

**Eficiencia del coagulante de la semilla de  
*Moringa oleifera* en el tratamiento de agua  
con baja turbidez**

**Karen Rogelia Gómez Gutiérrez**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2010

ZAMORANO  
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE

**Eficiencia del coagulante de la semilla de  
*Moringa oleifera* en el tratamiento de agua  
con baja turbidez**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Karen Rogelia Gómez Gutiérrez**

**Zamorano, Honduras**  
Diciembre, 2010

# **Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua con baja turbidez**

Presentado por:

Karen Rogelia Gómez Gutiérrez

Aprobado:

---

Erika Tenorio, M.Sc.  
Asesora Principal

---

Arie Sanders, M.Sc.  
Director  
Carrera de Desarrollo Socioeconómico  
y Ambiente

---

Arie Sanders, M.Sc.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.  
Rector

## RESUMEN

Gómez, K. 2010. Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua con baja turbidez. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 14p.

Una de las limitantes en el consumo de agua en zonas rurales a nivel mundial es la presencia de partículas en suspensión que se reflejan en turbiedades medias y elevadas. Atendiendo a esta problemática se evaluaron alternativas de bajo costo en extracción del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* (marango) para el tratamiento de aguas con turbidez en un ámbito de 50-100 UNT. Se realizaron ensayos con tratamientos para evaluar la adición de cloruro de sodio (NaCl), presencia de cáscara (Cc) y la dosis para establecer si existe una relación en la eficiencia del coagulante para reducir la turbidez y la presencia de estas variables. Los ensayos de coagulación se realizaron utilizando los principios de la prueba de jarras con extractos de semillas cosechadas en la zona sur de Honduras. El análisis de los datos para determinar el mejor tratamiento se realizó utilizando la prueba estadística H Kruskal Wallis y para determinar las variables que afectan el rendimiento del coagulante se utilizó una regresión lineal. Se determinó que la extracción del coagulante de la semilla de marango es viable para el tratamiento de agua con baja turbidez. No obstante, la evaluación indicó que el mejor tratamiento es la aplicación de semilla con cáscara junto con la adición de NaCl (CcNaCl) en una dosis de 25 mL/L que resulta en una eficiencia de 69%. Se encontró que las variables determinan la eficiencia son la presencia de NaCl y la dosis de marango. Se comprobó que la presencia del NaCl potencializa la función del coagulante del marango debido a que se presentan los mejores rendimientos en los tratamientos que contienen NaCl en combinación con el componente activo del marango esto sucede porque el NaCl favorece la solubilidad de la proteína con propiedades coagulantes en el agua turbia provocando que exista mayor área de contacto y resultando en una reducción de turbidez. Se comprobó que pueden aplicarse alternativas de bajo costo para extraer el coagulante de marango para el tratamiento de agua en zonas rurales.

**Palabras clave:** coagulación, cloruro de sodio, marango, unidades nefelométricas de turbidez

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros y figuras.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGIA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>4</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>8</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>7. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>14</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro	Página
1. Descripción de las siglas usadas para representar la solución madre de los 13 tratamientos del marango usados para el tratamiento de agua turbia sintética.....	6
2. Tratamientos del extracto de la semilla de marango usados en el estudio para el tratamiento de agua con baja turbidez.....	6
3. Réplicas de los tratamientos usados para aplicarlos en el agua turbia sintética.....	7
4. Descripción del rendimiento promedio de los 13 tratamientos usados para la remoción de partículas coloidales en agua de baja turbidez.....	9
5. Resumen de los resultados de la regresión lineal.....	10

Figura	Página
1. Comparación de los rendimientos en reducción de turbiedad de los tratamientos, con 97 UNT de turbidez inicia.....	8

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de desarrollo del milenio generados en la cumbre mundial de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el 2015 es mejorar la calidad de agua potable en países en vías de desarrollo y aumentar el acceso a este servicio. A pesar de que los gobiernos se han propuesto metas para mejorar este servicio, la disponibilidad de calidad de agua para consumo humano sigue siendo deficiente. Las tecnologías existentes de tratamiento actual representan altos costos de infraestructura y mantenimiento, obstaculizando el cumplimiento de las metas planteadas para la mejora de calidad de vida y provocando problemas de salud a nivel mundial. A mediados de la década de los 90 estas deficiencias resultaron en la muerte de alrededor de 2.2 millones de personas en su mayoría niños menores de cinco años por causa de enfermedades gastrointestinales como la diarrea a nivel mundial (OMS, 2000).

