



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Desarrollo y Caracterización de un Floculante Natural
a Base de Semilla de Moringa Oleífera para la
Reducción de Turbidez en Sistemas de Captación de
Agua Pluvial”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA,
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE PROYECTOS**

PRESENTA:

I.Q. Edgar Hernández Páez

ASESOR:

Dr. Efraín Rubio Rosas

COASESOR

Dr. Jenaro L. Varela Caselis

BUAP

Agosto, 2017



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA



ACTA DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Nombre del (de la) estudiante: Edgar Hernández Paez

Matrícula: 204702625

Nombre del director: Dr. Efraín Rubio Rosas

Nombre del codirector: Dr. Jenaro L. Varela Caselis

Título de la Tesis:

“Desarrollo y Caracterización de un Floculante Natural a Base de Semilla de Moringa Oleífera para la Reducción de Turbidez en Sistemas de Captación de Agua Pluvial”

Comisión Revisora:

Presidente: Dra. Gabriela Pérez Osorio

Firma: 

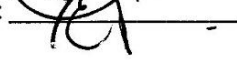
Secretario(a): Dra. María Auxilio Osorio Lama

Firma: 

Vocal (1): Dr. Jenaro L. Varela Caselis

Firma: 

Vocal (2): Dr. Efraín Rubio Rosas

Firma: 

Los integrantes de la Comisión Revisora expresamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de maestría que presenta el (la) estudiante arriba indicado, por lo que **estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el (la) estudiante presente su defensa y examen de grado en la fecha, horario y lugar que se indican a continuación.**

Fecha de examen: 28 de Agosto de 2017

Hora: 13:00 hrs.

Día de la semana: Lunes

Lugar: salón 202 (FIQ)





BUAP

Oficio: FIQ/SIEP/088/2017

Mtro. Omar Aguirre Ibarra
Director de Administración Escolar
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Reciba un afectuoso saludo y al mismo tiempo me permito presentar a usted a los integrantes del jurado de examen que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Química sustentará el

Ing. Edgar Hernández Paez

perteneciente a la generación 2010 con número de matrícula 204702625 y cuyo tema de tesis es: "DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN FLOCULANTE NATURAL A BASE DE SEMILLA DE MORINGA OLEÍFERA PARA LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ EN SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL". Dicho jurado está integrado por:

JURADO

Presidente:	Dra. Gabriela Pérez Osorio
Secretario:	Dra. María Auxilio Osorio Lama
Vocal:	Dr. Jenaro L. Varela Caselis
Vocal:	Dr. Efraín Rubio Rosas

Asimismo, comunico a usted que el alumno cumple con todos los requisitos para poder llevar a cabo su examen de grado y que los integrantes de este jurado están citados con anticipación para la fecha y lugar indicados a continuación.

FECHA DE EXAMEN:	28 de agosto de 2017
HORA:	13:00 horas
LUGAR:	Facultad de Ingeniería Química, FIQ8/202
DÍA:	Lunes

Sin otro particular, me es grato quedar de usted.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z. a 18 de agosto de 2017

Dr. Irving Ruíz López
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado



80 AÑOS
DE UNIVERSIDAD

c.c.p. Archivo
E-mail: irving.ruiz@correo.buap.mx

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00
Ext. 7250 y 7251

Agradecimientos

A mis Padres: Por darme la oportunidad de la vida y formarme cada día a través de su ejemplo. Gracias

A mi Madre:

Por ser un ejemplo de perseverancia, fortaleza y entrega para lograr mis objetivos y concluir mis metas.

A mis Hermanos:

Eve y Jano por ser mis apoyos constantes en cada etapa de mi vida.

A mi esposa Lupita:

Mi gran apoyo, compañera de vida, la mujer que vio más allá de mis capacidades y habilidades. Y que cada día me ayuda incondicionalmente, me motiva a seguir adelante en mis metas. Siempre a mi lado, mi energía interna.

A mis suegros:

Por su apoyo incondicional y por los ánimos para continuar estudiando pero sobre todo por sus lecciones de vida.

A mis asesores:

Dr. Jenaro Varela Caselis y Dr. Efraín Rubio Rosas por guiarme en esta investigación con sus conocimientos y sobre todo por su ayuda constante. Pero sobre todo porque han dejado en mí un gran aprendizaje. Gracias

Índice

	Pág.
Agradecimiento.....	i
Índice.....	iii
Resumen.....	1
Introducción.....	3
Capítulo I.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Clasificación de las aguas negras.....	6
1.3 Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL).....	7
1.4. Clasificación de los Principales Tratamientos de Agua.....	10
1.4.1 Tratamiento Físico o Primario.....	11
1.4.1.1 Tipos de procesos.....	11
1.4.2 Tratamiento Químico.....	12
1.4.3 Tratamiento Bioquímico.....	12
1.4.4 Tratamiento Físico-Químico.....	13
1.4.4.1. Coagulación.....	13
1.4.4.1.1 Los factores que influyen en el proceso de coagulación.....	14
1.4.4.1.2 Tipo y cantidad de coagulantes.....	15
1.4.4.2 Floculación.....	16
1.4.4.2.1 Factores que influyen en la floculación.....	17
1.5 Introducción a las <i>Moringáceas</i>	19
1.6 Propiedades de <i>Moringa Oleífera</i> y su sustento científico.....	25

1.7 Actividad antimicrobiana de la semilla de <i>Moringa</i> (SMO).....	32
Capítulo II.....	36
2. Metodología experimental.....	36
2.1 Reactivos.....	38
2.1.1 Métodos.....	38
2.1.1.1 Preparación de la solución de SMO (Coagulante).....	38
2.1.1.2 Preparación de la muestra Coloidal.....	41
2.2 Pruebas de floculación	42
2.2.1 Floculación pericinética en muestras coloidales.....	43
2.2.2 Floculación ortocinética en muestras coloidales.....	44
2.3 Técnicas de caracterización.....	45
2.3.1 Equipos.....	45
2.3.1.1 Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier.....	45
2.3.1.2 Microscopia electrónica de barrido.....	46
2.3.1.3 Turbidez.....	47
2.4 Evaluación de la actividad antimicrobiana de <i>E. Coli</i> y <i>Estafilococo Aurus</i> con Solución de SMO.....	48
2.4.1. Forma de aplicación.....	48
Capítulo III.....	49
3. Resultados y discusión.....	49
3.1 Los Mecanismos de coagulación de la Moringa.....	49
3.2 Floculación pericinética.....	54
3.3 Floculación ortocinética.....	57

3.3.1 Propuesta de dosificación de solución de SMO (ml sol Moringa/ml de muestra) en aguas turbias.....	60
3.4 Caracterización por FTIR.....	61
3.5 Caracterización por microscopia electrónica de barrido.....	66
3.6 Evaluación de la actividad antimicrobiana de <i>Escherichia Coli</i> y <i>Estafilococos Aurus</i> con Solución de SMO.....	70
3.7 Evaluación de la actividad antimicrobiana de <i>Estafilococos Aurus</i> con Solución de SMO.....	74
Conclusiones y recomendaciones.....	76
Anexos.....	78
Referencias bibliográficas.....	79

Índice de Figuras

	Pág.
Fig. 1: Primeros Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL).....	8
Fig. 2: Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) de Ferro-Cemento para comunidades rurales.....	9
Fig. 3: Identificación de las partes del árbol de <i>Moringa</i>	22
Fig. 4: Partes de la <i>Moringa</i> y usos.....	28
Fig. 5: Estructuras fotoquímicas importantes en las especies de <i>Moringa</i>	33
Fig. 5 "A": 4-(4'-O-acetil- α -L-ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato.....	33
Fig. 5"B"4: (-L-Ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato.....	33
Fig. 5"C": Niacimicina (<i>niazimicin</i> en inglés).....	33
Fig. 5 "D": <i>Pterigospermina</i>	34
Fig. 5"E": Bencilisotiocianato.....	34
Fig. 5"F": 4-(α -L-Ramnopiranosiloxi) Bencilglucosinolato.....	34
Fig. 6: Metodología empleada en la realización de este trabajo.....	36
Fig. 7: Semilla de <i>Moringa Oleífera</i>	39
Fig. 8: Semilla de <i>Moringa Oleífera</i> sin alas o cáscara.....	39
Fig. 9: Semilla de <i>Moringa</i> molida con mortero.....	40
Fig. 10: Muestra sintética de Caolin	41
Fig. 11: Diagrama de parte experimental empleada en la realización de la investigación.....	42
Fig.12: Espectrofotómetro FTIR.....	45
Fig.13: Microscopio electrónico de barrido.....	46
Fig. 14: Calibración de Turbidímetro HACH 2100N antes de operación.....	47

Fig. 15: Aminoácidos con capacidad Coagulante-Floculante.....	49
Fig. 16: Esquema de moléculas de solución sintética (Caolín y Bicarbonato de Sodio).....	50
Fig. 17: Aminoácidos presentes en la semilla de <i>Moringa</i> responsables de la coagulación.....	51
Fig. 18: Grupos Aminos presentes en los aminoácidos de la semilla de <i>Moringa</i>	52
Fig. 19: Grupos funcionales en floculación del Caolín con los aminoácidos de la semilla de <i>Moringa</i>	52
Fig. 20: Resultados de pruebas de floculación pericinética en muestras y con solución de SMO filtrada a las 24 hrs. de aplicación.....	54
Fig. 21: Pruebas de floculación pericinética con muestras de Caolín y solución de SMO con tiempo de reposo (Horas) en reducción de la turbidez.....	56
Fig. 22: Resultados de la floculación ortocinética (agitación) de las muestras coloidales con solución SMO.....	57
Fig. 24: Ampliación de la gráfica para determinar el mejor resultado de la reducción de turbidez Vs tiempo.....	59
Fig. 25: Grafico para la reducción de turbidez de muestras (aguas turbias) con la dosificación correspondiente.....	60
Fig. 26: Espectro de FTIR del Caolín y Precipitado seco de la Semilla de <i>Moringa</i>	62
Fig. 27: Espectro de FTIR del Caolín, moringa, precipitado seco de Caolín 90ml moringa y precipitado seco de Caolín 120 ml moringa.....	63

Fig. 28: Espectro de FTIR del Caolín con precipitado seco Caolín-Sulfato de Aluminio, y Sulfato de Aluminio.	64
Fig. 29: Espectro de FTIR del Caolín, extracto de Semilla de Moringa, precipitado seco de Caolín con SMO a 90 ml y a 120 ml, precipitado seco Caolín-Sulfato de Aluminio, y Sulfato de Aluminio.....	65
Fig. 30 A):Imágenes de Micrografías de la MEB Mostrando la topología de la semilla de <i>Moringa</i> con aumento de 1000 μm	66
Fig. 30 B): Imagen de la MEB mostrando una estructura de Ovoide de la semilla de <i>Moringa</i> con un aumento de 5000 μm	66
Fig. 31 A): Imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de semilla de Moringa.....	67
Fig. 31 B): Gráficos del AQE mostrando los elementos más representativos de la semilla de Moringa.....	67
Fig. 32: Imágenes de micrografías de la MEB mostrando la topología del extractó seco de semilla de <i>Moringa</i> con el Caolín con diferentes aumentos la Fig. A) 2500 μm , B) 4300 μm , C) 5000 μm D) 10,000 μm , mostrando una estructura de Ovoide de la semilla de Moringa sobre la estructura del Caolín (Laminas).....	68
Fig. 33 A) Imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de semilla de Moringa, con el extracto seco de Caolín en la solución de SMO.....	69
Fig. 33 B) Gráficos de AQE mostrando los elementos más representativos de la semilla de <i>Moringa</i> y Caolín.....	69
Fig. 34: Imágenes de micrografías de la MEB mostrando la topología del Extractó Seco de Caolín con el Sulfato de Aluminio con diferentes aumentos en las Fig. A) 5000 μm , B) 10,000 μm , C) 20,000 μm	70
Fig. 35 A) imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de Sulfato de Aluminio, con extracto seco de caolín.....	71

