

Floculantes naturales: una alternativa para la clarificación del jugo de caña

Sandra I. Fanego Hernández

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

sandra.fanego@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En la literatura se reportan diversas investigaciones sobre el empleo de floculantes naturales. Se proponen como alternativa viable para la sustitución parcial o total de los floculantes químicos. La mayoría de estas investigaciones han estado dirigidas a la purificación del agua y se han reportado resultados alentadores. En la industria azucarera también se reportan pesquisas relacionadas con el tema. Muchos de estos floculantes son extractos provenientes de las hojas, semillas o tallos de plantas y, aunque no existe una regla, lo más común es el empleo de plantas mucilaginosas. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de temas vinculados con la floculación, en específico con el empleo de los floculantes naturales y algunos ejemplos de procesos de extracción que se utilizan. También se abordan ventajas y desventajas que pudieran tener en la industria azucarera, con respecto a los obtenidos químicamente y que se emplean en la actualidad. Se concluye que los floculantes naturales coadyuvan en la clarificación del jugo de caña, disminuyen la introducción de sustancias químicas en el proceso azucarero; asimismo se plantea que los procesos reportados en la literatura para su extracción son sencillos, principalmente en base de agua y disoluciones de sales inorgánicas. Sin embargo, los floculantes químicos superan a los naturales en cuanto a dosis para que ocurra la clarificación de manera efectiva. Igualmente se propone el estudio de floculantes naturales a partir de plantas y su evaluación técnica y económica para la producción de azúcar orgánica y panela.

Palabras clave: floculantes naturales, jugo de caña, extracción, clarificación.

ABSTRACT

Several research jobs are reported on the use of natural flocculants. They are proposed as a viable alternative for the partial or total replacement of chemical flocculants. Most of these investigations have been directed to the purification of water, for which surprising results have been reported, although there are also reports of developments in sugar industry. Many of these flocculants are extracts from plants leaves, seeds or stems; there is no rule, but the use of mucilaginous plants is most common way. This paper presents a bibliographic review of issues related to flocculation and specifically on the use of natural flocculants, as well as the advantages and disadvantages that they may have in the sugar industry compared to those obtained chemically and currently used. In conclusions natural flocculants are useful coadjuvants for clarification of cane juice, they reduce the introduction of chemical substances into the sugar process, and processes reported for their extraction in the literature are simple, mainly based on water and inorganic salt solutions. However, natural flocculants are outperformed by chemical ones in dose size for effective clarification. Likewise, the study of natural flocculants from plants and their technical and economic evaluation for the production of organic sugar and panela is proposed.

Key words: natural flocculants, cane juice, extraction, clarification.

INTRODUCCIÓN

Los floculantes naturales son sustancias extraídas de la naturaleza, sin modificación química alguna para su aplicación, capaces de promover el fenómeno de coagulación-floculación; por lo que estos pueden ser empleados como clarificadores en algunas matrices, principalmente en medio acuoso. Pueden provenir de materiales orgánicos o inorgánicos, como: plantas, animales o minerales, ejemplo: polvo de semillas, flores, cortezas, algunos tipos de arcillas, entre otros. Estos coagulantes son poco utilizados debido a la generalización de los coagulantes artificiales y a la poca materia prima disponible para su elaboración (1).

Gran número de investigaciones relacionadas con dichos floculantes se enfoca, principalmente, en la purificación del agua, por lo que se han reportado resultados sorprendentes en este sentido. Aunque también se emplean en otras matrices, como mostos obtenidos para la fabricación de vino (2).

En la industria azucarera también se reportan innovaciones relacionadas con los floculantes naturales, pues el empleo de sustancias químicas como sulfitos, carbonatos y otros como las poliacrilamidas, a la larga, pueden afectar la salud del consumidor, aunque se obtengan productos “limpios” y de mejor “color”. Además, se considera que el proceso de obtención de estos productos es menos nocivo para el medioambiente que la producción de floculantes de origen químico pues, generalmente, se obtienen de plantas comestibles, medicinales, entre otros elementos naturales como matriz y como extrayente, por lo general, agua o soluciones acuosas de sales. Estas sustancias, al ser de origen natural, presentan una toxicidad inherentemente baja (3).