El principal tratamiento químico para el agua con alta turbiedad en Honduras es la aplicación del coagulante sintético sulfato de aluminio ( $Al_2SO_4$ ) que representa altos costos para las plantas potabilizadoras urbanas y es inaccesible en sistemas rurales. El uso de sulfato de aluminio para el tratamiento del agua resulta en grandes cantidades de lodos producidos durante el tratamiento y un alto nivel de aluminio que permanece en el agua tratada. Esto puede presentar un problema de salud ya que se ha demostrado que la ingesta de grandes cantidad de sales de aluminio esta relacionada con la enfermedad de Alzheimer (Loreto y Ferran, 2002).

Este estudio tiene como objetivo buscar alternativas de bajo costo que mejoren la calidad de agua para consumo humano. Se analizó la eficiencia de métodos alternativos de extracción del coagulante de *Moringa oleifera* (marango) en aguas de baja turbidez en busca de una opción para el tratamiento de agua potable en las zonas rurales. Se analizó el mejor tratamiento de marango para la remoción de partículas en agua con baja turbidez y así determinar la mejor eficiencia. Se examinó cuatro variables para determinar si tienen efecto en el rendimiento del coagulante de marango las variables analizadas fueron las siguientes: presencia de cáscara, dosis del tratamiento, presencia de cloruro de sodio (NaCl) y la turbidez inicial.

## **2. REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 DESCRIPCION DE LA MORINGA OLEIFERA**

El marango (*Moringa oleífera* Lam- Moringaceae) es originario de India y Bangladesh. Se encuentra distribuida en las zonas del Sur y Sudeste de Asia. Se adapta muy bien en los trópicos y subtropicos (Radovich, 2009). Las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas son temperaturas entre 25-30 °C, una precipitación anual de 1,000 a 2,000 mm, alta radiación solar y suelos bien drenados. El marango es un árbol de crecimiento rápido que puede alcanzar una altura de siete a 12 metros hasta la corona. Esta especie se caracteriza por poseer 20 a 30 cm de diámetro, raíces fuertes - profundas y un ciclo de vida relativamente corto, con un promedio de 20 años. Los frutos son cápsulas trilobuladas, conocidas como vainas, las cuales varían de color de acuerdo al estado de madurez, verde cuando son inmaduras o rojizas cuando están maduras. Las vainas secas contienen aproximadamente de 15 a 20 semillas (Radovich, 2009).

### **2.2 MARANGO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA**

Las propiedades coagulantes del marango han sido estudiadas durante la última década. La purificación y la caracterización del componente activo del marango han sido de alto interés para determinar los mecanismos de coagulación y compararlo con el sulfato de aluminio. Se ha comprobado que el marango puede ser utilizado para el tratamiento de agua con concha o sin concha. La acción del marango en el agua se debe a la presencia de proteínas catiónicas solubles. Las proteínas están densamente cargadas con un peso molecular de 13Kda. La absorción - neutralización de cargas son los principales mecanismos de coagulación presentes en el tratamiento con marango (Ndabigengesere *et al.* 1995).

Los estudios comparativos del marango y el sulfato de aluminio para el tratamiento de agua demuestran que el marango es una alternativa viable como coagulante para el tratamiento de agua potable en países en vías de desarrollo. Una de las ventajas del marango es que no es necesario controlar el pH a diferencia de los tratamientos con sulfato de aluminio (Ndabigengesere *et al.* 1998). Marango es de bajo costo y de fácil acceso para familias que viven en zonas rurales pobres.



En un estudio comparativo del sulfato de aluminio y las semillas del marango para la depuración de aguas con baja turbiedad realizado en la laguna de Jiqui, estado del Rio Grande del Norte, Brasil. Se encontró que las semillas del marango tienen una eficiencia ligeramente inferior que la observada con el sulfato de aluminio. Lo anterior, junto con otros estudios realizados a partir de la década de los 80, justifica el uso de las semillas del marango como coagulante para el tratamiento de agua (Lédo *et al.* 2010).