Fig. 35 B) Gráficos del AQE mostrando los elementos más representativos del Sulfato de Aluminio Y Caolín.....	71
Fig. 36: Medición del antibiograma No. 1 el que mostro un diámetro mayor del halo de Inhibición del microorganismo <i>E. Coli</i>	72
Fig. 37: Medición del antibiograma No. 3 el que mostro un diámetro mayor del Halo de Inhibición del microorganismo <i>Estafilococo Aurus</i>	74

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1: Clasificación científica de la <i>Moringa</i>	20
Tabla 2: Nombres comunes de las 13 especies de <i>Moringa</i>	21
Tabla 3: Contenido de algunos compuestos presentes en <i>Moringa</i>	30
Tabla 4: Lista de reactivos.....	43
Tabla 5: Medición de las muestras coloidales con SMO por floculación pericinética a diferentes volúmenes.....	43
Tabla 6: Medición de las muestras coloidales con SMO por floculación ortocinética a diferentes volúmenes.	44
Tabla 7: Lista de equipos.....	45
Tabla 8: Medición de pruebas de floculación pericinética de la caracterización con tiempo de reposo para la toma de lecturas a diferentes concentraciones.....	55
Tabla 9: Relación de dosificación de solución de SMO para clarificar aguas turbias.....	61
Tabla 10. Relación del análisis químico elemental de la semilla de <i>Moringa</i>	67
Tabla 11. Relación del análisis químico elemental de la semilla de <i>Moringa</i> con extracto seco de caolín.....	69
Tabla 12. Relación del análisis químico elemental del Caolín y del Sulfato de Aluminio.....	71
Tabla 13: Medición de diámetros de Halos inhibición en mm de antibiogramas en Cepas <i>E. Coli</i>	73
Tabla 14: Medición de Halos en mm de antibiogramas en cepas <i>Estafilococo Aurus</i>	75

Resumen

El agua ha sido la clave para el establecimiento y surgimiento de las civilizaciones, la Ciudad de México es un claro ejemplo debido a que esta prosperó sobre un lago que ya no existe. La cuenca lacustre del valle de México estaba formada por los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco, y que actualmente se recupera con gran esfuerzo.

El agua es fundamental para perpetuar la vida en el planeta y esta es demandada por todos los seres vivos, de ahí la gran importancia de una buena calidad en ella con un costo económico y con nulos riesgos para la salud humana. Por lo que este proyecto hace uso de la Semilla de Moringa Oleífera (SMO) por las características que posee y que contribuye a la clarificación del agua, así como de agente antibacteriano.

La Moringa Oleífera es un árbol al que se le atribuyen cuantiosas propiedades, tanto benéficas a la salud como al medio ambiente; desde un fuerte potenciador de la nutrición humana, hasta un nuevo método natural de tratamiento de aguas pluviales y aguas turbias. Estos beneficios se obtienen a través de los diferentes productos del árbol como son: las hojas, los tallos, las raíces, el fruto, la flor y las semillas (Sánchez & Peña, 2013).

Existen diversos estudios en cuanto al tratamiento de aguas que se enfocan en las funcionalidades de las proteínas coagulantes, las cuales son mencionadas como compuestos activos de las semillas y son utilizadas para la purificación de aguas turbias. Por lo que este proyecto pretende dar una visión general sobre el funcionamiento (Coagulación) de las proteínas, y la actividad Floculante de las mismas.

Se realizaron análisis con Sulfato de Aluminio y solución de SMO para encontrar la concentración idónea en el proceso de coagulación. Sin embargo en lo que respecta al Sulfato se encontró que es un compuesto altamente contaminante. “Existe una

preocupación creciente en la relación entre el Aluminio residual y efectos neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer”, (Colbert, 2007). Hay diversos estudios realizados en diferentes países donde resaltan la efectividad de la solución de SMO en el tratamiento de aguas, sin embargo carecen de sustento científico.

En este proyecto se buscó la preparación de una solución sintética que presentara la turbidez necesaria para poder usar dos compuestos químicos, con características coagulantes y tener una opción menos agresiva con el ambiente y la salud humana.

Al mismo tiempo se caracterizó la SMO para poder encontrar los grupos funcionales para tal efecto y en la siembra de cepas de microorganismos *E. Coli*. Y *Estafilococo Aurus* se siguió la misma proporción para medir la actividad microbiana en la solución de SMO.

Introducción

El agua es uno de los recursos naturales no renovables primordiales para la humanidad así como para los demás seres vivos del planeta (Tortolero, 2000). La demanda y sobre explotación aumenta debido a que los requerimientos de la población son cada vez mayores así como toda actividad que se realice requiere de este recurso. Por lo que esta situación ha impactado a nivel ambiental hasta convertirse en un problema social, económico, cultural, de segregación, legal, técnico y político.

Situación que ha causado que los diferentes gobiernos del mundo estén tomando medidas preventivas y/o correctivas ante esta gran necesidad. Se han expuesto estas inquietudes en la Cumbre Mundial contra “El cambio Climático (CICC, 2010) y en la Tercera Convención Nacional ante el Marco de las Naciones Unidas (Vengoechea, 2012) sobre Cambio Climático, elaborada por el Instituto Nacional de Ecología (INE), en las cuales se han creado proyectos, programas, etc. para frenar esta situación.

Actualmente en México la institución que tiene “La misión de administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso” es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA; 2014). Institución que ha implementado diferentes campañas, Spots publicitarios para una mejor cultura de uso del agua así como de la recuperación y reutilización de la misma para tener por más tiempo este vital líquido (CONAGUA, 2016).

Dentro de las causas del desabasto de agua están: falta de tratamiento del agua, sobreexplotación de fuentes de abastecimiento (acuíferos), irresponsabilidad ecológica, falta de conciencia cultural del cuidado del agua, deforestación, falta de captación pluvial, ciclo del agua alterado, contaminación del agua y suelos. Por lo que se han mermado las reservas abastecedoras en diversas localidades, estados y países.

Los tratamientos para la purificación de agua superficial son de suma importancia para la sociedad, porque de estos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si los tratamientos se aplican de manera correcta cada comunidad podría satisfacer un requerimiento esencial para la vida. Las grandes ciudades dependen de abastecimiento superficial y en la mayoría de los casos sus fuentes son corrientes, lagos o embalses (Solís & Laines, 2012).

En el proceso de potabilización de las aguas, la *clarificación* es una de las etapas más importantes porque permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación.

El agua para ser tratada requiere de técnicas y de equipos costosos para purificarla y potabilizarla. Los gastos operativos y de mantenimiento para una eficiente calidad de agua son costosos en un promedio de \$100 M.N a \$120 M.N por metro cubico (Romero, 2008). En este proyecto se propone la utilización de un floculante natural, como son las Semillas de Moringa Oleífera (SMO) por sus características Coagulantes-Floculantes que posee y daría al agua tratada reducción en la turbidez, logrando una sinergia con el pH y la temperatura, favoreciendo así un índice de calidad favorable para consumo.

CAPITULO I

1.1. Antecedentes

En la actualidad el uso del agua y la casi nula cultura de su reutilización acentúan su desabasto y también repercute el hecho que la falta de información del complejo y costoso proceso que se realiza para la clarificación y/o tratado de agua residual repercuta en esta lamentable situación. Existe una gran variedad de procesos por medio de los cuales podemos tratar las aguas residuales, es importante mencionar que dichos procesos varían en función de las necesidades, es decir si queremos purificar el agua, o solo clarificar para enviarla al subsuelo o bien, utilizarla para riego de jardines y áreas verdes.

Se aplican varias alternativas para resolver el problema de la falta de agua entre las cuales se encuentran la desalinización del agua de mar, racionalización de su uso, estudios acerca del uso inteligente del agua, y el tratamiento de aguas residuales para su reutilización. El tratamiento del agua residual puede ser por medio de una gran variedad de procesos y el método que se emplea para tratar el agua depende en gran parte, del fin al que se destina el abastecimiento. (Gomella, 1977).

Para uso doméstico es deseable eliminar las impurezas, ya sean suspendidas o disueltas, que se han perjudiciales a la apariencia y aspecto estético del agua. Es absolutamente necesario eliminar o volver inactiva cualquier impureza, como bacterias y otros microorganismos, que puedan ser perjudiciales para la seguridad y bienestar de los consumidores (NOM127SSA11994, N. O. M., & AMBIENTAL, S., 2015).

Las aguas negras es el resultado de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua que proviene de casas habitación, edificios comerciales e instituciones, principalmente. Además que a estas se le adjuntan aguas provenientes de los establecimientos industriales, aguas subterráneas superficiales y de precipitación. El tratamiento de las aguas negras se refiere al procesamiento

de las aguas residuales, producidas por actividades típicas de la comunidad y de las familias.

Las aguas negras contienen usualmente entre 0.02% y 0.03% de los sólidos en suspensión y otras sustancias orgánicas solubles e insolubles. Las sustancias químicas inorgánicas están presentes en las aguas negras; en las heces y los desechos domésticos se encuentran gran cantidad de compuestos orgánicos, mientras que los desechos industriales poseen los dos tipos de compuestos (Núñez, 2015).

1.2. Clasificación de las aguas negras:

- Domésticas: Son aquellas aguas cuyo principal desecho es el humano así como el casero y de animal incluyendo las de infiltración.
- Sanitarias: Son principalmente las aguas domésticas, aunque a veces se le agregan los desechos industriales de la población.
- Pluviales: Son las aguas que son captadas principalmente del escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.
- Combinadas: Estas resultan cuando en la misma alcantarilla se mezclan las aguas negras domesticas o sanitarias y las aguas pluviales.
- Desechos Industriales: Son las que provienen de las industrias las cuales pueden ser tratadas aisladamente y luego agregarse y formar parte de las aguas sanitarias.
- Aguas Negras Frescas: Se les denomina así aquellas que en determinados puntos donde se examinan aun contienen oxígeno y son por lo general de origen reciente.

- Aguas Negras en Proceso de Alteración: Se clasifican de esta manera ya que pueden tener poco oxígeno disuelto o no tener absolutamente nada sin que estas lleguen a la putrefacción.
- Aguas Negras Sépticas: Es cuando oxígeno disuelto se ha agotado totalmente y da lugar a procesos de putrefacción en condiciones anaerobias.

Los procesos para el tratamiento de aguas residuales se basan en la eliminación de los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, el número de procesos existentes es también muy amplio, no obstante estos procesos se pueden agrupar de acuerdo al tipo de fenómeno o principio en el cual basan su operación (Romero, 1999).

