

Factibilidad del uso de floculantes de *Moringa oleífera* en la industria azucarera

Teresa de la Caridad Ledoux Ovies

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

teresa.ledoux@icidca.azcuba.cu,

RESUMEN

Introducción. En el proceso de fabricación de azúcar se controla la calidad de las diferentes etapas y la clarificación constituye una de las que mayor grado de atención requiere, pues en ella se realiza el proceso de limpieza y retención de sólidos insolubles, al adicionar los floculantes, estos mejoran el color del jugo extraído, lo que incide en la presentación del producto final.

Objetivos. Estudiar la documentación existente sobre la *Moringa oleífera*, como materia prima para la obtención de floculantes que se emplean en la industria azucarera y valorar su factibilidad económica.

Conclusiones. Las semillas de la *Moringa oleífera* se pueden emplear como alternativa para la sustitución de coagulantes químicos. La propuesta tecnológica para la obtención de floculantes de *Moringa oleífera*, resulta factible, desde el punto de vista técnico económico y ambiental. El proyecto puede ser ejecutado sin riesgo y es atractivo desde el punto de vista inversionista.

Palabras claves. Floculantes, *Moringa oleífera*, clarificación.

ABSTRACT

Introduction. Anionic surfactants, surfactants or surface tension agents are present in a great variety of products, their production represents about 55 % of the surfactants produced annually in the world, since they present diverse applications.

Objective. To study the existing documentation on sugar cane wax as a raw material for obtaining anionic surfactants, which are used in the sugar industry and to evaluate new production alternatives that lead to productive churning.

Conclusions. Anionic surfactants are present, with adequate properties, in the dissolution of fatty acid soaps, extracted from crude wax. This technology is novel, since there are no antecedents in the literature consulted, so it constitutes an integral proposal for the use of raw sugarcane wax and a contribution to the sugarcane derivatives industry.

Keywords. Cane wax, anionic surfactant, fatty acids.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la industria, a lo largo de los años, ha buscado implementar materias primas naturales a sus procesos productivos, con el fin de suplir las necesidades de la sociedad y conservar, lo más posible, el medioambiente, con tecnologías nuevas y limpias que ayuden a su conservación. El uso de plantas, como materia prima, en la industria es una tradición de la humanidad desde tiempos remotos. En la actualidad este uso se ha ido ampliando a muchos campos, también en la industria química.

El conocimiento de los usos potenciales de la *Moringa oleífera* en la industria química es importante, debido a la creciente demanda de productos naturales, para que esta sea utilizada como materia prima en la industria química deben tomarse en cuenta sus características botánicas y morfológicas,

así como sus características agronómicas, con el fin de obtener materia prima de alta calidad que se seleccione de acuerdo con el tipo de industria a la que el producto va dirigido y, de acuerdo con los estándares de calidad vigentes y así obtener un buen desempeño de los productos elaborados.

En el mundo se utiliza, como coagulante tradicional, el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s})$), llamado comúnmente alúmina, este no logra satisfacer la demanda total en países en vías de desarrollo; en Cuba, específicamente, debido a las condiciones económicas, ya que este se obtiene de ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ac})$) de producción nacional y óxido de aluminio (Al_2O_3) que se importa, la disponibilidad de este coagulante químico ha ido en aumento, pero aún no cubre el 100 % de la demanda total, de ahí que las cantidades disponibles se utilicen en los acueductos de las grandes ciudades, en algunas zonas rurales y periurbanas, con escasez de este importante producto coagulante (1).

El interés de desarrollar coagulantes naturales alternativos, como el que se puede extraer de las semillas de *Moringa oleífera* se demuestra en las investigaciones realizadas, pues los coagulantes naturales de origen vegetal y mineral son un buen sustituto de productos químicos sintéticos, como las sales de aluminio y férricas (2). Su utilización es amplia, segura y barata en el tratamiento de aguas y en otros procedimientos en la industria, lo que trae beneficios económicos para los países productores, además de constituir una alternativa medioambiental con buenos resultados, de ahí que el objetivo de este trabajo sea obtener un producto líquido, de manera estable, que mantenga su efecto floculante y no aporte sustancias que afecten el medioambiente.

Se determinan las sustancias que proporcionan la propiedad coagulante a la semilla estudiada y el resultado es un producto estable durante 90 días; además, se propone una tecnología para obtenerlo.

Tipos de floculantes

En la actualidad encontramos una gran variedad de floculantes de diferentes tipos con excelente efectividad y resultados. En general, los floculantes se clasifican de tres formas:

- Por su naturaleza: pueden ser minerales, orgánicos e inorgánicos.
- Por su origen: sintético o natural.
- Por el signo de carga eléctrica se dividen en: aniónico, catiónico o no iónico.