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de temas relacionados con la floculación y, específicamente, con el empleo de los floculantes naturales y algunos ejemplos de procesos de extracción que se utilizan, así como ventajas y desventajas que pudieran tener en la industria azucarera, respecto a los obtenidos químicamente y que se emplean en la actualidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza una revisión bibliográfica de literatura especializada publicada en Internet (artículos científicos, tesis de grado, maestrías y doctorados, entre otros) sobre los floculantes naturales. Los artículos proceden de revistas como: Industrial Crops and Products, Food Science and Technology, Journal of Research in Applied Sciences, Environmental Science An Indian Journal, International Research Journal of Science and Technology, Journal of Materials and Environmental Sciences, Journal of ChemTech Research, entre otras.

Primeros usos de los floculantes naturales

El uso de floculantes naturales comenzó con la clarificación de agua potable en países subdesarrollados como Sudán, pues aquí los habitantes no tenían recursos para adquirir los floculantes sintéticos que se comercializaban, necesarios para purificar el agua de beber y otras actividades domésticas. Entonces, se empleaban partes de plantas para lograr este propósito; como por ejemplo, la semilla de moringa (4).

Actualmente se llevan a cabo investigaciones con el fin de abaratar los costos del tratamiento del agua. También para eliminar los floculantes sintéticos que traen problemas a la salud humana y de contaminación en general, de ahí que se haya incursionado en el estudio de floculantes a base de extractos naturales.

Con relación al tema, en 2009 se reportaron resultados de un estudio que mostró que los mucílagos de malva y quimbombó tienen importantes propiedades de floculación. Se determinó que el quimbombó es tan eficiente como la malva para eliminar la turbidez del agua, pero a dosis mucho

más bajas (5). En 2012, se realizó un estudio comparativo de algunas plantas que mostraron mayor efectividad en la eliminación de la turbidez, como la verdolaga (*Portulaca oleracea L.*) y la sábila (*Aloe barbadensis* Miller o *Aloe Vera*) (6).

En 2014 se supo que el polvo de corteza del árbol de acacia catechu, propuesto para la sustitución del coagulante sulfato de aluminio, en el tratamiento del agua, puede eliminar la turbidez hasta en un 91 %, a la dosis óptima de 3.0 ml / L (7). También se evalúa la eficiencia de remoción de turbidez en agua cruda del río Sinú, en Colombia, con extractos coagulantes vegetales, a partir de tallos de *Hylocereus triangularis* (Cactus), corteza de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) y semilla de *Moringa oleífera* (Moringa) (8). Este mismo año también se presentó la evaluación de un floculante derivado de taninos, extraídos de la acacia negra, a partir de los principios de la química verde (9).

En 2015 se utilizaron extractos de la planta *Caesalpinia spinosa* para tratar el agua residual y se demostró, estadísticamente, que tiene el mismo efecto que el coagulante químico policloruro de aluminio 15 % (10). También se investigó la actividad coagulante del mucílago quimbombó (*Abelmoschus esculentus*) como coagulante natural. Su eficiencia se comparó con el cloruro férrico (agente químico), en el tratamiento de aguas residuales textiles. Con poca cantidad del mucílago se logra la remoción de turbidez, color y disminución de la demanda química de oxígeno. Se demuestra que tiene actividad coagulante en el tratamiento de aguas residuales textiles y que constituye un coagulante disponible, biodegradable y no tóxico (11).