1.3. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL).

La creciente explosión demográfica, la escasez y el deterioro de la calidad del agua están afectando a la salud y el bienestar de la población en países en vías de desarrollo, en la actualidad las regiones de África, Asia, América Latina y el Caribe enfrentan severas limitaciones en relación a este vital líquido. La disminución de agua dulce en adecuada calidad y cantidad está surgiendo como uno de los problemas más críticos que enfrenta la humanidad, se está extrayendo agua de ríos, lagos y acuíferos más rápidamente de lo que demoran en renovarse los cuerpos de agua (Tratamientos Naturales).

Otro gran problema es la contaminación que afecta significativamente la calidad del agua. El 70% de la superficie de la tierra es agua, la mayor parte es oceánica, y el agua de lluvia, componente esencial del ciclo hidrológico representa un elemento que convendría aprovecharse integralmente, debido a que ha pasado por un proceso natural de purificación.

Los Sistemas de Captación del Agua de Lluvia se remontan a épocas históricas, en la región de la Mesopotamia se tienen registros con más de 5000 años. A principios de este siglo estos sistemas para uso doméstico perdieron su importancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y a los sistemas de distribución del agua a nivel domiciliario (Moreno & Pérez, 1998).



Fig. 1: Primeros Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)

En algunas regiones de los países de América Latina y el Caribe desde hace más de tres siglos se han utilizado Sistemas de Captación del Agua de Lluvia (Querol, M., 2003), donde la recolección de agua proveniente de los techos y es almacenada en cisternas de diferentes tipos y materiales, que aún representan la fuente principal de agua.

En la actualidad en América Latina y El Caribe se han realizado considerables avances, para proporcionar los servicios de agua potable y saneamiento a todos los habitantes. Sin embargo, la cobertura de agua potable en Norteamérica es del 100%, el suministro, en América Latina y el Caribe es del 90% para las poblaciones

urbanas y se estima que es del 70% para las poblaciones rurales. Actualmente, cerca de 80 millones de habitantes en la región no tienen acceso al agua entubada (Izazola, H., 2001).



Fig. 2: Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) de Ferro-Cemento para comunidades rurales.

La mayoría de los asentamientos humanos están ubicados cerca de una fuente natural de agua y cuando eso no ha sido posible, han construido lo necesario para su abastecimiento del mismo lugar o de lugares distantes. Suceden casos donde la gente vive en los cerros pero por falta de conocimiento y recursos, solo obtienen agua de arroyos y manantiales ubicados en la parte baja con el consecuente esfuerzo y gasto de energía para subirla. El escurrimiento en épocas de lluvias atraviesa por sus casas y algunas veces se mete causando averías, y no se aprovecha comúnmente por ignorancia.

El agua es necesaria en todas las funciones fisiológicas, procesos físicos y químicos del crecimiento vegetal y animal. El agua es el factor limitante del desarrollo económico y social de las comunidades. Su abastecimiento, ha empezado a ser una

de las más grandes preocupaciones de los ciudadanos y gobiernos especialmente en aquellos lugares donde el crecimiento poblacional, la deforestación, la erosión y la contaminación se han elevado (Orozco, 2003).

El problema más sentido en nuestro tiempo es que el agua ha ido disminuyendo y no hay suficientes proyectos de reciclamiento y los que tienen son costosos. El desabasto de agua impide el desarrollar actividades productivas, crear empleos y generar ingresos para la población, tanto en el medio rural y urbano, de ahí la importancia de garantizar el suministro de agua.

Las fuentes de agua se están agotando y las pocas que aún quedan se contaminan muy rápido con aguas residuales provenientes de ciudades, comunidades rurales, granjas, y casas habitación, creándonos un mal de incalculables consecuencias e irreversible (Aboites, 2009)

La precipitación pluvial representa un valioso recurso natural que debe aprovecharse para satisfacer la demanda de agua para diversos usos y es fundamental captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para uso doméstico, consumo humano y animal, es de gran relevancia para las poblaciones, principalmente para aquellas que no tienen acceso a este vital líquido, por ello la importancia de utilizar este recurso.

1.4. Clasificación de los Principales Tratamientos de Agua.

Una clasificación amplia en la que se puede agrupar los procesos de tratamientos, es aquella que está de acuerdo al tipo de fenómeno asociado:

- Físico o Primario
- Químico
- Bioquímico
- Físico-químico

1.4.1. Tratamiento Físico o Primario.

En este tratamiento principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual, dentro de estos pueden distinguirse:

- Los sólidos sedimentables: son los que sedimentan al dejar la reducción aerobia en condiciones de reposo durante una hora, dependiendo del tamaño del sedimentador.
- Los sólidos flotantes: definibles por contraposición a los sedimentables.
- Los sólidos coloidales (tamaño entre 10-3-10 micras).

Como, en general, parte de los sólidos suspendidos están constituidos por materia orgánica consecuencia del tratamiento primario suele ser la reducción de la demanda bioquímica de Oxígeno

El grado de reducción de éstos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características de la reducción aerobia (Ramalho, 1990).

1.4.1.1. Tipos de Procesos.

Existen múltiples procesos que se pueden considerar incluidos dentro del tratamiento primario como son: filtración, tamizado, ciertos lagunajes, fosas sépticas, tanques, etc., sin embargo los principales procesos se pueden clasificar según (Corbitt, R. A., 2003):

- Procesos de separación sólido-líquido:
 - Sedimentación, también llamada decantación primaria
 - Flotación
 - Proceso mixto (decantación-flotación)
- Procesos complementarios de mejora:
 - Floculación
 - Coagulación (proceso físico-químico)

1.4.2. Tratamiento Químico.

Son métodos de tratamiento en los cuales la remoción o conversión de contaminantes se lleva a cabo mediante la adición de químicos o mediante otras operaciones químicas, son conocidos como unidades de proceso químicos. Los ejemplos más comunes son precipitación, absorción y desinfección (Aguilar, M.I., 2002).

1.4.3. Tratamiento Bioquímico.

Los objetivos principales del tratamiento bioquímico son estabilizar la materia orgánica y coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimenten y que se encuentren en las aguas residuales domésticas y en las de los tanques sépticos. Dependiendo de las circunstancias locales se pueden incluir otros objetivos como la remoción de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, así como restos de compuestos orgánicos (Ramalho, R. S., 1990).

En el nivel más fundamental, el tratamiento bioquímico comprende:

- a) La conversión de materia orgánica carbonácea disuelta y en estado coloidal en diferentes gases y tejidos celulares.
- b) La formación de Copos biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes en las aguas residuales.
- c) La subsecuente remoción de dichos copos por medio de sedimentación por gravedad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que si el tejido celular producido no se retira por precipitación, este ejercerá un DBO en las aguas residuales y el tratamiento será incompleto (Lapeña, 1989).

1.4.4. Tratamiento Físico-Químico.

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración.

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones: coagulación, floculación y decantación o flotación posterior (Barrenechea, Maldonado & Aurazo, 2004).

1.4.4.1. Coagulación.

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculó. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y Sulfato de Aluminio. En este proceso se pueden considerar dos mecanismos básicos: La Neutralización de la carga del coloide e Inmersión en un precipitado o floculó de barrido (Barrenechea et al., 2004).

En *la Neutralización de la carga del coloide* el electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga. Por lo que se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ion coagulante. Así, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba (Bario) y Mg (Magnesio), bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na (Sodio),

monovalente; y, a su vez, el Fe (hierro) y Al (Aluminio), trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes. Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ion cloruro, Cl^{-1} , monovalente, el Sulfato, $(\text{SO}_4)_2$, divalente, y el fosfato, $(\text{PO}_4)_3$, trivalente.

Y en la *Inmersión en un precipitado o floculó de barrido* los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado (Aguilar et al, 2002).

1.4.4.1.1. Los Factores que Influyen en el Proceso de Coagulación.

El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación, por que continuamente hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, porque de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta (Barrenechea et al., 2004).

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Sosa Cáustica.
- Ácidos minerales

Otro factor que influye en el proceso de coagulación es *la agitación rápida de la mezcla*, porque para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el floculó o precipitado. Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, porque el tiempo de coagulación es muy corto (1 seg.), (Barrenechea et al., 2004).

1.4.4.1.2. Tipo y cantidad de coagulantes

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de Aluminio y de Hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes (Burton, Cajigas & Montsoriu, 1995).

Sulfato de Aluminio: (también conocido como Sulfato de Alúmina) $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O)$, cuando se añade Sulfato de Alúmina al agua residual que contiene alcalinidad de carbonato Ácido de Calcio y/o Magnesio, la reacción que se tiene es la siguiente:

$2Al_2(SO_4)_3 + 6 Ca (HCO_3)_2 = 4 Al (OH)_3 + 6 CaSO_4 + 12CO_2$; la reacción es análoga cuando se sustituye el bicarbonato cálcico por la sal de Magnesio.

Rango de pH para la coagulación óptima: 5 – 7.5, dosis: en tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 g/m³, según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad (Burton et al, 1995).

Con Cal Apagada:

$Al_2(SO_4)_3 + 3 Ca (OH)_2 = 2 Al (OH)_3 + 3 CaSO_4$; Dosis: se necesita de cal un tercio de la dosis de Sulfato de alúmina comercial.

Con Carbonato de Sodio:

$Al_2(SO_4)_3 + 3 H_2O + 3 Na_2CO_3 = 2 Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 3 CO_2$ Dosis: se necesita entre el 50 y el 100% de la dosis de Sulfato de Aluminio comercial.

Sulfato Ferroso ($FeSO_4$)

a) Con la alcalinidad natural:

$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4 + 2CO_2$ Seguido de:

$Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O = Fe(OH)_3$ Rango de pH para la coagulación óptima, alrededor de un pH 9,5. Dosis: se necesitan de 200 a 400 g/m³ de reactivo comercial

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ * Con cal:

$Fe(SO_4)_2 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + Ca(SO_4)_2$ Seguido de:

$Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O = Fe(OH)_3$ Dosis de cal: el 26% de la dosis de Sulfato ferroso. (Burton et al, 1995).

Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) Con la alcalinidad natural:

$2Fe(SO_4)_3 + 3 Ca(HCO_3)_2 = 2 Fe(OH)_3 + 3 Ca(SO_4)_2 + 6 CO_2$ Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 7, y mayor de 9.

Dosis: de 10 a 150 g/m³ de reactivo comercial $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ * Con cal:

$Fe_2(SO_4)_3 + 3 Ca(OH)_2 = 2 Fe(OH)_3 + 3 CaSO_4$ Dosis de cal: el 50% de la dosis de Sulfato férrico. (Burton et al, 1995).

1.4.4.2. Floculación.

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Radica en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor

volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto (Andía, C & Alcantarillado, 2000):

- Por el propio movimiento de las partículas (Difusión Browniana). En este caso se habla de floculación pericinetica o por convección natural. Es muy lenta.
- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación ortocinética o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación, y este actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (unión de varias partículas coloidales flóculo más pesado y voluminoso), (Andía et al, 2000).