Floculantes minerales: Los floculantes de origen mineral como el hidróxido de calcio (cal hidratada) son asequibles, dan excelentes resultados y permiten trabajar en aplicaciones con pH alcalino. Se recomiendan, especialmente, para la precipitación de metales pesados como el arsénico, el cadmio y el zinc entre otros, que se encuentran suspendidos en la solución. Estos floculantes ayudan a eliminar incrustaciones en tuberías o equipos, ya que la cal también reacciona con sales de calcio, magnesio y silicatos (3).

Floculantes orgánicos: Este tipo de floculantes son polímeros, fabricados con productos naturales como las algas (alginatos), gomas, almidones de granos vegetales y derivados de la celulosa. Se usan en combinación con sales férricas para extraer el ácido algínico, que se utiliza en tratamientos de agua potable en todo el mundo, gracias a su origen natural (3).

Floculantes inorgánicos: Los floculantes inorgánicos se componen de sales metálicas como aluminio o hierro y son el sulfato de aluminio, el sulfato de hierro y el cloruro de hierro los más utilizados (3).

Floculantes sintéticos: Estos floculantes se elaboran a partir de los polímeros sintéticos de monómeros poli(acrilamidas) y poliaminas, que se usan para clarificar los lodos. Estos floculantes permiten mayor densidad en los flóculos, aumentan la velocidad de sedimentación y recuperación de aguas residuales o industriales, de modo que se puedan volver a usar sin la necesidad de volver a extraer el líquido vital.

Floculantes por carga eléctrica: Los polímeros sintéticos, de acuerdo con Huerta (3), se dividen según su carácter iónico en:

- Polielectrolitos no iónicos. En su mayoría son copolímeros de acrilamida, poliamidas y acrilato de sodio, que establecen enlaces de hidrógeno o electrostáticos para grupos carboxílicos.
- Polielectrolitos aniónicos. Son iones negativos que permiten la adsorción y aumentan la extensión de las cadenas de polímeros.
- Polielectrolitos catiónicos. Son de cadena eléctrica larga positiva gracias a la presencia de grupos amino, imino y amonio cuaternario.

Floculantes naturales: Presentan baja toxicidad y pueden ser empleados como agentes coagulantes y floculantes, debido a que aglutinan las partículas que se encuentran suspendidas en el agua, pues facilitan su sedimentación y posterior remoción. Estos se dividen en 2 grupos: de origen animal y de origen vegetal

Floculantes de origen animal: Entre los metabolitos procedentes de los animales se encuentra el quitosán, un producto derivado del exoesqueleto de caracoles y cangrejos, ampliamente empleado como coagulante y floculante en aguas provenientes de la industria y, en menor medida, en el tratamiento de aguas para potabilización.

Floculantes de origen vegetal: La gran mayoría proviene de las hojas, flores, semillas y raíces de las plantas, son polímeros naturales empleados en diferentes regiones del mundo y provenientes de diferentes especies vegetales, entre las que se encuentran: el actus o tuna (*Opuntia ficus-indica*), el piñón mexicano o jatrofa (*Jatropha curcas*), la campanita (*Ipomoea incarnata*) y la moringa (*Moringa oleífera*).

Materias primas

El uso de plantas como materia prima constituye una tradición que la humanidad ha empleado desde tiempos remotos. En el antiguo Egipto, así como en todas las regiones de Oriente, América y Europa se han utilizado las plantas con fines médicos, terapéuticos y religiosos. En la actualidad se ha ampliado el uso de las plantas a muchos campos, también en la industria química. Los avances científicos permiten plantear procesos cada vez más eficientes para aprovechar los recursos naturales con enfoque de sostenibilidad y las plantas no son la excepción.

Los extractos vegetales más empleados como coagulantes y floculantes, según Murillo *et al* (4), que provienen de las hojas, flores, semillas y raíces de las mencionadas plantas son:

- **cactus o tuna (*Opuntia ficus-indica*):** es una planta arbustiva de origen mexicano. Los tallos son planos, ovales y de color verde medio; el mucílago de la planta se ha empleado como clarificante de aguas residuales y crudas, su comportamiento como coagulante es similar al del sulfato de aluminio. Al emplear esta planta se reduce la dependencia de productos químicos, que pueden generar efectos nocivos en la salud humana.
- **piñón mexicano o jatrofa (*Jatropha curcas*):** es una planta de la familia *Euphorbiaceae* y nativa de Centroamérica. Ha sido empleada como desinfectante y coagulante, sus semillas presentan actividad coagulante; su tratamiento previo consiste en descascarado, secado y molienda de las semillas; posteriormente, se emplea el extracto líquido de la planta, y se aplica como coagulante en aguas con pH ácidos, dado que su efecto es más eficiente en estos valores.
- **campanita (*Ipomoea incarnata*):** es una planta perteneciente a la familia *Convolvulaceae*, habita en zonas tropicales de África y América. Se cultiva con fines alimenticios, debido a que sus raíces tienen un alto contenido energético. Ha sido empleada como coagulantes de aguas residuales, provenientes de la industria. La remoción de turbidez con su empleo es del 99 %,

similar a los coagulantes inorgánicos, como: sulfato de aluminio, sulfato de cobre y sulfato de hierro.