Un año después, se publicó una tesis sobre esta misma planta, utilizada para la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica en las aguas del Río Pollo, en Otuzco, Perú. Se concluyó que la goma extraída de las semillas de esta planta representa una alternativa como coagulante para el tratamiento de aguas con valores de turbidez bajos (12). Este mismo año se plantea, por otros autores (13), una combinación de mucílago de cactus y sal férrica (Fe (III)) como un sistema de floculación-coagulación para eliminar el arsénico (As) del agua. Asimismo, en este periodo, se publicó la evaluación del efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante y floculante natural en el tratamiento de aguas residuales, para lo cual se utilizaron aguas resultantes del proceso de beneficio del café, con turbidez mayor a 2000 unidades nefelométricas (UNT) y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91.5 UNT. Los resultados indicaron que el polvo de semilla de moringa es más efectivo en mejorar los diferentes parámetros establecidos de esta investigación (14).

Durante 2017 se publicó un artículo con un estudio de las plantas nativas de Indonesia, con el objetivo de determinar cuáles poseen propiedades como coagulante (15). En 2018 se divulgó sobre el tratamiento de las aguas residuales de la refinera de aceite vegetal, mediante un proceso de coagulación-floculación con el cactus como bio-floculante y se probó la eficiencia en la remoción del contaminante (16). Se reporta un estudio sobre la evaluación de la capacidad floculante de tres variedades de Cactáceas *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* en el tratamiento del agua residual artificial (17); así como también, de la clarificación con coagulantes naturales obtenidos de quitosano y semillas de *Moringa oleífera* a un extracto de compuestos bioactivos de hojas de té verde (18).

En 2019 se determinó el poder coagulante de la sábila para remover la turbidez en el proceso de tratamiento del agua para el consumo humano. En esa tesis se logró remover la turbidez en porcentajes significativos, con solo pequeñas dosis del coagulante natural propuesto (19). Además, se estudiaron la semilla de moringa y el almidón de la yuca (*Manihot esculenta*) para el tratamiento de aguas superficiales y se demostró que dichos compuestos orgánicos pueden reemplazar los compuestos metálicos normalmente utilizados (20).

Floculantes naturales en la industria azucarera

A raíz del empleo de los floculantes naturales en el tratamiento del agua y por todas sus ventajas, se comenzó a investigar en el ramo azucarero. Desde hace algunos años se reportan investigacio-

nes relacionadas con el tema, que argumentan principalmente, sobre el empleo de extractos provenientes de plantas o animales inferiores. A continuación algunos ejemplos:

En 2001, Jesús E. Larrahondo y colaboradores propusieron la quitina y el quitosano para la clarificación del jugo de caña, sustancias que se pueden obtener de desechos de la industria pesquera (21). El balso, el cadillo y el guácimo fueron presentadas por Ortiz y colaboradores en 2011 (22). El *Hibiscus lunarifolius*, en 2010, fue investigada por P. Thangamuthu y R.B. Khandagave como una planta cuyos extractos promueven una turbidez similar, pero que ocurre con mayor velocidad que en el caso del floculante químico (Magnafloc LT27) utilizado como referencia, debido a que se forman los flóculos con mayor rapidez y poseen mayor tamaño (23). Se reportan, además, que se han estudiado plantas con actividad floculante como la moringa (*Moringa oleífera Lamarck*), para la clarificación de jugo de caña destinado a la obtención de etanol (24).

Igualmente, en 2013, Costa Gravatim y colaboradores comentaron en su artículo que la utilización de auxiliares de sedimentación como la *Moringa oleífera* en la clarificación de jugo de caña, resultó en azúcar de mejor calidad y miel de calidad similar a la del tratamiento convencional (25). En 2015, el mismo autor planteó que los jugos clarificados con extractos de las hojas y de semillas de moringa, así como de acacia negra, son similares a los logrados con floculantes sintéticos (26). También otros autores investigan las semillas y las hojas de moringa en este período, (27). Demeras Lucas y colaboradores, el mismo año, propusieron el empleo de corteza del árbol de cacao o fruto de muyuyo, al adicionarlos cuando el jugo alcanzó una temperatura adecuada. Él refiere que los mejores resultados fueron para la corteza del cacaotero.