1.4.4.2.1. Factores que Influyen en la floculación

- a) Coagulación previa lo más perfecta posible.
- b) Agitación lenta y homogénea: La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.
- c) Temperatura del agua: La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, temperaturas bajas

dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

d) Características del agua: Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

e) Los tipos de floculantes según su naturaleza pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de Aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético. Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos, semillas o vegetales y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña. En cambio los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan Polielectrólitos (macromolécula que se pueden disociar y formar iones). (Andía et al, 2000).

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrólitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrólitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).

- Polielectrólitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino. La selección del polielectrólito adecuado se hará mediante ensayos Jar Test. En general, la acción de los polielectrólitos puede dividirse en tres categorías:

En la primera, los polielectrólitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Y dado que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrólitos catiónicos.

La segunda forma de acción de los poli electrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.

La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar poli electrolitos catiónicos de alto peso molecular (Andía et al, 2000).

1.5. Introducción a las Moringáceas.

La Moringa pertenece a la familia *Moringáceas*, un grupo pequeño de plantas dentro del inmenso orden *Brassicales* que incluye la familia de la col y del rábano, junto con la familia del *mastuerzo* y de las alcaparras (APG, 2009). La familia más cercanamente emparentada con Moringáceas es Caricácea, la de la papaya, con la cual comparte la característica de presentar glándulas en el ápice del peciolo (Fig. 3; Olson, 2002b).

Moringáceas comprende únicamente un género, Moringa. Dentro de Moringa hay 13 especies (Verdcourt, 1985; Olson, 2002a), las cuales abarcan una gama muy diversa de hábitos o formas de crecimiento, desde hierbitas y arbustos hasta árboles grandes (Olson y Razafimandimbison, 2000; Olson, 2001a y 2001b). Si bien varían mucho en su forma, es muy fácil distinguir un miembro de Moringa de cualquier otra planta.

Moringáceas se distingue de las otras familias por una combinación única de rasgos (Olson, 2010). Sus especies se caracterizan por tener hojas pinnadas grandes, en donde cada hoja está dividida en muchos folíolos dispuestos sobre un armazón llamado raquis (Fig. 3A). Los frutos forman una cápsula larga y leñosa que cuando alcanza la madurez se abre lentamente en 3 valvas que se separan la una de la otra por su longitud, quedando pegadas sólo en la base del fruto (Figs. 3B, C). En la mayoría de las especies, las semillas presentan 3 alas longitudinales. La combinación de hojas pinnadas, frutos trivalvados y semillas con 3 alas hace que sea muy fácil reconocer una *Moringa*.

Para asegurar la identificación, se pueden buscar las glándulas foliares características de esta familia, las cuales se encuentran en ambos lados flanqueando la base o en el ápice del pecíolo y en la mayoría de las articulaciones del raquis (Fig. 3).

Otras características únicas de la familia, pero menos fáciles de observar, incluyen el estilo hueco y las anteras con 2 esporangios o cámaras para el polen en vez de los 4 que suelen presentar las plantas con flor (Olson, 2003). Características aún menos aparentes incluyen los ductos de goma en la médula de los tallos y elementos de vaso con placas de perforación sin bordes (Olson y Carlquist, 2001; Olson, 2002b).

Tabla 1: Clasificación científica de la *Moringa*.

Clasificación científica de la <i>Moringa</i>:
Reino: <i>Plantea</i>
(No clasificado): <i>Angiospermas</i>
(No clasificado): <i>Eudicotas</i>
(No clasificado): <i>Rosidae</i>
Orden: <i>Brassicales</i>
Familia: <i>Moringáceas</i>
Género: <i>Moringa</i>

Tabla 2: Nombres Comunes de las 13 Especies de *Moringa*.

Nombres científicos de las 13 especies de <i>Moringa</i> encontradas hasta hoy en día
1. <i>M. Oleífera</i> (noroeste de la India).
2. <i>M. Arbórea</i> (Kenia).
3. <i>M. Borziana</i> .
4. <i>M. Concanensis</i> .
5. <i>M. Drouhardii</i> (suroeste de Madagascar).
6. <i>M. Hildebrandtii</i> .
7. <i>M. Longituba</i> .
8. <i>M. Ovalifolia</i> .
9. <i>M. Peregrine</i> .
10. <i>M. Pygmaea</i> .
11. <i>M. Rivae</i> .
12. <i>M. Ruspoliana</i> .
13. <i>M. Stenopetala</i> .

Si bien la *Moringa* es fácil de reconocer, existe confusión acerca de cuál es su nombre científico correcto (Keraudren y Gillette, 1963). A la planta que conocemos como *Moringa Oleífera* se le han aplicado nombres como *Guilandina Moringa*, que se remonta a Linneo en el año 1753, y también *Hyperanthera Moringa* (L.) Vahl. Todavía es común que algunos autores empleen el nombre *Moringa Pterygosperma Gaertn.* (p.ej. Morton, 1991), que es un nombre ilegítimo de acuerdo con las reglas de nomenclatura botánica.

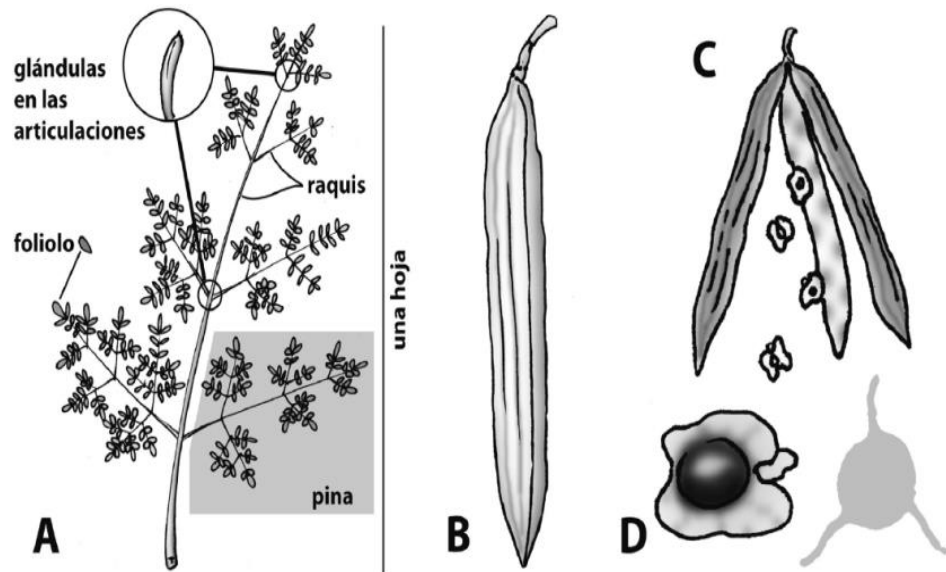


Fig. 3: Identificación de las partes del árbol de *Moringa*

La *Moringa (Moringa Oleífera)* es fácil de identificar por su combinación inconfundible de caracteres.

- a) Hojas grandes, pinnadas, que pueden alcanzar unos 60 cm de longitud; están divididas en folíolos dispuestos sobre un raquis. En la articulación de cada raquis se encuentran pequeñas glándulas de 1 mm de longitud. (B-D). Frutos y semillas.
- b) Fruto, una cápsula ligera, leñosa y seca, que en la madurez mide de 10 a 30 o hasta 50 cm
- c) El fruto se abre en 3 partes o valvas
- d) Semillas de 1.5-3 cm de diámetro con un centro de color café oscuro y 3 alas de color beige; la silueta muestra la configuración de las 3 alas.

La *Moringa* es la única planta en México con hojas pinnadas con glándulas en las articulaciones, frutos con 3 valvas y semillas con 3 alas. La semilla de *Moringa* contiene un 35 % de aceite el cual es de muy alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73 % de ácido oleico, de calidad por tanto similar al aceite de oliva, por lo que se emplea para cocinar, es un aceite que no se rancia, también puede tener interesantes aplicaciones en lubricación de mecanismos y fabricación de jabón y cosméticos, y es un aceite que arde sin producir humo, es apto por tanto como combustible para lámparas.

Diversas fuentes indican que *G. Moringa* y *H. Moringa* carecen de validez, mientras *M. Oleífera* tiene prioridad y constituye el nombre válido, por lo que para la presente investigación emplearemos "*Moringa Oleífera*" como términos equivalentes mientras "*Moringa*" se referirá al género y de aquí en adelante nos referiremos a SMO para hacer referencia a la Semilla de *Moringa Oleífera*.

Cuando se habla de la distribución de la *Moringa* es esencial hacer la distinción entre términos como "nativo," "silvestre" y "naturalizado". Varios autores que escriben sobre los usos de *M. Oleífera* se refieren a la planta como "naturalizada" o hasta "silvestre" cuando se observa en países fuera de su lugar de origen, lo cual es una terminología incorrecta, ya que el proceso de naturalización biológica implica que un organismo se establezca en una región en donde no es nativo y logre sobrevivir y reproducirse por muchas generaciones sin asistencia humana. En el caso de *M. Oleífera*, no existen registros de su naturalización en ningún hábitat natural (Olson, 2010).

A veces se pueden encontrar plántulas estableciéndose debajo de sus progenitores en zonas perturbadas, tales como lotes baldíos, camellones y bordes de caminos, pero esta es una situación muy distinta, por ejemplo, la invasión en los desiertos de México por el pasto *Cenchrus Ciliaris*, que sí está naturalizado y que tiene un impacto sumamente nocivo en estas comunidades (De la Barrera, 2008). Si una

planta llega a encontrarse en una lista de maleza conocida, sus posibilidades de transporte entre países y su utilización podrían verse severamente restringidos.

Para evitar restricciones innecesarias en cuanto al transporte y la utilización de la *Moringa*, es importante evitar términos como “naturalización” o “silvestre” cuando se refiere a la práctica de cultivar la planta. Esto no implica que no sea necesario proceder con cautela con cualquier planta no nativa, pero en el caso de *M. Oleífera*, no se cuenta con ningún registro de la planta como maleza en ninguna parte del mundo, únicamente registros de cultivo muy extensos.

La planta también se cultiva en los poblados de las depresiones tropicales secas del país, como la del Balsas (parte de Oaxaca, Jalisco, Veracruz, México, D.F. y Tlaxcala) y la depresión central de Chiapas. La planta se encuentra en los pueblos de la zona del Infiernillo, Zacatecas; y en las cercanías de Apatzingán, Michoacán; Mezcala, Guerrero; Iguala, Guerrero; y Tequesquitengo, Morelos. Como se puede apreciar gracias a su distribución cultivada, la *Moringa* es una planta de zonas cálidas que nunca sufren heladas. En general, prospera mejor por debajo de los 500 metros y crece muy poco cuando se cultiva a altitudes mayores a 1,500 metros.

Con el reciente auge mundial del cultivo de la *Moringa* (Fuglie, 2001), el árbol ha llegado a México en forma de semillas desde África y la India, generalmente para su cultivo en campos especializados, con la finalidad de cosechar las hojas. Actualmente en muchos países existe un gran interés en el aprovechamiento de este árbol, en México ha permanecido esta planta por siglos, sin embargo las personas no practicaban el cultivo popular de *M. Oleífera*, por desconocimiento de las propiedades y manejo de la planta. Sin embargo actualmente se tiene un mayor auge e investigación de los beneficios de esta planta y por ende hay más personas interesadas en el cultivo de la misma (Olson, M. E., & Fahey, J. W., 2011).