- **moringa (*Moringa oleífera*):** es una planta usada como coagulante natural por pobladores de la India, África y Centroamérica, debido a que posee las mismas propiedades que el sulfato de aluminio, es amigable con el medioambiente y no genera problemas de salud. Su eficacia como coagulante la debe a una proteína catiónica hidrosoluble que desestabiliza las partículas contenidas en el agua.
- **otras especies con potencial coagulante/floculante.** En el tratamiento de agua con fines de potabilización han sido evaluadas otras especies, como por ejemplo: el hongo *Pleurotus tuberregium sclerotium*; la rosa de Jamaica *Hibiscus sabdariffa*; el frijol mesquite *Prosopis juliflora*; el frijol común *Phaseolus vulgaris*; el tamarindo *Tamerindous indica*; la lenteja *Lensculenta*. También se han empleado los taninos de diversas especies de *Quercus* (robles) y *Pinus* (pinos).

Panorámica general sobre la *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* es un árbol de tamaño pequeño, que crece en regiones tropicales y que presenta una gran plasticidad ecológica. Es altamente valorado, a nivel mundial, por las propiedades que posee y que le permiten ser catalogado como un árbol que ofrece una gran versatilidad como materia prima, en las diferentes industrias (5).



Figura 1. *Moringa oleífera* de tres años.

Se cultiva en las regiones tropicales de todo el mundo, la *Moringa oleífera* puede crecer en cotas de hasta 1.200 m sobre el nivel del mar, en colinas o laderas, aunque lo normal es encontrarla en praderas y a orillas de ríos. Puede llegar a alcanzar los seis o siete metros de altura en un año, con una recepción media anual de agua de 400 mm (5).

La *Moringa oleífera* crece y se utiliza en muchas zonas áridas del mundo, como: África, Asia y América Latina.



Figura 2. Zonas donde se utiliza la *Moringa oleífera* actualmente.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la *Moringa oleífera* (5)

Familia	<i>Moringáceas</i>
Origen	<i>Capparidales</i>
Clase	<i>Magnoleopsida</i>
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Arbórea, concanensis, drocanesis, drouhardii, hildebrandtii, pygmeae, peregrina, ovalaifolia, rospoliana, stenopetala, rivae, oleífera y borziana</i>

Una de las partes más aprovechables es la semilla, ya que sus propiedades permiten obtener tres productos diferentes, a partir de ella y sus residuos, lo cual implica un aprovechamiento integral del recurso, genera un impacto ambiental mínimo y una rentabilidad ecológica, económica, social e industrial elevada. De la semilla de *Moringa oleífera* se puede extraer un aceite natural clasificado como exótico, que posee una alta calidad; además, sus residuos pueden aprovecharse para la elaboración de coagulante natural y carbón activado (5).

Tabla 2. Características morfológicas de la *Moringa oleífera* (5)

Característica morfológica	Descripción
Raíz	
	La raíz principal mide varios metros y es carnosa en forma de rábano. Es pivotante y globosa lo que le brinda a la planta cierta resistencia a la sequía en periodos prolongados. Cuando se le hacen cortes, produce una goma color rojizo parduzco.
Hojas	
	Las hojas son compuestas de unos 20 cm de largo. Con hojuelas delgadas, oblongas u ovaladas de 1 a 2 cm de largo y de color verde claro: tienen cualidades nutritivas sobresalientes, que están entre las mejores de todos los vegetales perennes. El contenido de proteína es del 27 %: además tienen cantidades significativas de calcio, hierro y fósforo, así como vitamina A y C.
Flores	
	Las flores son de color crema, numerosas, fragantes y bisexuales. Miden de 1 a 1.5 cm de largo. Estas se encuentran agrupadas y están compuestas por sépalos lineales a lineal-oblongo de 9 a 13 mm de largo. Los pétalos son un poco más grandes que los sépalos.
Tallo	
	La corteza es blanquecina, el tronco generalmente espeso e irregular en tamaño y forma y la corona pequeña y densa, rara vez, sobrepasa los 10 metros de altura.
Frutas	
	Las frutas son unas cápsulas de color pardo, de tres lados, lineares y pendientes, con surcos longitudinales, usualmente de 20 a 45 cm de largo, aunque a veces hasta de 120 cm de largo y de 2 a 2.5 cm de ancho que dan apariencia de vaina. Si se corta transversalmente se observa una sección triangular con varias semillas dispuestas a lo largo. Las frutas alcanzan la madurez aproximadamente 3 meses después del florecimiento.
Semillas	
	Las semillas son carnosas, cubiertas por una cáscara fina de color café. Poseen tres alas o semillas aladas de 2.5 a 3 mm de largo. Al quitar la cáscara se obtiene el endospermo que es blanquecino y muy oleaginoso.

La *Moringa oleífera*, en sentido general, es una especie de gran plasticidad ecológica, ya que se encuentra localizada en diferentes condiciones de suelo, precipitación y temperatura.