En el año 2016, Quesada Moreno W. F. y colaboradores, concluyeron en su publicación que se logran mejores resultados (jugos claros y brillantes) de clarificado con las plantas de Yausabara, seguido de la Yausa, Cadillo, Falso Joaquín y Malva silvestre. Por los resultados obtenidos técnicamente, los mucilagos son una alternativa de clarificación natural viable en jugos de caña y correspondería establecerse la sostenibilidad de este procedimiento en industrias paneleras mediante acciones ejecutivas (28). La Yausabara igualmente volvió a ser objeto de estudio el siguiente año (29). En esta etapa, también fue investigada la planta moringa, como promisorio floculante para la clarificación del jugo de caña (30), (31). Un año después compararon los resultados alcanzados en la clarificación del jugo de caña de azúcar, al aplicar extracto de semilla de moringa con los logrados al emplear el polímero comercial a base de acrilamida, a diferentes concentraciones, Se obtuvo que la moringa (13 mg/L), presentó características tecnológicas y viabilidad fermentativa, similar al polímero (1.5 mg/L). El azúcar obtenido presentó las características dentro de lo establecido y la pol, la humedad y el color de esta se comportaron similares a los valores de estos parámetros, para el azúcar obtenido con el empleo del polímero. Al cuantificar los niveles de acrilamida en el azúcar producido y en la levadura separada del proceso de fermentación, se descubrió que los residuos de esta biomolécula estaban por debajo del límite de detección (32). Asimismo, en otro artículo similar, señalaron que el floculante de moringa es adecuado para países que emplean floculantes con concentración por encima de 5 mg/L (33).

En 2018 Costa Gravatim y colaboradores publicaron el artículo “Acrylamide replaced by moringa extract in sugar production” y determinaron la mejor técnica de extracción de la proteína S-Albumina, sustancia responsable de que ocurra el fenómeno de floculación y la mejor dosis de aplicación para clarificar el jugo de caña (1300 mg/L). De este estudio se obtuvo menor color y turbidez, así como que no hay diferencias en calidad de azúcar, al ser comparado con el control empleado (28). Ese mismo año otros investigadores abundaron sobre la moringa para la clarificación del jugo de caña (34). También se estudió el mucílago obtenido de las pencas de nopal *Opuntia ficus-indica*, cuya efectividad como clarificante para sólidos suspendidos presentes en el jugo de caña, ayuda finalmente a mejorar la apariencia del color en la panela (35).

En el año 2019 Mading Makur M., Duraisamy R. y Birhanu T. realizaron un estudio del quimbombó y lo calificaron prometedor como floculante por su capacidad para remover la turbidez y el color de los jugos de caña. Comentaron que en la India, los tallos verdes de la planta madura se utilizan para la preparación de mucílagos para clarificar el jugo de caña. El mucílago se une con las impurezas debido a su naturaleza viscosa y forma una espuma que se puede eliminar fácilmente. (36). Además, se experimenta con gel de sábila (*Aloe Vera*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación del jugo de caña en la elaboración de panela. Los autores concluyeron que los floculantes naturales evaluados no inciden sobre el proceso de clarificación del jugo de caña, pues su capacidad aglutinante es menor a la deseada; sin embargo, a pesar de obtener jugos turbios y panela con una tonalidad semi-oscura, son aceptadas por los consumidores (37). Ya en 2020, se reportaron, como alternativas de clarificación de jugos de caña, las sustancias minerales naturales bentonita y zeolita (38).

Procesos de extracción descritos en la literatura para los floculantes naturales

En general los procesos de extracción de los floculantes naturales, reportados en la literatura, se hacen en agua o soluciones acuosas de sales inorgánicas. Se trata, en general, de procesos de extracción sencillos.