La mejora de la extracción del coagulante de la semilla del marango se llevó a cabo utilizando diferentes soluciones acuosas tales como lo son el cloruro de sodio, el nitrato de potasio y el nitrato de sodio para la extracción del componente activo de las semillas. Se observó que la eficiencia del marango es de 95% la cual baja a 78% si no se usa cloruro de sodio (Okuda *et al.* 2001).

En Honduras se realizó un estudio sobre la validación de la efectividad de la semilla del marango como coagulante natural del agua destinada al consumo humano en la región del Yeguaré. En el que se obtuvo una eficiencia de un 98% en semillas con testa y un 93% sin testa. Estos rendimientos obtenidos están en un ámbito de turbidez de 150 a 500 UNT y se observó mayor eficiencia del coagulante de las semillas del marango en turbidez altas. Además las dosis óptimas para alcanzar este rendimiento fueron de 0.1 y 0.2 g. L<sup>-1</sup> (Núñez, 2007).

### **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA DE *MORINGA OLEIFERA***

La semilla del marango contiene 17 aminoácidos (ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), serina (Ser), glicina (Gli), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Tre), alanina (Ala), prolina (Pro), tirosina (Tir), valina (Val), metionina (Met), cistina (Cis), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina (Fen) y lisina (Lis)). Campos *et al.* (2003), reportaron la presencia de estos aminoácidos en la fracción activa del marango, a excepción de la lisina. Este último aminoácido podría participar en la desestabilización de las partículas coloidales, responsables de la turbidez del agua y de su subsiguiente coagulación.

Los aminoácidos polares hidrofílicos presentes en la semilla del marango son: Glu, Asp, Arg, His y Lis, los cuales se presentan en el agente coagulante activo de las semillas del marango de tal manera que este coagulante puede estar formado principalmente de una o varias proteínas o cadenas polipeptídicas solubles en agua permitiendo mayor contacto con las partículas coloidales presentes en agua turbias y así mejorando la función coagulante de las semillas (Ndabigengesere *et al.* 1995).

### **3. METODOLOGIA DEL ESTUDIO**

Para determinar la eficiencia en reducción de turbiedad de diferentes métodos de extracción del coagulante del marango, así como la factibilidad de la adición de otros compuestos que pueden favorecer los procesos de coagulación, se realizaron una serie de ensayos de coagulación/floculación en nuestras sintéticas de agua turbia. Posteriormente se compararon los resultados considerando los métodos de extracción, la adición de cloruro de sodio y distintas dosis del extracto de la semilla. A continuación se describe el proceso de los ensayos.

El primer paso es la preparación de agua sintética. Esta agua se preparó con caolín marca Acros Organics®. Brevemente se añadieron cinco gramos de caolín por un litro de agua proveniente del grifo. La mezcla de caolín y agua se agitó con un removedor marca Corning Pride® a 200 rpm durante una hora y se dejó en reposo 24 horas en conos de sedimentación Imhoff, obteniendo el agua turbia sintética (Ndabigengesere *et al.* 1995).

Luego se preparó la solución salina agregando un mol de NaCl marca J.T. Baker® por litro de agua. Esta solución se removió durante 20 minutos con un agitador magnético a 200 rpm para homogenizar la distribución del NaCl. Esta fue la solución madre de NaCl que se utilizó para los tratamientos donde se aplicó NaCl y marango (Okuda *et al.* 2001).

Para la preparación del polvo de las semillas del marango se utilizó un mini procesador comercial marca Cuisinart® para pulverizar semillas sin pelar y peladas de marango provenientes de SETROS, proveedor de semillas tropicales en Honduras, hasta obtener partículas finas (Ndabigengesere *et al.* 1998).

#### **3.1 EXTRACCIÓN DEL COAGULANTE DE *MORINGA OLEIFERA***

La extracción del coagulante de marango usando cloruro de sodio se realizó siguiendo la primera fase de la metodología de extracción planteada por Okuda *et al.* (1999). La purificación planteada en esta metodología no se realizó por representar altos costos y su poca replicabilidad en contextos rurales del país.