1.6. Propiedades de *Moringa Oleífera* y su sustento científico.

Actividad antibiótica. La evidencia tanto científica como tradicional es abrumadora a pesar de que la evidencia científica ha estado disponible por más de 50 años, la mayoría de los médicos occidentales la desconocen. A finales de la década de 1940 e inicios de 1950, un equipo de científicos en la India identificó una sustancia que llamó *Pterigospermina* (Das et al., 1954, Anderson et al., 1986), un compuesto que se disociaba fácilmente en 2 moléculas de *isotiocianato bencílico*, y para ese entonces se intuía que el *isotiocianato bencílico* tenía un efecto antimicrobiano. Este grupo de científicos no sólo identificó la *Pterigospermina* sino que a la mitad de la década de 1950 llevó a cabo caracterizaciones detalladas y elegantes de la modalidad específica de su actividad antimicrobiana.

Investigaciones posteriores también mostraron que la *Pterigospermina* y extractos de la *Moringa* presentaron actividad antibiótica en contra de una variedad de microbios. No obstante, el aislamiento y la caracterización de la estructura de estas moléculas resulta un reto técnico, ya que pueden ser fácilmente dañadas durante la manipulación. Un ejemplo de estas dificultades podría ser precisamente el caso de la *Pterigospermina*, pues la identificación original de esta sustancia ha sido cuestionada, atribuyéndose a un componente del aislamiento o errores en la caracterización estructural (Eilert et al., 1981) por ende se requiere profundizar en la investigación de todo lo que puede aportar este árbol singular.

En 1964, Bennie Badget, estudiante del famoso químico Martin Ettliger, publicó en su tesis doctoral los análisis elegantes y cuidadosos con los que identificó una serie de compuestos derivados del *isotiocianato bencílico* y la identidad de estos compuestos, no obstante de esta aportación no estuvo disponible en la literatura científica general hasta su “redescubrimiento”, 15 años después, por parte de Kjaer y colaboradores (1979).

Posteriormente, se llevaron a cabo estudios fundamentales sobre la actividad antibiótica de 4-(α -L-Ramnopiranosiloxi) Bencilglucosinolato (Fig. 9°F") y su isotiocianato correspondiente (Fig. 9"B"). Dichas pruebas se destacan por haber demostrado la actividad de esta sustancia contra una gama muy amplia de bacterias y hasta de hongos (Olson, M. E., et al., 2011).

Trabajos recientes se han enfocado en determinar la actividad del 4-(-L-Ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato, y otros isotiocianatos contra la bacteria *Helicobacter pylori*. A pesar de que esta bacteria se descubrió tan sólo en la década de 1980, *H. pylori* es un patógeno humano propagado en zonas pobres del mundo y otras áreas con cuidado médico insuficiente. En cuanto a la eficacia de la *Moringa*, cultivos en el laboratorio de *H. pylori* resultaron ser extraordinariamente susceptibles al 4-(-L-Ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato y a una variedad de otros isotiocianatos (Fahey et al., 2002; Haristoy et al., 2005).

Estos compuestos presentaron actividad contra *H. pylori* en concentraciones hasta 1,000 veces más bajas que aquellas que se emplearon en estudios previos. La actividad de la *Moringa* en contra de *H. pylori* se está estudiando actualmente en pruebas clínicas y el isotiocianato está mostrando actividad apreciable en estudios pilotos (Galán et al., 2004; Yanaka et al., 2005). Las semillas tostadas de *Moringa Oleífera*, contienen mutágenos potenciales como 4-(α -Iramnopiranosiloxi)-bencilglucosinolato (Bennett et al., 2003), mismos que poseen cierto grado de genotoxicidad (Asare et al., 2011).

Las semillas no sólo se utilizan para la preparación de alimentos (aceite y harina), como se mencionó con anterioridad, sino que, debido a sus múltiples propiedades bactericidas y floculantes, son aplicadas para la purificación del agua en poblaciones donde impera la deficiencia de servicios de salud y agua potable (Sánchez-Peña et al., 2013).

Varios microorganismos patógenos de transmisión fecal-oral pueden estar presentes en el agua no potable, entre ellas bacterias tales como *Salmonella*,

Shigella y *Vibrio cholerae*, que representan grandes problemas de salud pública en comunidades de extrema pobreza (De la Cruz, 2004).

Los compuestos antibióticos *Pterygospermina* y *athomine*, extraídos de la corteza de la raíz, tienen un efecto bactericidas sobre un amplio espectro de bacterias Gram positivas y Gram negativas, incluyendo *Bacillus subtilis*, *Escherichiacoli*, *Salmonellatyphi*, *Salmonella enteritidis*, *Micobacterium tuberculosis*, *Shigelladysenteriae* y *Vibrio cholerae* (Nellis, 1997).

(Ayotunde et al, 2011), realizaron un estudio de noventa y seis horas sobre la determinación de la toxicidad del extracto acuoso de semillas de *Moringa Oleífera* sobre *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo) crías y adultos, encontrando que una concentración de 252-242 mg/L resulta tóxica para las crías y una concentración de 351-332 mg/L resulta tóxica para los adultos. La reacción se manifestó por movimientos erráticos, pérdida de reflejos, decoloración, descamación y hemorragia, debida a una alteración de los parámetros hematológicos; por lo tanto se dedujo que el nivel de toxicidad es directamente proporcional al aumento de la concentración.

La *Moringa Oleífera* conocida comúnmente como *Moringa* es un árbol pequeño y de crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 10-12 metros de altura (Liñan, 2010), es originario de los Himalaya, pero ha sido introducido en diferentes lugares como: Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri Lanka, el Sureste asiático, Asia occidental, la Península Arábiga, África del Oeste, Madagascar, el sur de la Florida, las islas del Caribe, América del Sur, desde México a Perú, Paraguay y Brasil; crece con rapidez en lugares favorables incrementando de 1 a 2 m por año en altura durante los primeros 3 a 4 años (Parrotta, 1993).

Una característica muy importante de la *Moringa* es su capacidad de resistencia a la sequía y el potencial agronómico siendo un árbol cultivable en regiones áridas y semiáridas. Todas las partes de la planta son comestibles desde las hojas hasta la raíz y sus compuestos nutricionales son abundantes.

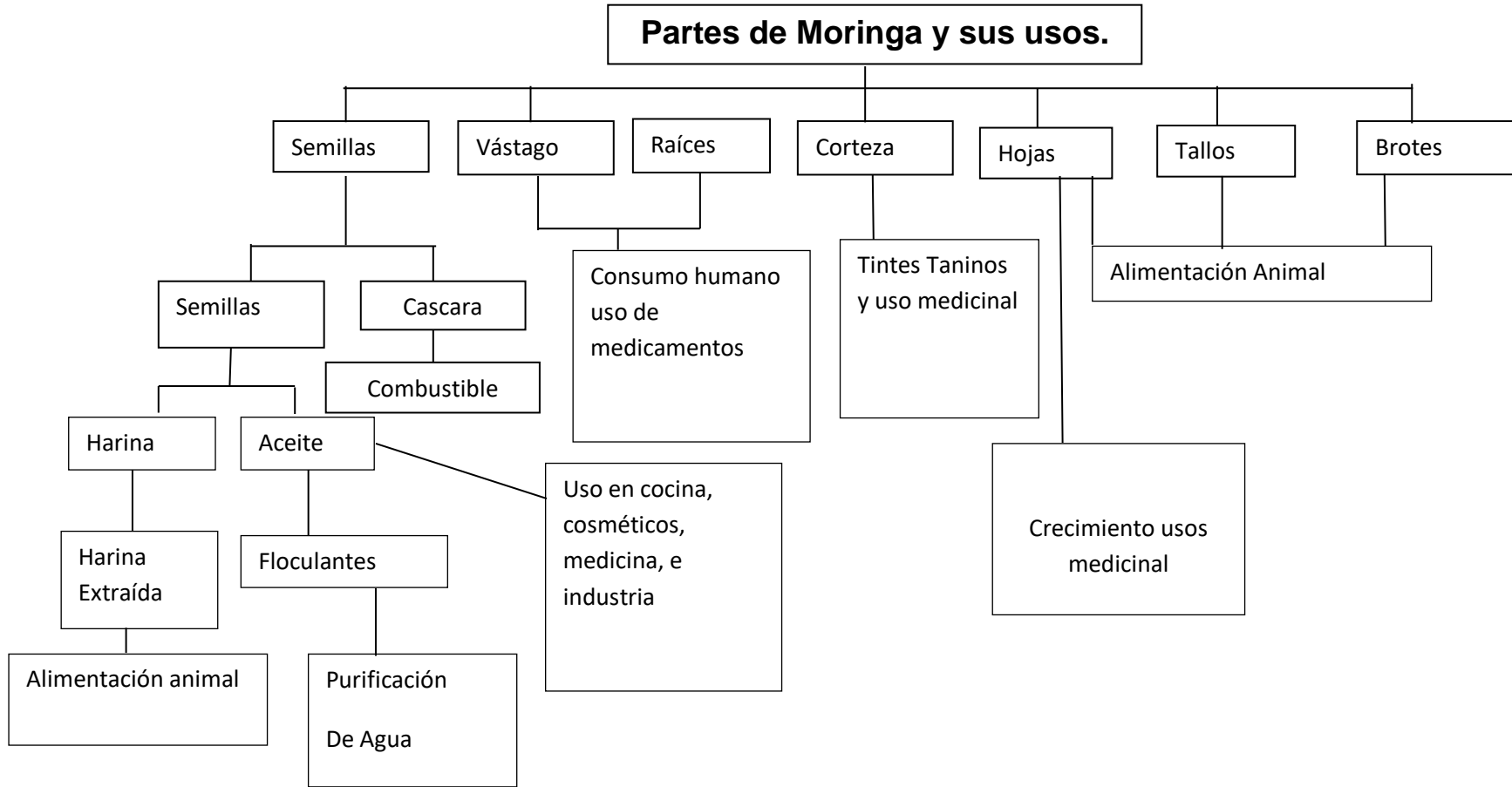


Fig. 4: Partes de la Moringa y usos.

Su capacidad de adaptación y resistencia es de vital importancia porque hoy en día se sabe que las condiciones climáticas ya no se rigen por las temporadas, esto debido a que con el paso del tiempo las estaciones del año han cambiado radicalmente de un clima caluroso en invierno hasta una sequía en verano.

Como se sabe las semillas de la *Moringa* contienen algunas proteínas funcionales de alto valor con capacidad coagulante, esta tecnología se ha fusionado con el tratamiento de aguas, que es de gran importancia, ya que la falta de agua dulce en nuestro planeta es una problemática real causada principalmente por la escasez de lluvias, sobreexplotación de mantos acuíferos y contaminación del medio natural (García & Fayos; 2007).

Otro factor importante de mencionar es la sobrepoblación y el avance tecnológico que hay en la actualidad, por lo que ha ocasionado la intensificación de la actividad industrial, agrícola y turística en todo el mundo, especialmente en los países desarrollados permitiendo el incremento de las actividades económicas sujeto al nivel de desarrollo y calidad de vida de las personas o bien de la población (García et al, 2007), todo esto en conjunto afecta al medio ambiente y por lo tanto a este recurso vital para la humanidad, el agua.