Resulta importante numerar las propiedades físicas y químicas de diferentes componentes de la planta (vainas, semillas y hojas) y conocer datos de interés, en cuanto a su contenido nutricional y su contenido de ácidos grasos en las semillas.

Tabla 3. Propiedades físicas de las vainas y semillas de la *Moringa oleífera*

Determinación	Valor
Peso promedio de la vaina (g)	7.95
Número promedio de semillas por vaina	16
Peso promedio de cada semilla (g)	0.3-4
Humedad en la cáscara (%)	12.9
Humedad en la semilla entera (%)	6.52-7.5
Humedad en las vainas (%)	86.9
Humedad en hojas frescas (%)	75
Gravedad específica de la semilla	0.898

Tabla 4. Características y composición fotoquímica de la semilla de *Moringa oleífera*

Parámetro	Valor
Valor ácido	3.5
Valor de saponificación	182.2
Valor iodado	64.2
Cenizas	3.16 %
Proteína	46.58 %
Grasa	32.60 %
Carbohidratos	11.16 %

Tabla 5. Contenido de ácidos grasos en las semillas de *Moringa oleífera*

Parámetro	Valor
Ácido oleico	68.9 %
Ácido linoléico	3.8 %
Ácido mirístico	1.5 %
Ácido palmitico	3.6 %
Ácido esteárico	10.8 %
Ácido behéico	6.3 %
Ácido lignocérico	0.13 %

Usos de la semilla de *Moringa oleífera*

En la antigüedad, en Grecia y en Roma se conocían las propiedades cosméticas del aceite de *Moringa oleífera* y, durante el siglo XIX, se exportaron desde las plantaciones intensivas de la India hacia Europa, como lubricante de maquinaria de precisión. El aceite de la semilla de la *Moringa oleífera* puede utilizarse en la cocina, para producir jabones, cosméticos y combustible para lámparas.



Figura 3. Semillas de *Moringa oleifera*. A (semilla con cáscara), B (semilla sin cáscara).

Los residuos de la extracción del aceite de las semillas pueden utilizarse como acondicionador del suelo o como fertilizante y tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio avícola y ganadero.

Otros usos que se conocen de la *Moringa oleifera* son: proveedor de biogás, como agente doméstico de limpieza, como tinte, productor de goma natural, clarificador y productor de miel. También tiene usos medicinales y ornamentales, y funciona como coagulante natural para clarificación de agua, entre otros (5).

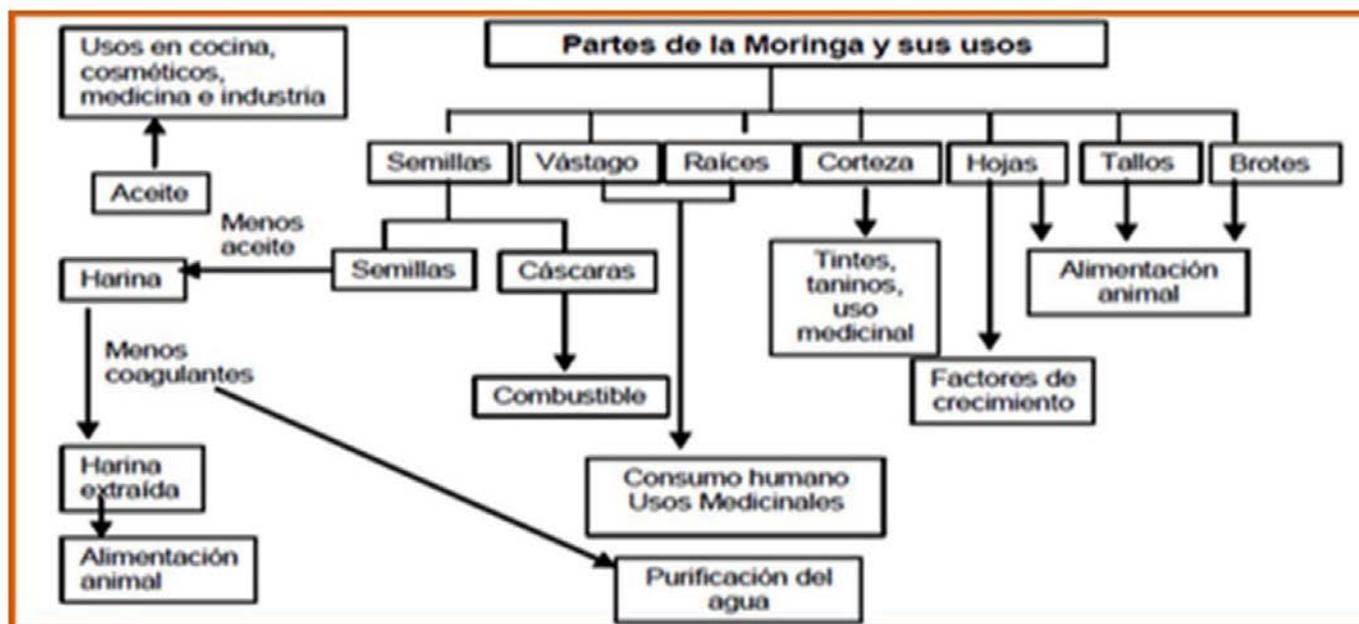


Figura 4. Usos potenciales de diferentes partes de la planta de *Moringa oleifera* en la industria y en la producción de alimentos.