La solución madre del marango con NaCl se obtuvo extrayendo el componente activo del marango usando como solvente el cloruro de sodio (NaCl), brevemente se añadió 25 g del polvo del marango en un litro de la solución de NaCl. Posteriormente se removió durante 10 minutos con un agitador magnético a 60 rpm. La solución resultante fue filtrada en papel filtro, marca Shur Fine, con tamaños de poro de alrededor de 15 micras. Esta es la solución madre del extracto del marango con NaCl (Okuda *et al.* 2001).

En el caso de la extracción de coagulante en agua, la solución madre del extracto del marango consistió en añadir 25 g del polvo del marango por un litro de agua de la llave. Luego la solución se removió durante 10 minutos con un agitador magnético a 60 rpm. La solución resultante fue filtrada en papel filtro marca Shur Fine. Esta es la solución madre del extracto del marango.

### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

La evaluación de la eficiencia del marango y las pruebas de coagulación se realizó mediante 13 tratamientos (Cuadro 1 y 2) de los cuales se analizó la eficiencia que tiene el coagulante del marango en el agua de baja turbidez. Se realizaron tres replicas por cada tratamiento para obtener un total de 76 repeticiones (Cuadro 3). La eficiencia está determinada por la turbidez inicial y la turbidez final como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de Reducción (\%)} = \frac{\text{Turbidez Inicial (UNT)} - \text{Turbidez Final (UNT)}}{\text{Turbidez Inicial (UNT)}} \quad [1]$$

El ámbito de turbidez inicial de las muestras fue de 50 a 100 UNT. Las dosificaciones de marango utilizadas fueron:

- 1) 0.25 g/L
- 2) 0.375 g/L
- 3) 0.625 g/L

Representa el polvo de *Moringa oleifera* disuelto en el solvente para el tratamiento de agua turbia y está dado en g/L.

Cuadro 1. Descripción de las siglas usadas para representar la solución madre de los 13 tratamientos del marango usados para el tratamiento de agua turbia sintética.

<b>Siglas de las soluciones madres del marango</b>	<b>Descripción</b>
ScNaCl	Representa las semillas del marango sin cáscara disueltas en la solución salina
CcNaCl	Representa las semillas del marango con cáscara disueltas en la solución salina
ScMO	Representa las semillas del marango sin cáscara disueltas en agua del grifo.
CcMO	Representa las semillas del marango con cáscara disueltas en agua del grifo.

Cuadro 2. Tratamientos del extracto de la semilla de marango usados en el estudio para el tratamiento de agua con baja turbidez.

<b>#</b>	<b>Solución Madre</b>	<b>Dosis (mL/L de la solución madre)</b>	<b>Tratamiento</b>
1	ScNaCl	10	ScNaCl 10 mL
2	ScNaCl	15	ScNaCl 15 mL
3	ScNaCl	25	ScNaCl 25 mL
4	CcNaCl	10	CcNaCl 10 mL
5	CcNaCl	15	CcNaCl 15 mL
6	CcNaCl	25	CcNaCl 25 mL
7	ScMO	10	ScMO 10 mL
8	ScMO	15	ScMO 15 mL
9	ScMO	25	ScMO 25 mL
10	CcMO	10	CcMO 10 mL
11	CcMO	15	CcMO 15 mL
12	CcMO	25	CcMO 25 mL
13	MO=0	Control	MO=0

Cuadro 3. Réplicas de los tratamientos usados para aplicarlos en el agua turbia sintética.

#	Tratamiento	Réplicas por Tratamiento	Dosis (mL/L de solución madre)
1	ScNaCl 10 mL	3	10
2	ScNaCl 15 mL	3	15
3	ScNaCl 25 mL	3	25
4	CcNaCl 10 mL	3	10
5	CcNaCl 15 mL	3	15
6	CcNaCl 25 mL	3	25
7	ScMO 10 mL	3	10
8	ScMO 15 mL	3	15
9	ScMO 25 mL	3	25
10	CcMO 10 mL	3	10
11	CcMO 15 mL	3	15
12	CcMO 25 mL	3	25
13	MO=0	36	Control

La prueba de Kruskal- Wallis es un análisis no paramétrico de varianza que analiza las variables independientes que corresponden a los 13 tratamientos del marango utilizados para tratar el agua turbia sintética y evaluar las distribuciones que tienen las variables dependientes, en este caso corresponde a la eficiencia de cada tratamiento.