En muchos países se han desarrollado estrategias políticas medio ambientales y las empresas se han percatado de la importancia del cuidado de los recursos naturales, por lo que están implementando que sus procesos sean más eficientes y sustentables, sin embargo aún falta mucho por hacer a nivel empresarial.

El desabasto de agua es un tema de suma importancia y es por ello que en esta investigación se aporta una razonable solución ante esta problemática actual. Las Semillas de la *Moringa* por las proteínas que tiene y sus propiedades coagulantes están siendo utilizadas en el tratamiento de aguas ayudando a países de bajo desarrollo que no tienen los suficientes recursos ni la tecnología para el tratamiento de ésta.

Ante esta posibilidad e investigación respecto a esta Semilla, hay diversos estudios en los últimos años por la importancia nutricional que posee, ya que el contenido de proteínas, vitaminas y minerales es muy sobresaliente pero sobre todo se destaca que en la planta se encuentran todos los aminoácidos esenciales (Mathur, 2005).

En la actualidad existe una variedad de productos elaborados a partir de la planta de *Moringa* como: cápsulas genéricas, chocolate en polvo, cápsulas de *Moringa* y *Ginseng*, cremas hidratantes, vainas frescas, refrigeradas y enlatadas para consumo humano principalmente a lo largo de la India (Folkard & Sutherland, 1996) destacando en estos productos los altos contenidos de vitaminas y minerales como: vitamina A, B1, B2, B3, C y Calcio, Cobre, Cromo, Hierro, Magnesio, Manganeso, Fósforo, Potasio, proteínas y Zinc. Relacionándolo directamente en cantidades (gg-1) se tiene que para:

Tabla 3: Contenido de algunos compuestos presentes en *Moringa*.

Compuesto	Alimento	Hoja de <i>Moringa</i>
Vitamina A	Zanahoria	10 veces más
Vitamina C	Naranjas	0.5 veces más
Calcio	Leche	17 veces más
Potasio	Plátano	15 veces más
Hierro	Espinaca	25 veces más
Proteína	Yogurt	9 veces más

La *Moringa* abre diferentes caminos en cuanto a investigación debido a que existe información general sobre esta y sobre los beneficios que proporciona a la salud y al medio ambiente. Empero aún hay un camino por explorar respecto a este árbol y sus productos, pues aún se carece de información acerca de la importancia nutricional y disponibilidad de los compuestos o nutrientes en el cuerpo así como también el valor y absorción de las proteínas en el metabolismo. Respecto al valor

nutricional de las proteínas presentes en la *Moringa* debido a que existen análisis de contenido proteínico en hojas de *Moringa* que demuestran que hasta el 30% de su peso seco está formado por proteína. Realizando una comparación en cuanto a la proteína de la leche en polvo ésta tiene un 35% de proteína, y parece ser que toda es asimilable (Sánchez, Y., Martínez, G., Sinagawa., & Vázquez, J., 2013).

Desde la perspectiva del impacto ambiental hay estudios establecidos con Semilla de *Moringa* (SMO) que ofrecen nuevas alternativas para la problemática del agua, hacen referencia a opciones en el tratamiento de agua. La humanidad es una constante de cambio en cuanto a tecnologías, maneras de pensar, actuar así como la relación con el medio ambiente. El hombre por naturaleza tiene que evolucionar, de la misma manera en que sus pensamientos.

A mediados del siglo XVIII y principios del XIX surgieron acontecimientos que aportaron cambios tecnológicos muy importantes para la sociedad; a éstos se les nombró revolución industrial, y trajo consigo problemas ambientales debido al impacto de la industria en la naturaleza. La población ha incrementado las actividades humanas, en contra del ambiente, desglosando diferentes datos de gran importancia, un ejemplo es la huella ecológica, este es indicador de la demanda humana sobre los ecosistemas en términos de la superficie agrícola, pecuaria, forestal y de zonas pesqueras (SEMARNAT, 2008). Esto tiene una relación directa con la revolución industrial y sus consecuencias afectando los suelos y mantos acuíferos.

Con respecto al agua en México el volumen promedio que se obtiene por precipitación cada año es de 1488 km³ menos el 72.5% que se evapotranspiración a la atmosfera además del agua que ingresa por precipitación. México recibe 49.744 km³ por medio de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 km³ del Río Bravo a E.U.A. (SEMARNAT, 2008), es aquí donde se encuentra el gran problema, los ríos, lagos y mares son los que abastecen a la población entera de este recurso vital.

1.7. Actividad antimicrobiana de la semilla de *Moringa* (SMO)

Los aminoácidos polares hidrófilos presentes en la semilla (*Ácido Glutámico, Ácido Aspártico, Arginina, Histidina y Lisina*) actúan como agente coagulante activo, en forma de cadenas *polipeptídicas* solubles, que permiten el contacto con las partículas coloidales presentes en agua turbias (Oluwalana, et-al; Bankole 1999).

Además presenta sustancias antibióticas debido a la presencia de tres compuestos de alta actividad bactericida y fungicidas, afectando especialmente a *E. Coli, Shigella, Bacillus cereus y Salmonella typhi*, habituales patógenos de las agua turbias. (Odeyemi, 2011). A pesar de las propiedades antimicrobianas de la *Moringa*, se recomienda emplear un método de desinfección adicional, especialmente en lugares donde la población está acostumbrada a tomar agua tratada.

La *Moringa Oleífera* se ha descrito como una planta con actividad antibacteriana contra algunos patógenos humanos, como *Shigella, Pseudomonas, Staphylococcus, Bacillus cereus y Streptococos* (Rahman et al, Sheikh 2009). Este efecto se ha atribuido a diferentes partes de la planta, tales como las hojas, flores, semillas, raíces, cortezas y vainas inmaduras.

Investigaciones posteriores también mostraron que la *Pterigospermina* y extractos de la *Moringa* presentaron actividad antibiótica en contra de una variedad de microbios. Sin embargo, el aislamiento y la caracterización de la estructura de estas moléculas resulta un reto técnico, pues pueden ser fácilmente dañadas durante la manipulación. Un ejemplo de estas dificultades podría ser precisamente el caso de la *Pterigospermina*, pues la identificación original de esta sustancia ha sido cuestionada, atribuyéndose a un componente del aislamiento o errores en la caracterización estructural (Eilert et al., 1981).

Fig. 5: Estructuras fotoquímicas importantes en las especies de *Moringa*

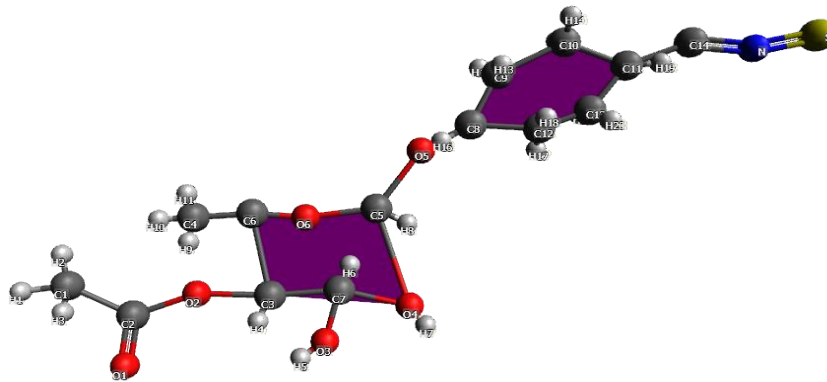


Fig. 5 "A": 4-(4'-O-acetil- α -L-ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato.

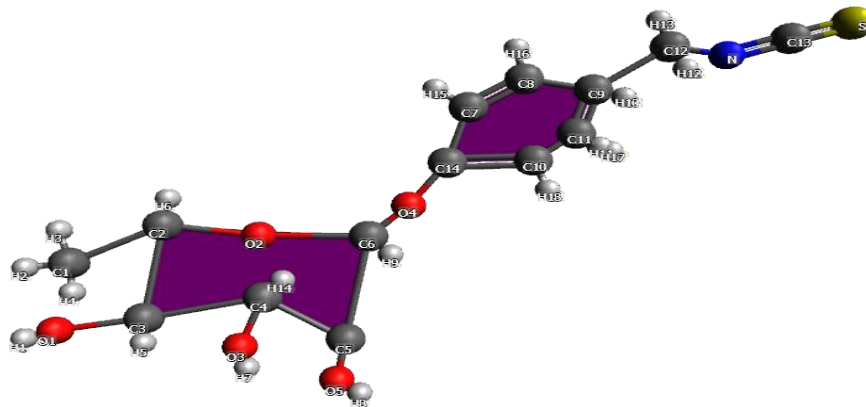


Fig. 5 "B": 4-(L-ramnopiranosiloxi) Bencilisotiocianato

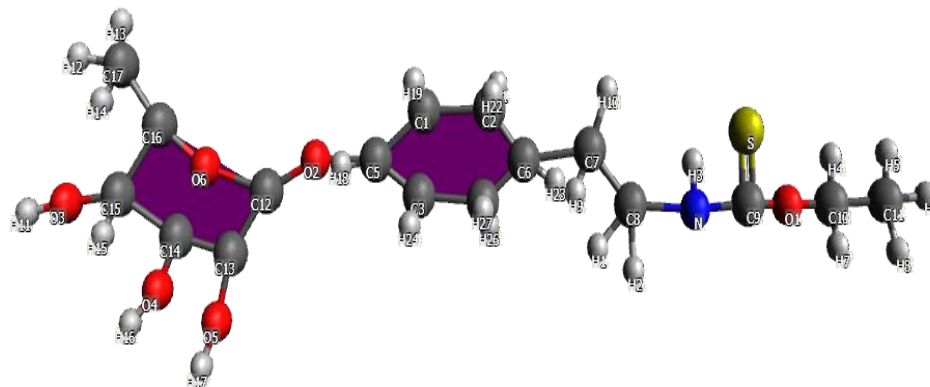


Fig. 5 "C": Niacimicina (niazimicin en inglés)

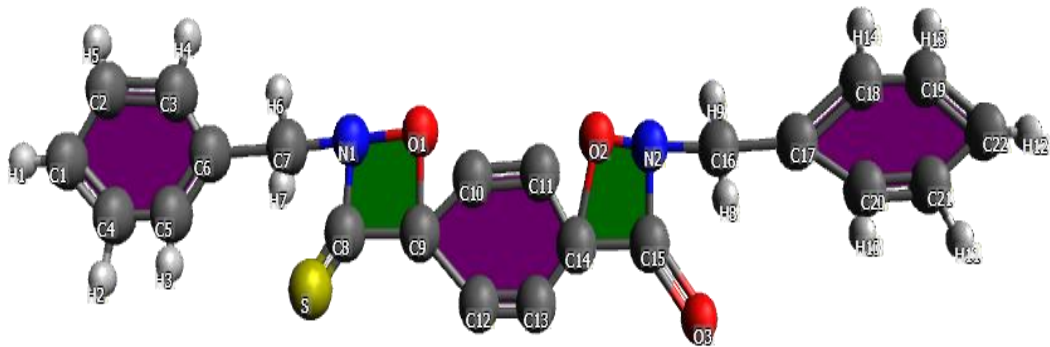


Fig. 5"D": *Pterigospermina*; la identidad de la *Pterigospermina*. (Se ha puesto en duda en estudios que sugieren que podría representar un artefacto del proceso de aislamiento o bien un error de la determinación estructural).