Por ejemplo:

- Nopal. Se seleccionan las pencas o cladodios del nopal en buen estado y se retiran las espinas con la ayuda de cepillos y espátulas. Luego se lavan y desinfectan con agua clorada a 50 ppm. Se procede a pesar la materia prima, para posteriores cálculos de rendimiento. A continuación se corta en trozos del cladodio y se macera en agua por 16 horas; posteriormente, se realiza el proceso de filtración para eliminar las partículas de mayor tamaño y obtener el mucílago del nopal (37). Algunos autores prefieren pelar los cladodios del nopal (35).
- Sábila. Se desechan las hojas en mal estado y se sumergen en una solución clorada para su desinfección, por tres minutos. Se colocan en un recipiente con agua y se dejan 48 horas en reposo, hasta eliminar el yodo presente por el corte de la sábila. Posteriormente, se enjuagan con agua limpia para eliminar los residuos. Luego, se remueve la corteza de la hoja, cortando los extremos, la parte frontal y trasera, para obtener el gel de sábila. El proceso de maceración se realiza con una proporción de 1:1 gel de sábila / agua destilada, por 24 horas. Terminado el proceso, se filtra y se obtiene el mucílago (19, 37).
- *Moringa oleífera*. Algunos autores proponen descascarar las semillas de moringa y secarlas a 70 °C, por 30 minutos. Luego se trituran con un microprocesador, para verterlas al medio al que se le va a aplicar el tratamiento de clarificación (39). Teixeira propone que las semillas se sequen durante 12 horas, a 55 °C en un horno de circulación forzada de aire. Luego se pelan y muelen en una trituradora industrial. De estas, se añaden de 1.0 g a 5.0 g de la semilla molida en 100 ml de agua destilada y en disoluciones de KCl (1.0 M) y NaCl (1.0 M), respectivamente. Estas soluciones se agitan durante 10 minutos. Luego, para separar las fracciones sólidas, se filtra al vacío usando papel de filtro de porosidad de 14 µm y se obtiene el extracto (40). Freitas propone que el proceso de secado sea a 55 °C, por 12 horas y que el triturado se realice en un mortero de cerámica. Para la extracción del principio activo utiliza 1.0 g de semilla de moringa en 100 ml de una disolución de CaCl₂ (1.0 mol/L) (32). En 2018, con similar tratamiento que Freitas, Gravatim Costa y colaboradores determinaron que la disolución de CaCl₂ 0.1 mol/L es la más efectiva para extraer la mayor cantidad de proteína de semilla de moringa. Propusieron, además, que la dosis de 1300 mg/L es ideal para usar en la sedimentación de impurezas presentes en jugo de caña (41).
- *Hibiscus lunarifolius*. Las hojas maduras de la planta se recolectan y lavan con agua. Luego se remojan en agua y se exprimen para obtener el extracto que se filtra a través de un paño.

A partir de este se prepara una disolución al 0.05 % que se evalúa a diferentes dosis en la clarificación de jugo de caña (23).

- Malva silvestre, cadillo, falso Joaquín, yausabara y yausa. Las plantas se trituran, se maceran en agua destilada y se agitan de forma manual y mecánica. Luego se presionan para separar de la solución mucilaginoso. Las soluciones utilizadas se preparan con 100 gramos de especie vegetal en 1.0 litro de agua (28).
- Quimbombó. Las vainas se limpian, se cortan y se elimina el exceso de fibra y semillas. Se disuelve 1.0 g de la goma del quimbombó en 100 ml de disoluciones de NaCl, KCl, NaNO₄ (todas a concentración 1.0 mol/L) y agua destilada (25 °C y 60 °C), respectivamente. Se agitan por una hora las extracciones hasta que la goma se hincha completamente. Por último, la disolución se filtra para separar el mucílago de la fibra (11).

