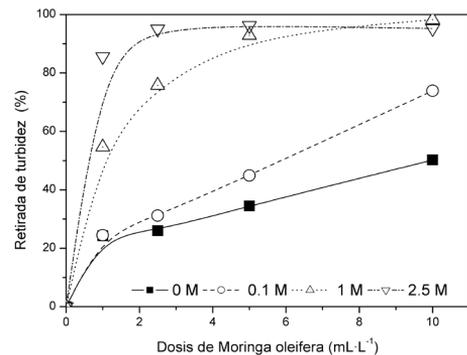


Gráfico 15. Influencia de la concentración de *Moringa oleifera* en el extracto

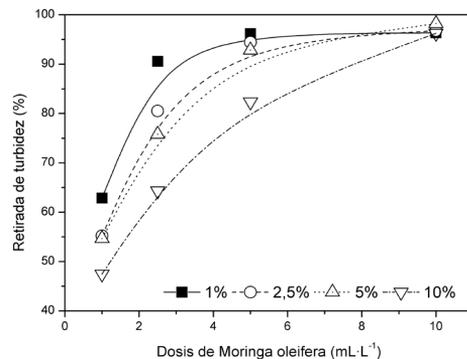
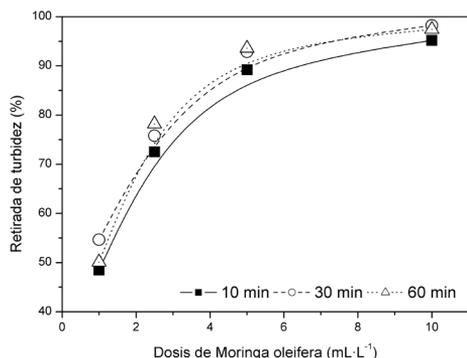


Gráfico 16. Influencia del tiempo de agitación en la extracción



han comparado los resultados obtenidos con los de la extracción estándar a 30 minutos de agitación. Gráficamente, esta comparativa se muestra en el Gráfico 16.

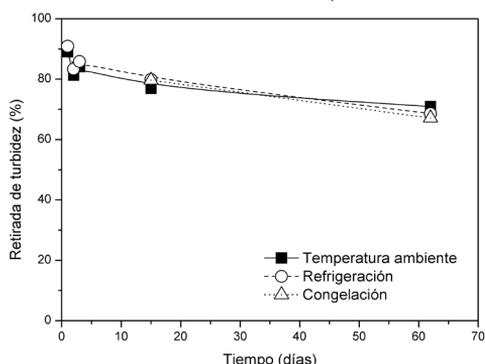
Es evidente que un mayor tiempo de extracción conlleva una mejora en la eficacia de la floculación posterior. Por este motivo, la extracción a 10 minutos es levemente menos eficaz que las dos extracciones a tiempos mayores. Sin embargo, como puede observarse, no hay una mejora significativa entre la extracción a 30 minutos y a 60 minutos.

3.7. Estabilidad con el tiempo

El propio concepto de sostenibilidad y de disponibilidad del agente purificador del agua apunta a la necesidad del estudio de la estabilidad del extracto con el tiempo, a fin de determinar la caída de efectividad del mismo, tanto para las pruebas que se llevan a cabo a escala de laboratorio como para la implementación a escala de planta piloto.

Como se refiere en la Sección 2, el estudio de la estabilidad del extracto se realizó con tres condiciones de almacenamiento: a temperatura ambiente, refrigerado y congelado.

Gráfico 17. Estabilidad del extracto: pérdida de eficacia frente a tiempo



El estudio se llevó a cabo durante 62 días de almacenamiento, y sus resultados vienen reflejados en el Gráfico 17.

Se aprecia que la caída de eficacia es bastante lenta, de manera que incluso un mes después de haber realizado la extracción, el extracto continúa ofreciendo un aceptable resultado en el ensayo de floculación. Además, no se aprecia una diferencia notable entre las condiciones de conservación de la muestra, de manera que, a efectos prácticos, el deterioro del extracto es casi inapreciable.

4. Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas de esta investigación son las siguientes:

1. La *Moringa oleifera* posee cualidades excepcionales, de entre las cuales su potencial coagulante permite que sea considerada como una alternativa real de tratamiento de aguas, tanto potables como residuales. Su accesibilidad, fácil manejo, localización y disponibilidad la hacen especialmente interesante como agente de tratamiento de aguas en países en vías de desarrollo, aunque la características relativas a la variación de pH, concentración de electrolitos, salinidad, conductividad, producción de lodos... En el agua tratada recomiendan su empleo también en zonas desarrolladas.

2. Un estudio descriptivo del proceso de extracción arroja datos que permiten establecer la siguientes conclusiones:

- a) No existe diferencia significativa entre la extracción de la semilla con cáscara y sin ella, con lo que la tediosa tarea de separar el núcleo de la cáscara puede ser omitida en un proceso de molienda previo a la extracción.
- b) La eficacia del extracto disminuye a medida que aumenta la temperatura de extracción.
- c) La eficacia del extracto disminuye a medida que se aleja de la neutralidad el pH de extracción.
- d) Es más eficaz la extracción con agitación magnética que con agitación por ultrasonidos.
- e) El empleo de una disolución acuosa de NaCl como solución extractora multiplica la eficacia del proceso de extracción. A una concentración de 2,5 M de NaCl no existen diferencias apreciables entre la eficacia del tratamiento a 1 mL·L⁻¹ y a 10 mL·L⁻¹ de extracto en el agua sucia.
- f) Bajas concentraciones de *Moringa oleifera* en el extracto favorecen el tratamiento con bajas dosis (alrededor de 1 mL·L⁻¹ de extracto en agua sucia), mientras que para dosis más elevadas (5-10 mL·L⁻¹) la diferencia de concentración no es apreciable.
- g) A partir de 30 minutos, el tiempo de extracción del proceso no influye en la eficacia del tratamiento.