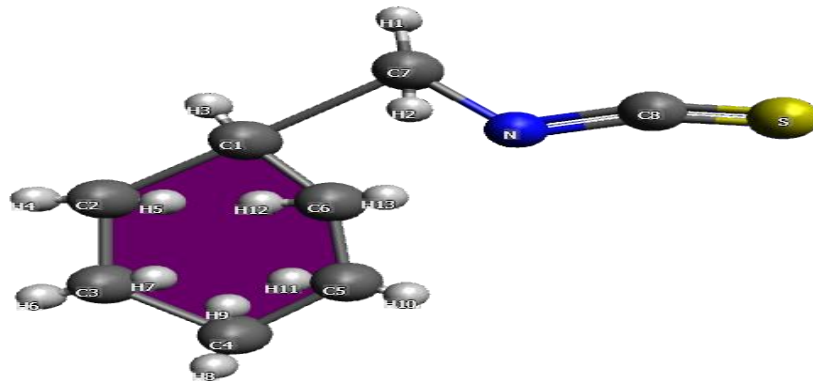


Fig.5"E": *Bencilisotiocianato*.

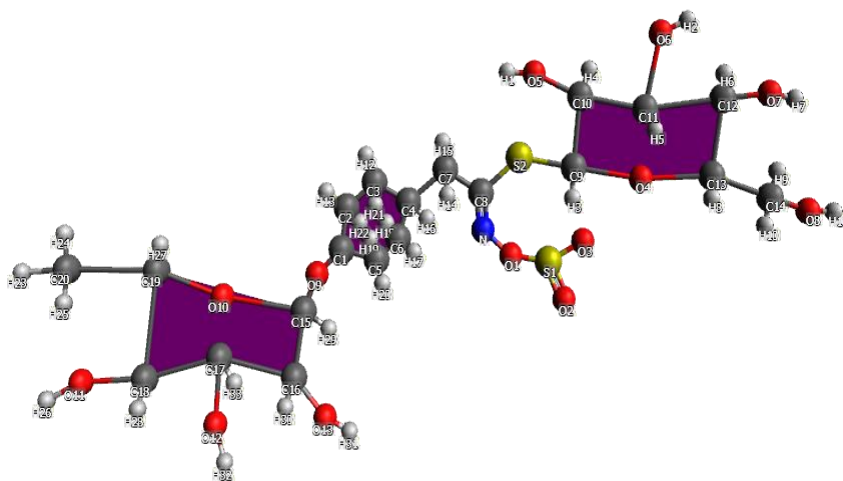


Fig. 5"F": *4-(α -L-Ramnpiranosiloxi) bencilglucosinolato*.

Considerando todas las propiedades que ofrecen el árbol de *Moringa* y la carencia de investigación respecto a sus diversos usos y propiedades, se retomó la semilla de *Moringa* para poder sustentar esta investigación y aplicarlo como un floculante natural en el tratamiento del agua y que se pretende con ello el disminuir el uso de Productos químicos como el Sulfato de Aluminio, que en la actualidad se utiliza pese a las desventajas que presenta por ser un producto nocivo para la salud humana.

Es importante que con el avance de la tecnología y conocimientos científicos a los que ahora se tienen acceso, vayan a la par de generar nuevas u otras opciones más ecológicas para contrarrestar las adversidades que en la actualidad tenemos y enfrentamos, como lo es la contaminación, la cual va creciendo cada vez más así como el gran impacto que tiene el aumento de la población, esta situación generará problemas de abastecimiento y contaminación del agua en un futuro.

Es por ello que la sociedad requiere responsabilizarse, creando y/o buscando nuevas alternativas para poder sustentar todos esos problemas que se avecinan para las futuras generaciones. Es inevitable enfatizar esta gran problemática que hay de fondo ante este escenario nada alentador, es por esto que se necesita la búsqueda y uso de nuevos recursos sustentables. Por lo que la visión que se pretende dar en este trabajo es el uso potencial de las semillas de esta planta como un nuevo método natural en el tratamiento de aguas, por lo que en los siguientes capítulos se describe la parte experimental con la semilla de *Moringa* así como los resultados obtenidos en esta investigación.

CAPITULO II

2. Metodología experimental.

En esta sección se plantea la parte experimental de esta investigación y la metodología a seguir, representadas en el siguiente diagrama para el desarrollo de esta tesis.

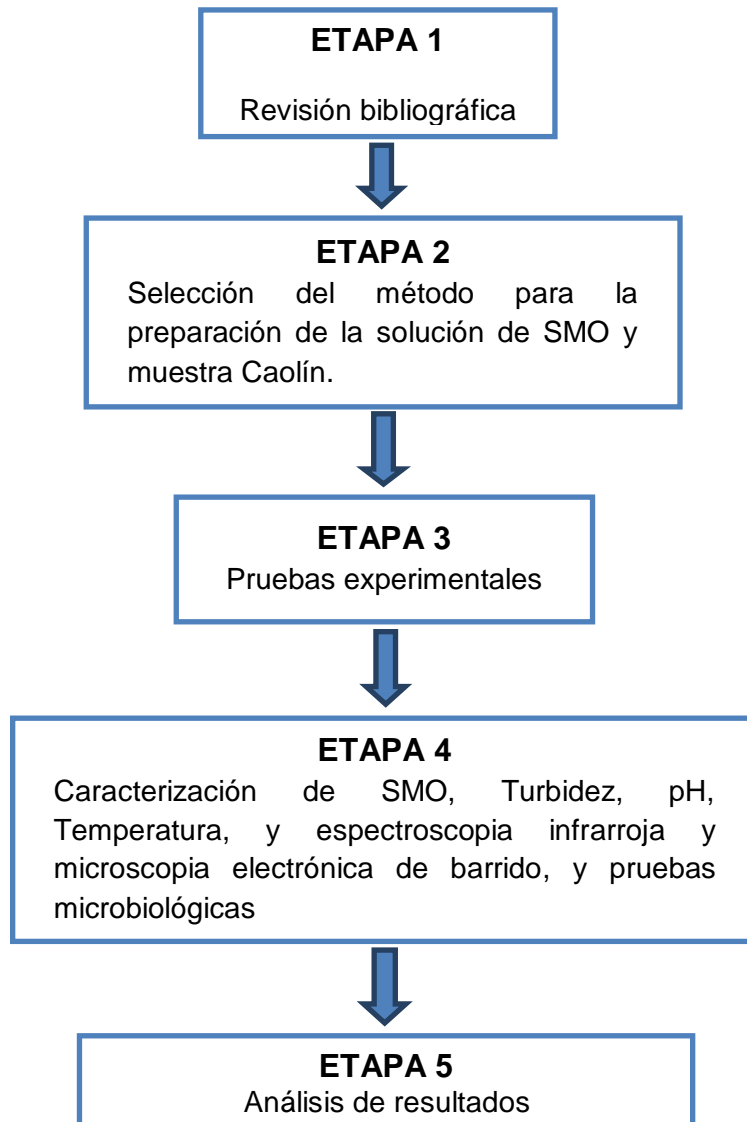


Fig. 6: Metodología empleada en la realización de este trabajo.

En la metodología usada en esta investigación se realizaron pruebas experimentales para el desarrollo y la caracterización de un floculante natural a base de Semilla de *Moringa Oleífera* (SMO) para la reducción de turbidez en Sistemas de Captación de Agua Pluvial.

El agua pluvial cuando queda acumulada y por efectos del calor vira en una coloración verde, porque las partículas que arrastra el aire generan diferentes tonalidades de color así como una turbidez característica del agua en estas condiciones. Por lo que es muy difícil generalizar una turbidez en cualquier agua de lluvia estancada pues cada cual tiene diferentes condiciones ambientales.

Por lo cual se produjo la selección del método más viable para la realización de las pruebas experimentales, recurriendo así a las muestras coloidales sintéticas para la obtención de resultados confiables para esta investigación. En la solución coloidal sintética se mantuvo una turbidez promedio para que fuese capaz de ser clarificada con la SMO y simultáneamente se manejó el Sulfato de Aluminio como floculante Estándar para que el proceso de floculación fuera comparativo. Posteriormente se explicara a detalle estas pruebas en la Preparación de la solución de SMO (2.1.1.1).

Para la etapa cuatro se empleó la prueba del FTIR por ser un equipo confiable y certero, la cual determinó los grupos funcionales presentes de los aminoácidos, con ayuda de la microscopia de barrido dio un panorama de la topología del material así como el tiempo del análisis químico básico, reafirmando los elementos constituyentes de los grupos funcionales, caolín y sulfato de aluminio. Mismo que se explica a detalle posteriormente (2.3). Respecto al Análisis de resultados de las pruebas de caracterización mencionadas en la etapa cinco se detallan en el capítulo tres.

2.1 Reactivos

Para la preparación de la solución SMO se utilizaron los siguientes reactivos.

Tabla 4. Lista de reactivos

Reactivo	%Pureza	Proveedor
<i>Moringa Oleífera (Semilla)</i>	99	Moringa Nutrim®
Caolín	99	Droguería Medina
Agua destilada	99.9	Sigma-Aldrich
Bicarbonato de Sodio	99	Sigma-Aldrich

2.1.1 Métodos

2.1.1.1 Preparación de la Solución de SMO (Coagulante)

Las semillas utilizadas para esta investigación, se adquirieron de la empresa “Moringa Nutrim®”, la cual se encuentra ubicada en Ciudad Obregón, Sonora, México. Estas fueron pedidas vía Internet por paquetería, con un manejo de ellas exhaustivo de acuerdo a sus normas de calidad de la empresa (Nutrim, 2001). La semilla fue protegida de la humedad en un empaque plastificado y con bolsitas de cloruro de calcio.

Posteriormente se procedió a la selección de las mejores semillas para la investigación, con las siguientes características: coloración amarillo pardo la cual determina que está en buenas condiciones, el tamaño uniforme de 4 ml de diámetro, alas de la cáscara completa, eliminación de semillas vanas y sin humedad.



Fig. 7: Semilla de *Moringa Oleífera*.

A continuación de la selección de la SMO, se le retiraron las “alas”, hasta dejar la almendra blanca. Las semillas deben tener cierta humedad y una coloración amarillenta, sin presentar signos de desecación (no secas) externa, para ser usadas. A continuación son trituradas por un machacado tradicional o mecánico.



Fig. 8: Semilla de *Moringa Oleífera* sin alas o cáscara

Para este experimento el prensado de la SMO se realizó manualmente con el uso de un mortero, aplicando presión sobre las semillas hasta obtener un prensado (trituración) uniforme.