Principales ventajas y desventajas de los floculantes naturales en la industria azucarera, respecto a los obtenidos químicamente

Entre las desventajas observadas en publicaciones, sobre floculantes naturales, respecto a los obtenidos químicamente y que son empleados actualmente en la industria, está principalmente el problema de las dosis. Para los floculantes obtenidos químicamente se necesitan dosis pequeñas, que están en el orden de partes por millón en un litro de jugo de caña, pues son altamente reactivos (36); al contrario de los floculantes naturales que están en el orden de los g/L o ml/L. Se ha determinado (19) que la dosis óptima de floculante, a partir de sábila es 1.8 g/L. Igualmente, se reportó (37) que los mejores resultados de clarificación para un floculante de sábila, fue 50 ml/L de jugo de caña. Por otra parte, 0.4 g/500 ml se publica como la mejor dosis de los floculantes, a partir de bentonita y zeolita, en un artículo reciente (38).

Las ventajas están dadas porque son parte de materias primas baratas e, incluso, desechos de producciones agrícolas como los tallos y hojas de quimbombó (36). No obstante, lo que se considera de mayor importancia radica en su impacto social y ambiental.

Desde el punto de vista social, se obtendría azúcar menos perjudicial para la salud, pues se eliminaría el empleo de floculantes químicos, principalmente a base de acrilamidas, consideradas carcinogénicas y neurotóxicas (41); por tanto, pueden generar problemas a la salud (42). Por otra parte, el empleo de estos floculantes naturales en Cuba estimularía el atractivo del azúcar destinado para la exportación a países europeos u otros mercados específicos, venta al turismo y beneficios para la población, que tendría otra opción para su consumo. En particular, el uso de floculantes naturales podría valorarse técnica y económicamente en la producción de azúcar orgánica, en el central azucarero Carlos Baliño y en la planta de producción de panela en la refinería Chiquitico Fabregat.

Para el medioambiente, la introducción de estos floculantes en la producción de azúcar significa que se incursionaría en la química sostenible (también llamada química verde) pues el diseño de estos productos naturales implica la reducción o eliminación de productos nocivos como las poliacrilamidas. Además, la industria azucarera evolucionaría hacia una postura eco-amigable y, por tanto, a una industria verde en proceso, como se reconoce a cualquier industria que se comprometa a reducir los impactos ambientales de sus procesos y productos, a través de la eficiencia de sus recursos.

CONCLUSIONES

- Los floculantes naturales coadyuvan en la clarificación del jugo de caña.
- El empleo de floculantes naturales disminuye la introducción de sustancias químicas en el proceso azucarero.

- Los procesos de extracción de los floculantes naturales reportados en la literatura son sencillos, principalmente en base de agua y disoluciones de sales inorgánicas.
- Los floculantes químicos superan a los naturales, en cuanto a dosis para que ocurra la clarificación de manera efectiva.
- Se propone el estudio de floculantes naturales, a partir de plantas y su evaluación técnica y económica, para la producción de azúcar orgánica y panela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guzmán, L., *et al.* Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. UDCA Actualidad & Divulgación Científica. 2013;16(1):253-62.
2. Becerril Eraso, J. Efecto de la temperatura en la clarificación de vinos tintos con proteína de patata [Tesis de grado]. Navarra: Universidad Pública de Navarra, 2015.
3. Cedeño, Y.J., Sacoto Gómez, L.A.L. Tratamiento de agua residual procedente de industria cafetera por acción de compuestos orgánicos de cáscaras: Musa Paradisiaca y Manihot Esculenta [Tesis de graduación]. Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2019.
4. Al Azharia Jahn, S. Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural. Investigación realizada en el Sudán y guía para nuevos proyectos. española e, editor. Lima-Perú: CEPIS/OPS/OMS; 1989.
5. Anastasakis, K.; Kalderis, D.; Diamadopoulos, E. Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. Desalination. 2009;249:786–91.
6. Madhavendra, S.S.; Bangal, P.; Anuradha, K. Novel natural coagulants for water clarification. Environmental Science An Indian Journal. 2012;7(6):226-32.
7. Singh Thakur, S.; Choubey, S. Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals. International Journal of ChemTech Research. 2014;6(7):3628-34.
8. Rodiño Arguello, J.P.; Feria Díaz. J.J.; Paternina Uribe, R.d.J.; Marrugo Negrete, J.L. Extractos coagulantes naturales de *Hylocereus triangularis*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera* para el tratamiento del agua cruda del río Sinú. II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental 2014. p. 155-60.
9. Mangrich, A.S.; Doumer, M.E.; Mallmann, A.S.; Wolf, C.R. Química Verde no Tratamiento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acacia mearnsii. Rev Virtual Quim. 2014;6(1).
10. Revelo, A.; Proaño, D.; Carlos, B. Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. Enfoque UTE. 2015;6(1):1-12.
11. Freitas, T.K.F.S., *et al.* Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. Industrial Crops and Products. 2015;76:538–44.
12. Bravo Guerrero, M.M.F.; Gutiérrez López, J.L. Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Rio Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara) [Tesis de graduación]. Trujillo – Perú: Universidad Nacional de Trujillo; 2016.
13. Fox, D.I.; Stebbins, D.M.; Alcantar, N.A. Combining Ferric Salt and Cactus Mucilage for Arsenic Removal from Water. Environmental Science & Technology. 2016;50:2507–13.
14. Mera Alegria, C.F.; Gutiérrez Salamanca, M.L.; Montes Rojas, C.; Paz Concha, J.P. Efecto de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales en el cauca, colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2016;14(2):100-9.