Procedimiento general para la obtención del floculante natural

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, este consiste en la agitación de la masa coagulada, que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y el peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños crean, al juntarse, aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (6).

Para cada producto que se desea obtener y, en función de la planta que se utilice, existe un proceso diferente en la extracción de la sustancia activa que va a actuar como coagulante/floculante (4):

- **Selección del material:** Seleccionar la cantidad necesaria del producto natural que se desea evaluar como coagulante/floculante (cactus, moringa, entre otros). En caso de ser necesario, quitarle la cáscara, desinfectarlo y pasarlo por un cedazo o filtro para eliminar impurezas.

- **Preparación:** Luego de seleccionar las semillas, hojas o raíces aptas para evaluarlas como coagulantes y floculantes, estas se muelen en un molino, hasta obtener un polvo fino. Posteriormente, se emplean tamices de malla, con diferentes poros, hasta obtener el material con el tamaño adecuado.
- **Preparación de la solución madre:** En un recipiente de vidrio se vierte un litro de cloruro de sodio y se disuelven 50 g de la materia prima. Esta mezcla permite extraer los metabolitos secundarios de la planta, que presentan actividad coagulante/floculante.
- **Separación de grasas y aceites:** La manera más adecuada de hacer la separación de las grasas y los aceites es agregar etanol industrial al 95 % on-hexano. Se disuelven 50 g de moringa por cada 200 ml de etanol, una relación 1:4 del coagulante / solvente. Posteriormente, esta solución se agita en un vórtex a 1.300 rpm, durante 2 min, para su posterior filtración.
- **Obtención del coagulante:** Mediante una filtración se obtiene el coagulante y quedan en el papel filtro las grasas y aceites; el producto del filtrado, que es un líquido, es la sustancia coagulante, la cual se debe preservar al frío durante un mes.

Floculante de semilla de *Moringa oleífera*, obtención y aplicación en la industria azucarera

Los coagulantes naturales más empleados son los provenientes de semillas. Uno de los más conocidos es el obtenido a partir de semillas de la *Moringa oleífera*, que remueve los coloides de aguas crudas y contaminadas; el uso de este compuesto natural es ampliamente conocido en regiones rurales de la India y África, por ser una alternativa al sulfato de aluminio, que es comúnmente usado para el tratamiento del agua, amén de otros compuestos químicos más recientes como el policloruro de aluminio que, en grandes cantidades, llegan a ser tóxicos con efectos negativos en la salud humana, pues causan enfermedades neurológicas, como el Alzheimer (7).

La preparación de las semillas, para obtener polvo coagulante, necesita de la eliminación de sus recubrimientos, se debe aplicar calor para eliminar la humedad y molerla para llevarla a polvo fino. Este polvo se utiliza para hacer una solución con propiedades coagulantes y, en algunas ocasiones, se puede utilizar directamente el polvo (5).

El principio activo de estas semillas, para la floculación, son las proteínas catiónicas diméricas, que son responsables de la formación de flóculos. Las proteínas están formadas por aminoácidos, compuestos nitrogenados que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, hierro, cobre, entre otros. Diversas investigaciones han documentado que los polielectrolitos catiónicos, que conforman el componente activo floculante, logran remover el 90 % de turbidez y la DQO, respecto al agua inicial utilizada, a un pH igual a 10.

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la torta residual, para los parámetros analizados, según los métodos normalizados para el análisis de aguas totales y residuales (2).

Tabla 6. Características del coagulante

Parámetros	Coagulante
Nitrógeno (%)	7.7
Proteína (%)	11.31
Humedad (%)	5.20
Densidad (g/cm ³)	0.33

El floculante natural obtenido de las semillas de *Moringa oleífera* es un tratamiento primario viable, barato y de fácil acceso para las comunidades que no disponen de este recurso.

En este sentido, el empleo de las semillas de *Moringa oleífera*, por ser uno de los mejores floculantes naturales conocidos, garantiza la depuración y purificación de aguas fluviales y de aguas turbias y la clarificación en algunos procesos químicos, pues contienen un coagulante activo carac-

terizado como un péptido catiónico, de peso molecular aproximado a 13 kDa y punto isoeléctrico a pH 10, se considera que este péptido puede ser una alternativa viable para reemplazar, parcial o completamente, los productos químicos utilizados en el tratamiento de aguas y se ha reportado que disminuye la acumulación de aluminio en los lodos residuales y abarata los costos en el tratamiento de aguas (5).