3. El extracto presenta una baja degradabilidad con el tiempo. Al cabo de dos semanas, sólo se redujo su efectividad en un 15%.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada dentro del Programa de Iniciación a la investigación de la Universidad de Extremadura, modalidad orientada, subprograma GESPEA, SA. También se desea agradecer a la Oficina Universitaria de Cooperación al Desarrollo de la Universidad de Extremadura por su apoyo en etapas previas de la investigación.

Referencias bibliográficas

- > Broin, M.; Santaella, C.; Cuine, S.; Kokou, K.; Peltier, G. y Joët, T. (2002), "Flocculent activity of a recombinant protein from *Moringa oleifera* Lam. seeds", *Applied Microbiological Biotechnology*, 60, 114-119. Holanda.
- > Dorf, R. C. (2001), "Sustainable and appropriate technologies", *Technology, Humans and Society*, Academic Press, 2001, USA.
- > Fuglie, L. J. (2001), *The miracle tree. The multiple attributes of Moringa*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Dakar, Senegal.
- > Gassenschmidt, U.; Jany, K. D.; Tauscher, B. y Niebergall, H. (1995), "Isolation and characterization of a flocculating protein form *Moringa oleifera* Lam." *Biochimica et Biophysica Acta*, 1995, 1243, 477-481, Holanda.
- > Ghebremichael, K. (2004), *Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment*", Tesis Doctoral, KTH-Estocolmo (Suecia).
- > Kalogo, Y. y Verstraete, W. (2000), "Technical feasibility of the treatment of domestic wastewater by a CEPS-UASB system", *Environmental Technology*, 2000, 21, 55-65, Reino Unido.
- > Kalogo, Y.; Séka, A. M. y Verstraete, W. (2001), "Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of M", *Applied Microbiological Biotechnology*, 2001, 55, 644-651, Holanda.

- > McConnachie, G. L.; Folkard, G. K.; Mtawali, M. A. y Sutherland, J. P. (1999), "Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes", *Water Research*, 1999, 33(6), 1425-1434, Holanda.
- > Muyibi, S. A. y Evison, L. M. (1995), "Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera*", *Water Research*, 1995, 29(12), 2689-2695, Holanda.
- > Ndabigengesere, A. y Narasiah, K. S. (1996), "Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds", *Environmental Technology*, 1996, 17, 1103-1112, Reino Unido.
- > Ndabigengesere, A. y Narasiah, K. S. (1998a), "Use of *Moringa oleifera* seeds as a primary coagulant in wastewater treatment", *Environmental Technology*, 1998, 19, 789-800, Reino Unido.
- > Ndabigengesere, A. y Narasiah, K. S. (1998b), "Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds", *Water Research*, 1998, 32(3), 781-791, Holanda.
- > Naciones Unidas (2000), *Declaración del Milenio (A/RES/55/2)*, New York, 2000.
- > Olsen, A. (1985), "Low technology water purification by bentonite clay and *Moringa oleifera* seed flocculation as performed in sudanese villages: effects on *Schistosoma mansoni cercariae*", *Water Research*, 1985, 5, 517-522, Holanda.
- > Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W. y Okada, M. (1999), "Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seeds", *Water Research*, 1999, 33(15), 3373-3378, Holanda.
- > Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W. y Okada, M. (2001), "Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds", *Water Research*, 2001, 35(2), 830-834, Holanda.
- > Pollard, S. J. T.; Thompson, F. E. y Mcconnachie, G. L. (1995), "Microporous carbons from *Moringa oleifera* husks for water purification in less developed countries", *Water Research*, 1995, 29(1), 337-347, Holanda.
- > Rees, W. (2009), "Naturaleza humana, huella ecológica e injusticia ambiental", *Cuaderno Interdisciplinar de Economía Sostenible*, octubre 2009, España.

- > Richter, N.; Siddhuraju, P. y Becker, K. (2003), "Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)", *Aquaculture*, 2003, 217, 599-611, Holanda.
- > Warhurst, A. M.; Fowler, G. D.; McConnachie, G. L. y Pollard, S. J. T. (1997), "Pore structure and adsorption characteristics of steam pyrolysis carbons from *Moringa oleifera*", *Carbon*, 1997, 35(8), 1039-1045, Holanda.
- > Warhurst, A. M.; McConnachie, G. L. y Pollard, S. J. T. (1997), "Characterization and applications of activated carbons produced from *Moringa* seed husks by single-st", *Water Research*, 1997, 31(4), 759-766, Holanda.
- > Warhurst, A. M.; Ragget, S. L.; McConnachie, G. L.; Pollard, S. J. T.; Chipofya, V. y Codd, G. (1997), "Adsorption of the cyanobacterial hepatotoxin Microcystin-LR by a low- cost activated carbon from the", *Science of the Total Environment*, 1997, 207, 207-211, Holanda.