15. Kristianto, H. The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: a Mini Review. *Water Conservation Science and Engineering*. 2017;2:1-10.
16. O. Dkhissi, A.E.H.; Souabi, S. ; Chatoui, M.; Jada, A.; Akssira M. Treatment of vegetable oil refinery wastewater by coagulation-flocculation process using the cactus as a bio-flocculant. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2018;9(1):18-25.
17. Choque-Quispe, D.; Choque-Quispe, Y.; Solano-Reynoso, A.M.; Ramos-Pacheco, B.S. Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*. 2018;38:298-309.
18. Bindesa, M.M.M.; Reisa, M.H.M.; Cardoso, V.L.; Boffito, D.C. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from green tea leaves and clarification with natural coagulants (chitosan and Moringa oleífera seeds). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018.
19. Morales Osorio, J.A. Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa - 2018 [Tesis de graduación]. Cerro de Pasco – Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; 2019.
20. Cuadro Santana, W.; Rodas Haz, J. Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales [Tesis de graduación]. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2019.
21. Larrahondo, J.E.; Ramírez, C.J. Proyecto de investigación aplicada: Quitinas y quitosanas como agentes clarificadores en jugos de caña de azúcar. *Informador Técnico*. 2001;63:2.
22. Ortiz, G.C.A.; Solano, C.D.J.; Villada, C.H.S.; Mosquera, S.A.; Velasco, M.R. Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugos de caña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2011;9:32-40.
23. Thangamuthu, P.; Khandagave, R.B. A vegetable clarifying agent for cane juice clarification. *Proc Int Soc Sugar Cane Technol*. 2010;27:1-6.
24. Quintino Mendes, F.; Millena de Freitas C.; Freitas L.A.; Tralli, F.; Teixeira, V.; Rossini Mutton M.J. Etanol obtido a partir de mosto de melaço clarificado utilizando-se diferentes floculantes. IV Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis; Jaboticabal2016.
25. Gravatim Costa, G.H. Emprego do extrato de moringa (Moringa oleífera Lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar [Tesis de Maestría]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista; 2013.
26. Gravatim Costa, G.H. Emprego do extrato de moringa (moringa oleífera lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar e etanol [Tesis de Doctorado]. Jaboticabal, Brasil: Universidade Estadual Paulista; 2015.
27. Vieira Macri, R.D.C.; Pelegrini Roviero, J.; Emerenciano Ferreira, O.; Campos Oliveira, M.; Rossini Mutton, M.J. Reflexos de extrato de folhas de moringa como floculantes no tratamento de caldo de cana sobre a fermentação etanólica. Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis; Jaboticabal2013.
28. Quezada Moreno, W.F.; Quezada Torres, W.D.; Gallardo Aguilar, I. Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar. *Centro Azúcar*. 2016;43(2):1-11.
29. Nataly, A.R.K.; Javier, C.C.D. Industrialización azucarera nova miel [Tesis de graduación]. Latacunga – Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; agosto 2017.
30. Gravatim Costa, G.H.; Quintino Mendes, F.; Freitas, C.M.; Rossini Mutton, M.J. Extrato de sementes de moringa como floculante de caldo de canadeaçúcar. *Pesq agropec bras*. 2016;51(10):1794-8.