La regresión lineal se utilizó para analizar las variables independientes que mejor predigan el valor de la variable dependiente. Las variables independientes corresponden a la presencia de cáscara de la semilla del marango, el ámbito de la turbidez inicial, la presencia de NaCl y la dosis aplicada de cada tratamiento para evaluar si estas variables tienen un efecto en la variable dependiente, el rendimiento.

### 3.3 PRUEBAS DE COAGULACIÓN

Los ensayos de coagulación y floculación se realizaron con el procedimiento estándar de prueba de Jarras. En cada ensayo se varió la dosis de cada tratamiento las cuales corresponden a 10 mL, 15 mL y 25 mL por cada litro de agua turbia tratada, luego se removió durante dos minutos con un removedor magnético marca Corning Pride a 150 rpm para estimular el componente activo. Inmediatamente se bajó la velocidad de remoción a 60 rpm durante 30 minutos para tener una distribución homogénea. Finalmente, se dejó reposar durante una hora previo a su medición.

### 3.4 MEDICIONES DE LA TURBIEDAD

La turbiedad inicial (Tb0) y final (Tbf) se midió en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) con un turbidímetro portátil marca OAKTON® previamente calibrado. Se tomaron medidas de turbiedad inicial, antes de añadir el tratamiento y de la turbiedad final, después de ser tratada.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 ANALISIS DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos de la semilla del marango para el tratamiento de agua con baja turbidez tienen rendimientos diferentes como se puede observar en la figura 1, ya que presentan diferentes eficiencias en cuanto a la remoción de partículas coloidales presentes en el agua turbia sintética.

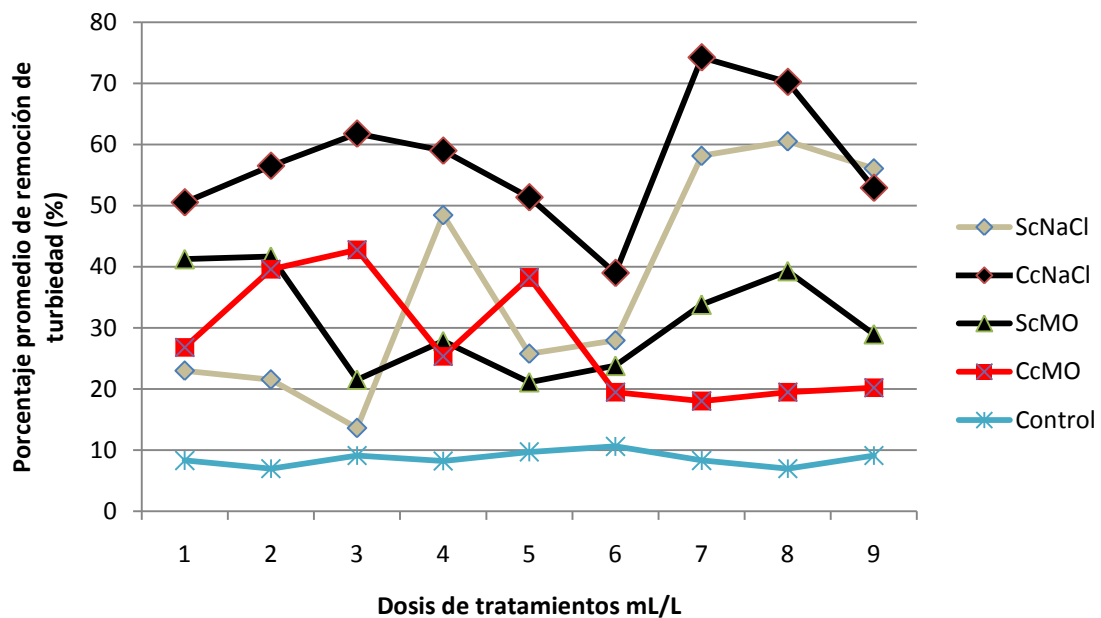


Figura 1. Comparación de los rendimientos en reducción de turbiedad de los tratamientos, con 97 UNT de turbiedad inicial.