Aplicación en la industria azucarera

En la agroindustria cañera, la clarificación de los jugos es un punto crítico y se realiza por la adición de floculantes, a partir de mucílagos vegetales, que son sustancias obtenidas a partir de tallos, hojas y/o frutos de algunas plantas naturales, las cuales se maceran y se mezclan con el agua, para formar una sustancia mucílagos que, al aplicarse al jugo de caña caliente, atrapa los sólidos insolubles presentes en el jugo, forma flóculos de mayor tamaño (cachaza), que pueden retirarse por medios físicos, con el propósito de obtener un jugo limpio; por ello se ha estudiado la forma de mejorar la eficiencia de la clarificación, a través del uso de floculantes y controlar variables técnicas como su concentración, para optimizar la eficiencia de la separación e incrementar la transparencia del jugo clarificado, así como la calidad del producto final (8).

Durante los últimos cuarenta años, los centrales azucareros han trabajado con diferentes marcas comerciales y los resultados de costo/beneficio no difieren mucho pues dependen, en gran medida, de la composición de la caña que ingresa durante el día, lo cual representa un factor importante a la hora de elegir la mejor opción de la caña. Otro factor es la concentración óptima del floculante a dosificar, que conducirá a un eficiente trabajo del clarificador con la correcta eliminación de impurezas, que es parte esencial del proceso de fabricación del azúcar crudo y representa un punto crítico dentro del esquema tecnológico.

Método de obtención del floculante

Al emplear la semilla cruda y la torta residual como coagulantes es necesario preparar soluciones a 10.000 ppm de polvo de semilla de *Moringa oleífera* desgrasada o sin desgrasar (semilla cruda).

De manera general, el procedimiento a escala de laboratorio es:

- secar en estufa la semilla de moringa (desgrasada o sin desgrasar) por 6 horas, a 80 °C,
- sacar la semilla de la estufa y colocar en un mortero, macerar la semilla y tamizar hasta obtener un polvo fino, de color blanco amarillento,
- pesar 5 g del polvo fino de semilla de moringa en una balanza analítica y disolver en 500 ml de agua destilada,
- filtrar la solución para eliminar los sólidos no disueltos,
- preparar la solución coagulante a 700 ppm, a partir de esta solución de 10.000 ppm.

Caracterización de la *Moringa oleífera* en Cuba y su disponibilidad de materia prima

En Cuba, la *Moringa oleífera* se encuentra distribuida en todo el territorio nacional. Se le conoce como paraíso francés y otros nombres vulgares, tales como: acacia, ben y palo jeringa, así como tilo francés y tilo americano.

Esta especie es un biorecurso de mucho interés para su explotación en Cuba y se establecen estrategias para su uso:

- empleo de las hojas y los frutos tiernos en la alimentación humana y animal y en la extracción de sus principios activos para posibles usos médico-farmacéuticos,
- utilización de los frutos secos en la producción de aceite, para posibles usos alimenticios y no alimenticios. Esta variante generaría tortas de prensado, vainas y cascarillas,

- utilización de las tortas para posible extracción de proteínas, con el fin de purificar el agua y extraerles los principios activos para usos médico-farmacéuticos. El resto de la torta podría dirigirse a la alimentación animal,
- utilización de las vainas con el interés de producir de etanol, aunque se requiere más investigación.

Actualmente, en Cuba se establecen alianzas interinstitucionales e intersectoriales destinadas a fomentar la producción, uso y consumo racional de la *Moringa oleífera*, ya que cuenta con varias ventajas: elevada velocidad de crecimiento y producción de biomasa, facilidad de cultivo, capacidad de aceptar de forma sistemática grandes podas y rusticidad en cuanto a soportar sequías o adaptación a tipos de suelos áridos, como se muestra en el Programa nacional cubano de la agricultura urbana y suburbana que tiene entre sus prioridades la promoción, venta y divulgación de su cultivo a nivel comunitario (2).

La industria farmacéutica nacional ha incorporado la *Moringa oleífera* a su cartera de productos. El Laboratorio Farmacéutico Oriente ha desarrollado un suplemento de moringa en forma de tabletas, elaborado a partir de las hojas secas de la planta convertidas en polvo. Actualmente se comercializa en todo el país, en forma de cápsulas, tabletas y té de moringa y es distribuido al público como un complemento nutricional, debido a su alto contenido de zinc, proteínas, calcio, hierro y vitaminas A y C.

La industria alimenticia tiene un importante reto: la incorporación de la *Moringa oleífera* como ingrediente, como sustituto de diferentes conservantes y antioxidantes químicos por otros naturales; y, al mismo tiempo, hacer de los productos básicos, alimentos altamente nutritivos.

Análisis económico del proceso

Decidir si un proyecto de ingeniería es viable o no, puede solo determinarse a través de un análisis técnico-económico, que puede ser realizado con el uso varios métodos y criterios.