31. Hamad, S.; Hassan, A.; Mohamed Ahmed, I. Application of moringa (*Moringa oleifera*) Seeds for Clarification and Purification of Sugar Cane Juice and Raw Sugar Melt. *Journal of Research in Applied Sciences*. 2016;3(1):151-6.
32. Freitas, C.M. Substituição de floculante comercial por biofloculante de *Moringa oleifera* Lamarck NO SETOR SUCROENERGÉTICO: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA; 2017.
33. Freitas, C.M.; *et al.* Bioethanol production with different dosages of the commercial Acrylamide polymer compared to a Bioextract in clarifying sugarcane juice. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2017;89(4):3093-102.
34. Oladimeji, T.E.; Nnamah, C.G.; Obanla, O.M.; Odunlami, O.A.; Abatan, O.G. A comparative analysis on the clarification efficiency of lime and moringa oleifera on cane sugar juice. V conference: Covenant University Repository; 2018.
35. Loyo-Godoy, M.C. Evaluación de los efectos del uso del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* y la temperatura en la clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela. [Tesis de grado]. Ibarra- Ecuador: Universidad Técnica del Norte; 2018.
36. Mading Makur, M.; Duraisamy. R.; Birhanu. T. Clarifying Capacity of Eco-Friendly Nano Cao and Okra (*Abelmoschus Esculentus*) Extract on the Processing of Sugarcane Juice: A Review. *International Research Journal of Science and Technology*. 2019;1(1):21-30.
37. Tucanes-Noguera, M.B. Uso de gel de sábila (*Aloe Vera*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*) como floculantes naturales para la clarificación de jugo de caña en la elaboración de panela [Tesis de grado]. Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi; 2019.
38. Cabrera Ferrán, P.; Gómez Rodríguez, L.A.; Herrera Álvarez, S. Influencia de sustancias minerales naturales en la clarificación de jugos azucarados y sus lodos. *Centro Azúcar*. 2020;47(4):22-31.
39. Lima de, N.M. Aplicação da moringa oleifera no tratamento de água com turbidez [Tesis de Maestría]. Recife: Universidade Católica de Pernambuco; febrero 2015.
40. Teixeira, V.; Gravatim Costa, G.H.; Marques Parra, S. C.; Ferreira Silva, A.; Rossini Mutton, M.J. Caracterização de extratos de sementes de moringa preparados a partir de sais inorgânicos. Simpósio de Tecnologia Sucoenergética e de Biocombustíveis; Jaboticabal, 2013.
41. Gravatim Costa, G.H.; Millena de Freitas. C.; Quintino Mendes, F.; Pelegrini Rovoero, J.; Rossini Mutton, M.J. Acrylamide replaced by moringa extract in sugar production. *Food Science and Technology*. 2018;38(4):591-9.
42. Rincon-Fuentes, L.; Moreno-Bastidas, M.; Medina-Vargas, O. Biofloculante a partir de celulosa cationizada como alternativa inocua a la poliácridamida en la producción de panela. XX Congreso Internacional: Inocuidad de los Alimentos; Nuevo Vallarta, Nayarit noviembre 2018.