La relación que existe entre el tratamiento y el rendimiento que tiene cada uno de ellos es diferente, de esta manera la hipótesis nula referida a que los tratamientos son iguales y por esa razón tienen rendimientos iguales se rechaza ( $p < 0.05$ ). Se determinó que el rendimiento obtenido en cada uno de los tratamientos donde se utilizó el marango, ha disminuido la turbiedad inicial. Este efecto se debe a que la semilla presenta el coagulante que forma floculos de los sedimentos en suspensión y no un simple proceso de sedimentación. Los tratamientos utilizados en este estudio tienen diferencias en el rendimiento, lo que hace constar que el marango tiene las propiedades necesarias para la purificación del agua turbia sintética. Las dosis utilizadas se miden en mililitros (mL) por litro de agua turbia (Ndabigengesere *et al.* 1998).

La mejor dosis para el tratamiento de agua con turbidez inicial de 97 UNT es CcNaCl- 25 mL/L, con un rendimiento de 69% (Cuadro 4). Además se observa que al no tratar el agua turbia se obtiene una sedimentación de los componentes más pesados y esto representa un total de remoción de 18.5%. Ello implica que es necesario hacer uso de un tratamiento de agua para que la salud humana no sea afectada desfavorablemente y usar el marango como alternativa para el tratamiento de agua en los países que no cuentan con el servicio, especialmente los países en vías de desarrollo (Ndabigengesere *et al.* 1995).

Cuadro 4. Descripción del rendimiento promedio de los 13 tratamientos usados para la remoción de partículas coloidales en agua de baja turbidez

Tratamiento	N	Ámbito promedio %
ScNaCl-10mL/L	3	41.83
ScNaCl-15mL/L	3	53.33
ScNaCl-25mL/L	3	67.00
CcNaCl-10mL/L	3	66-00
CcNaCl-15mL/L	3	62-00
CcNaCl-25mL/L	3	69-00
ScMO-10mL/L	3	53.50
ScMO-15mL/L	3	46-00
ScMO-25mL/L	3	53.57
CcMO-10mL/L	3	55.33
CcMO-15mL/L	3	46.83
CcMO-25mL/L	3	39.50
Control	36	18.50
Total	72	

#### 4.2 PARÁMETROS DE INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO DEL COAGULANTE DE MORINGA OLEIFERA

Las variables independientes evaluadas fueron la dosis en mL/L, el ámbito de turbidez inicial (UNT) y los tratamientos de CcMO, CcNaCl y ScNaC (Cuadro 5). Estas variables se utilizaron para determinar si existe influencia en la variable dependiente como lo es el rendimiento de los tratamientos. Es evidente que existe influencia en el rendimiento del marango según las variables independientes analizadas ya que tienen valores P menores a lo establecido ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 5. Resumen de los resultados de la regresión lineal.

	B	P
(Constante)	41.37	0.002
Rango Tb0	-1.60	0.620
ScNaCl	2.61	0.743
CcNaCl	13.03	0.036
CcMO	-9.41	0.055
Dosis_ ml/L	0.72	0.019

Variable dependiente: Rendimiento

Las variables independientes que no representan influencia en el rendimiento del coagulante de marango son el ámbito rango de turbidez inicial (UNT) y el tratamiento ScNaCl; porque la hipótesis nula no se rechaza ya que presenta valores mayores a los establecidos según los valores P ( $P > 0.05$ ). No obstante, las variables que mostraron efecto en el rendimiento del coagulante porque los valores P son menores a los establecido por lo cual la hipótesis nula se rechaza son el tratamiento CcNaCl, CcMO, la dosis del tratamiento mL/L que se aplica al agua turbia y la constante ( $P < 0.05$ ). El poder de predicción de este ensayo corresponde a  $R^2$  0.369, quiere decir que al repetir 100 veces el análisis de los datos se obtendrá, 36.9% de seguridad que se obtendrá los mismos resultados.