Estos métodos de análisis técnico-económicos tienen algunas especificaciones y algunas restricciones de uso. El método de Tasa Interna de Retorno (TIR) es, generalmente, el más aceptado y utilizado para el análisis de proyecto como parámetro de decisión.

El desarrollo del presente trabajo constituye una demostración de cómo crear una pequeña planta para la obtención de floculantes a partir de la semilla de *Moringa oleífera* y el análisis técnico-económico que se realizó.

Descripción del proceso

El proceso comienza con la recepción de las vainas de moringa, que traen consigo un porcentaje de impurezas; seguidamente, se realiza una clasificación para separar las vainas en mal estado y las impurezas que traen.

El tratamiento preliminar de la materia prima se inicia con la separación de las semillas de las vainas y, luego, se realiza una molienda para separar la cáscara de la almendra; estas se lavan y se exponen al sol durante cuatro días, para reducir el contenido de humedad. Luego del secado la torta de semilla se somete a un proceso de molienda y, posteriormente, es tamizada. La harina obtenida se seca por 2 h en una estufa a 55 °C y, finalmente, se realiza la extracción del principio activo del floculante con una disolución acuosa de cloruro de calcio, que se agita durante 30 min, se filtra (en el proceso industrial sería con una centrifuga o filtro de prensa) y se obtiene el floculante.

Caracterización del diseño

Para diseñar la planta se parte de una capacidad de producción de 375 000 L/año; con esta capacidad y, en función de los días de trabajo en el año y el consumo de materia prima se realiza

el cálculo del dimensionamiento de los equipos, así como los balances de masa correspondientes. Aunque no se ha realizado un estudio de demanda, a partir de la disponibilidad de materias primas, se propone esta capacidad debido a las necesidades de este floculante para la clarificación de los jugos en el proceso de producción de azúcar, que responde a proyectos nacionales e internacionales en nuestro país.

Tabla 7. Costo de equipamiento de la planta

Equipo	Capacidad	Costos (USD\$)
Silo de almacenamiento	2000 L	5000.00
Molino	1500 kg/h	7000.00
Tamiz vibratorio 1	720 kg/h	1800.00
Tamiz vibratorio 2	720 kg/h	1800.00
Secador de bandeja	18.5 m ³ /bandeja	3800.00
Extractor	1200 L/h	15000.00
Tanque de mezcla c/ agitación	m ³ /h	2800.00

Tabla 8. Costos directos de la planta

	Costo (USD \$)
Instalación	13700.00
Instrumentación	11600.00
Tuberías	10200.00
Instalación eléctrica	29000.00

Se emplearon las tablas del Ministerio de Economía y Precio (MEP), dispuestas por el Ministerio de Economía para facilitar los cálculos. Para ello, se realizaron los balances de masa correspondientes a los equipos involucrados y se propone un esquema tecnológico para la obtención del floculante. Para determinar el costo de adquisición del equipamiento tecnológico se utilizó el método propuesto por Timmerhaus (9) y se actualizaron los costos. Con los costos de equipamiento, que ascienden a 2 000 000 687 080 CUP se determinaron los costos directos, que también están constituidos por los costos de instalación: electricidad, tuberías y facilidades auxiliares que representan un 57.59 % del costo del equipamiento. Los costos indirectos están dirigidos a la ingeniería y la supervisión y a los gastos de construcción.

El capital fijo de 2 000 000 901 040 CUP, está conformado por la suma de los costos directos e indirectos, los pagos al contratista y los costos por contingencias. Entonces, el capital fijo más el capital de trabajo constituyen el costo total de inversión que asciende a 3 000 000 297 081 CUP. Luego se analizan los ingresos que generan las ventas del floculante y los egresos, que es lo que se invierte en la compra de la semilla de moringa, la torta y el agua. La diferencia de los ingresos menos los egresos generan las ganancias, esa diferencia es la que define si es factible o no el proceso.

Cálculo de los indicadores dinámicos de la inversión

Los indicadores dinámicos de la inversión se determinan a partir del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI). Para ello, se parte de determinar los costos de producción, así como los ingresos que brinda la tecnología y se utiliza una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

Tabla 9. Indicadores dinámicos de la inversión

Indicadores	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	3 632 980 \$
Tasa Interna de Retorno (TIR)	41.2 %
Periodo de Recuperación (PRI)	5.6 años

Se parte de una capacidad de producción de la planta de 375 000 L/ año, de floculante de moringa, que equivale a 15 625 L/d. La planta contará con un suministro de materia prima de 150 kg de semillas de moringa para 24 días de producción, por lo que será necesario un tanque de almacenamiento de 204.9 m³ de capacidad.

La planta funciona 24 días por mes, durante 11 meses al año. La instalación trabajará, diariamente, con un molino con una capacidad de molienda de 680 m³/h, por lo que el tiempo de molienda es de 2 horas.

El equipamiento contará con una autoclave de 1.01 m³ de capacidad, un extractor de 0.40 m³ y un separador con el mismo volumen.