La influencia que tiene la dosis de marango se relaciona con la cantidad de coagulante aplicada al agua turbia sintética. Con respecto al cloruro de sodio, el efecto que tiene en el coagulante del marango y su rendimiento debido a que el cloruro de sodio hace que la proteína catiónica que compone el coagulante de marango se vuelve más soluble en el agua turbia provocando que exista mayor contacto con las partículas presentes en el agua. De esta manera se potencializa el coagulante del marango (Lilliehook, 2005).



## 5. CONCLUSIONES

- La capacidad coagulante del marango para el tratamiento de agua con baja turbidez se potencializa usando NaCl ya que existe una relación entre los mejores rendimientos y la presencia del NaCl. Los tratamientos sin NaCl tienen rendimientos ligeramente inferiores comparándolos con los tratamientos que poseen NaCl como solvente.
- Se verificó la capacidad coagulante del marango en la remoción de partículas presentes en el agua con baja turbidez. El mejor tratamiento y rendimiento se obtiene con CcNaCl en una dosis de 25 mL /L, con 69% de eficiencia.
- La dosis del marango, la presencia de NaCl y la presencia de cáscara son las variables que influyen en el rendimiento que tiene el coagulante de la semilla del marango en aguas de baja turbidez ya que debido a estas variables el rendimiento puede ser mayor o menor.
- El coagulante a partir del marango puede ser usado para el tratamiento de agua con baja turbidez en áreas rurales donde no existe tratamiento del agua porque representa altos costos por infraestructura, accesibilidad. La aplicación del coagulante sintético sulfato de aluminio no es rentable en volúmenes bajos y discontinuos, restringiendo el servicio de calidad de agua a las personas de estas zonas.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Realizar los ensayos de este estudio en campo para validar los resultados obtenidos en laboratorio y así determinar si el coagulante de la semilla del marango se comporta de igual con agua natural.
- Hacer un análisis financiero de tratamiento de agua turbia utilizando el coagulante del marango y así determinar la viabilidad económica de implementar esta alternativa en zonas rurales sin acceso a tratamiento de agua.
- Cuantificar la cantidad de lodos producidos durante el tratamiento de agua turbia utilizando el coagulante del marango y determinar que usos se le pueden generar a estos residuos.

## 7. LITERATURA CITADA

Campos,; Colina, C.; Fernández, N.; Torres, G.; Sulbarán , B.; Ojeda, G. 2003. Caracterización del agente coagulante de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC (en línea). Venezuela. Consultado el 04 agosto 2010. Disponible en [www.Revistas.luz.edu.ve/index.php](http://www.Revistas.luz.edu.ve/index.php)

Lilliehook, H. 2005. Use of sand filtration on river water flocculated with *Moringa oleifera*. Tesis M.Sc. Lulea University of Technology, Scandinavia. 33p.

Loreto, S. L.; Ferran, BD. 2002. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. España. *Revista de Salud Pública*. 76p.

Ledo, P.G.S.; Lima, R. F. S.; Paulo, J. B. A. 2010. Efficiency of aluminium sulphate and *Moringa oleifera* seeds as coagulants for the clarification of water land contamination & reclamation. 7p.

Ndabigengesere, A.; Narasiah, S.K.; Talbot, B.G.1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*. 7p.

\_\_\_\_\_; 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*. 10p.

Núñez, E. 2007. Validación de la efectividad de la *Moringa oleifera*. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. 23p.

Okuda, T.; Baes, A.U.; Nishijima, W.; Okada, M. 1999. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*. 15p.

\_\_\_\_\_; 2001. Coagulation Mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*. 4p.

\_\_\_\_\_; 2001. Insolation and Characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Reseach*. 5p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Suiza. 2000. Global water supply and sanitation assessment report (en línea). Consultado el 24 agosto 2010. Disponible en [www.who.int/water\\_sanitation/Globassessment/GlobalTOC.htm](http://www.who.int/water_sanitation/Globassessment/GlobalTOC.htm)

Radovich, T. 2009. Farm and Forestry production and marketing profile for Moringa. *Permanent Agriculture Resources*.