Los egresos consisten en la inversión, debido a la compra de las materias primas, como: semillas de moringa, cloruro de calcio, agua tratada, así como los frascos, las tapas y etiquetas que se emplearán en el proceso, lo que asciende a 2 000 000 064 000 CUP mientras que la resta entre los ingresos y los egresos constituirá la ganancia que se obtendrá en el proceso.

Dentro de los costos de inversión de la instalación se observa que los costos de equipamiento representan los mayores gastos, con un 81.50 %, seguido de los costos de capital fijo de trabajo y de los gastos previos (12.02 y 6.48 %, respectivamente). Dentro de los equipos, los que más influirían en los costos de adquisición serán el secador de bandeja, el molino y el extractor. El costo de inversión total sería de 3 000 000 297 081 CUP

Algunos indicadores económicos, como edificaciones y compra y reparación del terreno tienen valor cero porque ya se cuenta con una edificación para la instalación de la planta, por lo que no es necesario realizar ninguna inversión. Con los flujos de cajas, calculados de la diferencia entre las ventas y los gastos y considerando una tasa de descuento del 12 % fue posible calcular los principales parámetros económicos. El VAN dio un valor de 3 000 000 632 098 CUP como el valor resultó positivo el proyecto puede ser ejecutado sin riesgo. El proyecto podrá ser recuperado en 5.6 años (PRI), con una TIR de 41.2 %.

El comportamiento del VAN se calculó para un período de 10 años, los valores resultaron negativos hasta el segundo año, ya a partir del tercer año los valores serían positivos y, a medida que se avance en el horizonte de planificación, los valores irán aumentando.

CONCLUSIONES

1. Las semillas de la *Moringa oleífera* se pueden emplear como alternativa para la sustitución de coagulantes químicos pues, según diversas investigaciones, los polielectrolitos catiónicos que conforman el componente activo floculante, logran remover el 90 % de turbidez.
2. La propuesta tecnológica para la obtención de floculantes de moringa resulta factible desde el punto de vista técnico económico y ambiental. El costo de inversión es de \$ 3 000 000 297 081 CUP y un período de recuperación de la inversión de 5.6 años, un VAN positivo de 3 000 000 632 098 CUP y una TIR de un 41.2 %; el proyecto resulta atractivo desde el punto de vista inversionista y puede ser ejecutado sin riesgo.
3. Se concluye que, a mayor turbidez en el agua, mayor es el efecto de la *Moringa oleífera* como floculante, aunque también influyen otros factores como el tiempo de sedimentación, así como

el tiempo de floculación, pues mientras mayor sea la turbidez más difícil será romper la tensión superficial del agua para permitir que el coagulante realice su trabajo.

4. El empleo de materiales naturales puede minimizar el impacto de los coagulantes químicos y reducir, de manera significativa, los costos de los tratamientos; además, son seguros, respetuosos del medioambiente y, en general, libres de tóxicos y se dispone de ellos a nivel local. Las fuentes para la producción de agentes naturales dependen, en gran medida, de la disponibilidad de los recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez, S.; *et al.* Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 2005, Vol. 36, No. Especial.
2. Rondón, M.; *et al.* Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 2017, Vol. 38, No. 2, pp. 87-101.
3. Huerta Calleja, K. Importancia de los floculantes en procesos industriales. Contenedores y químicos de México S.A. Contyquim.com. Marzo 2022. <https://contyquim.com>
4. Murillo Montoya, S.A.; Pacheco Gonzáles, S.I.; Galvis, G.M. Manual técnico para la elaboración de coagulantes / floculantes a partir de productos naturales. Centro Pecuario y Agro empresarial. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Regional Caldas. La Dorada Caldas, Colombia. Julio 2020.
5. García Torres, A.G; Martínez Cubias, R.K.M; Rodríguez Díaz, I.A. Evaluación de los usos potenciales del teberinto (moringa oleífera) como generador de materia prima para la industria química. Universidad de El Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de Ingeniería química e Ingeniería de alimentos. San Salvador, marzo 2013.
6. Díaz Claros, J.N. Coagulantes-floculantes orgánico e inorgánico elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Univ. Pedagógica Nacional Francisco Morazan. Vice-Rectoría de Investigación y Post Grado. Dirección de Post Grado. San Pedro Sula Cortes. Diciembre, 2014.
7. Poveda Ocaña, R.A. Obtención de coagulantes/ floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua. Universidad Técnica de AMBATO. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Febrero 2022.
8. Escudero Jaramillo, F. M.; Diestra Galarreta, A. G. Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y turbidez del jugo clarificado en agroindustrias san Jacinto S.A.A. Universidad Nacional de la Santa. Facultad de Ingeniería. E. A. P. de Ingeniería Agroindustrial. Nuevo Chimbote – Perú. 2016.
9. Peters, M. S.; Timmerhaus, K. D. Plant design and economics for chemical engineers. New York: ed. McGraw-Hill, 1991, 923 p. ISBN: 0-07-049613-7.