Fig. 9: Semilla de *Moringa* molida con mortero

Para la preparación del coagulante (solución de SMO) se usaron 2.8 gramos de polvo de SMO, se colocó en un mezclador con agitador magnético de alta velocidad y se añadió 230 ml de agua destilada, posteriormente se mezcló durante doce minutos; los primeros dos min. A velocidad rápida y los subsecuentes 10 min. A velocidad lenta, para poder extraer el ingrediente activo. Para comprobar en este experimento el desempeño como coagulante de la SMO se utilizó la solución en muestras coloidales de 400 ml con turbidez de 2,456 NTU en promedio.

Previamente a la preparación del coagulante de SMO, se le realizó un prensado por presión y se requirió aplicar un proceso de eliminación de aceite con etanol como disolvente, como se describe por (Sánchez-Martín et al, 2013). En la investigación se realizaron diversos análisis para encontrar y desarrollar la mejor concentración (Dosis) de la solución SMO para poder aplicarla en el proceso de coagulación-floculación Vs tiempo.

2.1.1.2 Preparación de la muestra coloidal.

Se realizó de la siguiente forma la preparación de la solución: 5 gramos de Caolín, (adquirida en Farmadroguería Medina®) disuelto en 500 ml de agua destilada. Previamente se añadió una solución de bicarbonato de sodio de 50 mg/L, en una solución preparada 100 mg/L a la suspensión de Caolín y está se aforo hasta un litro con agua destilada.

A continuación a la suspensión resultante se le agitó lentamente a 20 rpm durante 30 min en una parrilla electromagnética sin temperatura para la dispersión uniforme de las partículas de arcilla. Se dejó la muestra coloidal en reposo durante un tiempo de 24 hrs., para permitir la hidratación completa del Caolín y la estabilización (solución con turbidez, muestra coloidal sintética) y así no precipitar como lo sugiere (Hanna et al., 1967). Una vez lograda la muestra coloidal se utilizaron ocho muestras de 400ml preparadas de igual forma, considerando que son muestras representativas y homogéneas. Cabe mencionar que en un inicio se realizó una prueba de un litro pero para evitar desperdicio de muestra se optó por muestras de 400ml en los precipitados de 500ml.



Fig. 10: Muestra coloidal de Caolin

2.2 Pruebas de floculación

En esta etapa se plantea todo el desarrollo de la parte experimental que se requirió para cumplir con los objetivos y poder encontrar una alternativa de coagulación-floculación natural. En el siguiente diagrama se indica el proceso.

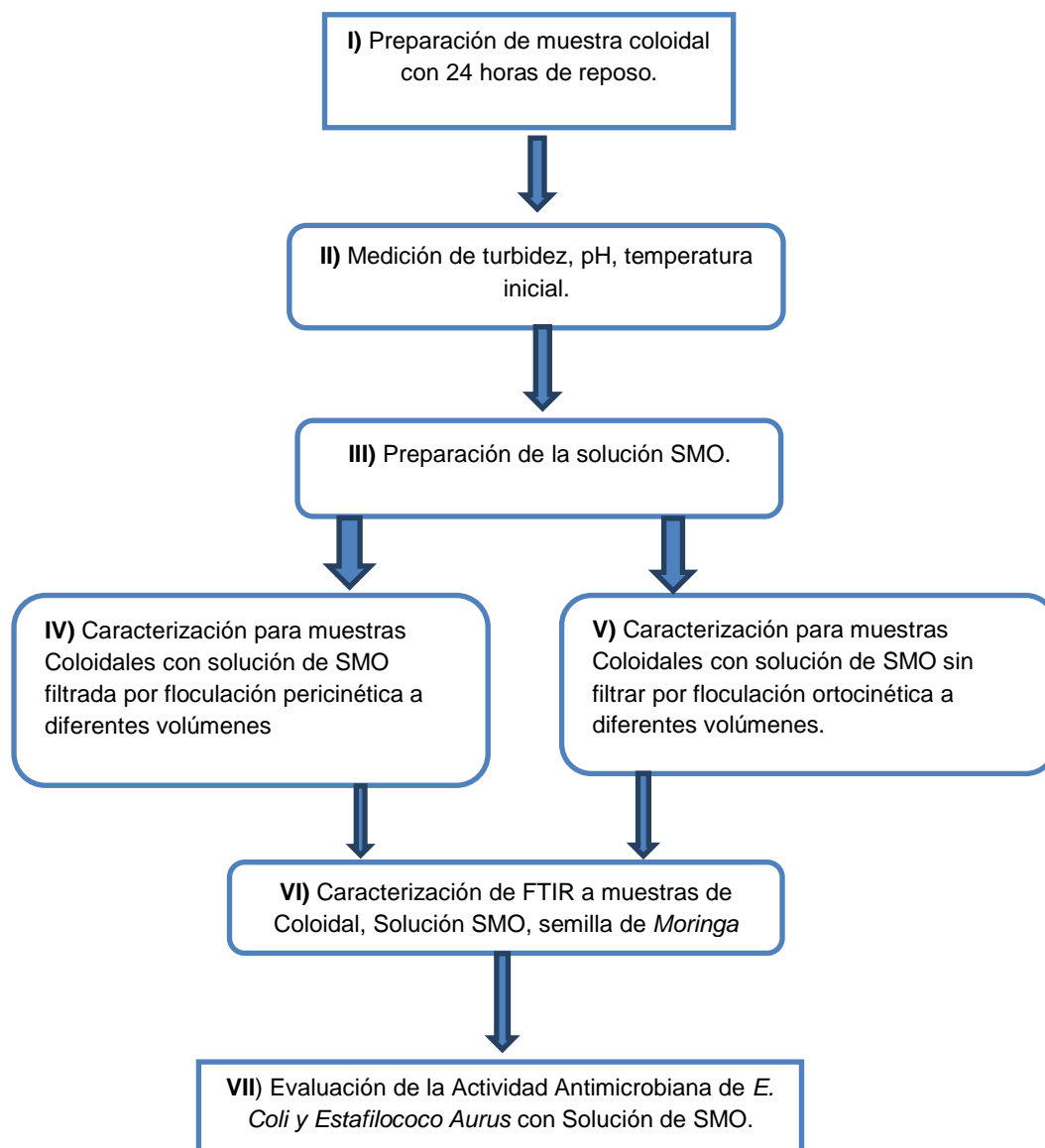


Fig. 11: Diagrama de parte experimental empleada en la realización de esta investigación.

2.2.1 Floculación pericínética en muestras coloidales

El procedimiento de floculación se efectuó en dos partes, la primera sin agitación y la segunda con agitación. En la preparación de las muestras coloidales (400ml) se consideraron ocho muestras, de las cuales se dosificaron seis para observar en las restantes el comportamiento de la muestra coloidal sin solución de SMO y la muestra estándar de Sulfato de Aluminio en relación a las dosificadas a diferentes volúmenes. Con la finalidad de hallar la dosis idónea de un floculante natural que disminuya el uso del Sulfato de Aluminio.

Para esta primera parte de la investigación, se midió la turbidez de las muestras coloidales (6), para tener una referencia de las condiciones de cada muestra, para observar la disminución de la turbidez en cada muestra para así obtener el mejor proceso de Coagulación -Floculación en menor tiempo y la mejor concentración (Dosis) de SMO Vs el Sulfato de Aluminio. (Ver tabla 5)

Tabla 5: Medición de las muestras coloidales con SMO por floculación pericínética a diferentes volúmenes.

Muestra	Solución de SMO	Solución $Al_2(SO_4)_3$	SMO filtrada	Agitación con la solución de <i>Moringa</i>	Turbidez Inicial.
1	0 ml	0	No	No	2,306
2	10 ml	0	Si	No	2,463
3	20 ml	0	Si	No	2,412
4	30 ml	0	Si	No	2,118
5	40 ml	0	Si	No	2,536
6	50 ml	0	Si	No	2,582
7	60 ml	0	Si	No	2,640
8	0 ml	.080mg/40 ml	No	No	2,589

2.2.2 Floculación ortocinética en muestras coloidales

Para esta segunda parte se prepararon ocho muestras coloidales (400 ml), de las cuales se dosificaron seis con SMO, una sin solución de SMO y la muestra estándar de Sulfato de Aluminio. Posteriormente cada muestra fue agitada por tres minutos y simultáneamente aumentando la dosificación de SMO para encontrar la mejor concentración en el proceso de Coagulación -Floculación en menor tiempo y la dosis idónea de este floculante natural Vs Sulfato de Aluminio. Cabe mencionar que también fueron medidas previamente el nivel de turbidez de todas las muestras coloidales para esta parte de la investigación. (Ver tabla 6).

La agitación fue realizada con un agitador magnético a 60 RPM, durante tres minutos, y se mantuvieron en reposo dentro del Turbidímetro un promedio de quince minutos por muestra hasta su lograr su estabilización, para posteriormente realizar su lectura y monitoreo y evitar así perturbaciones en cada una de las muestras para lograr una mejor exactitud en las lecturas.

Tabla 6: Medición de las muestras coloidales con SMO por Floculación Ortocinética a diferentes volúmenes.

Muestra	Dosificación De Solución de SMO	Dosificación De Solución De Solución $Al_2(SO_4)_3$	SMO sin Filtrar	Agitación con la Sol. de <i>Moringa</i>	Turbidez Inicial.
1	0 ml	0	No	No	2,715
2	30 ml	0	Si	Si	3,665
3	60 ml	0	Si	Si	4,320
4	90 ml	0	Si	Si	3,527
5	120 ml	0	Si	Si	4,260
6	150 ml	0	Si	Si	3,652
7	180 ml	0	Si	Si	3,112
8	0 ml	.080mgr/40 ml	No	No	1,618

2.3 Técnicas de caracterización.

2.3.1 Equipos

Para la preparación y caracterización de la solución SMO se operaron los siguientes equipos. (Ver tabla 7)

Tabla 7. Lista de equipos

Equipo	Función
Microscopio electrónico de barrido	Observar topología superficial de las muestras obtenidas
Espectrofotómetro FTIR	Determinar los grupos funcionales existentes en los aminoácidos.
Turbidímetro	Cuantifica la cantidad de partículas coloidales dispersas en la muestra a clarificar.

2.3.1.1 Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)

Se realizó un análisis de espectroscopia de Infrarrojo en el equipo Bruker Modelo Vertex 70 (Fig. 12) usando las muestras coloidales de SMO con la finalidad de determinar los grupos funcionales en los (Aminoácidos) existentes y así comprobar la presencia de grupos funcionales que actúan en el proceso de floculación. Se trabajó con un intervalo de medición de 550 a 4,000 cm^{-1} , el cual corresponde a la región del infrarrojo medio.



Fig.12: Espectrofotómetro IR

2.3.1.2 Microscopía electrónica de barrido

El equipo usado (marca JEOL modelo JSM-6610 LV) consta de una sonda EDS marca Oxford (Figura 13) que permite realizar un análisis químico elemental de la muestra. Las condiciones de operación fueron las siguientes: voltaje de operación 15 KV y corriente de emisión 75 mA, a una distancia de 10 mm, así como del microscopio electrónico de barrido porque permite observar la topología superficial de las muestras obtenidas.



Fig.13: Microscopio electrónico de barrido

2.3.1.3 Turbidez

La turbidez es un parámetro importante que indica la cantidad de partículas coloidales dispersas en la muestra a clarificar, por lo que para este análisis se utilizó el Turbidímetro Hach Modelo 2100N (Camlab Ltd.).

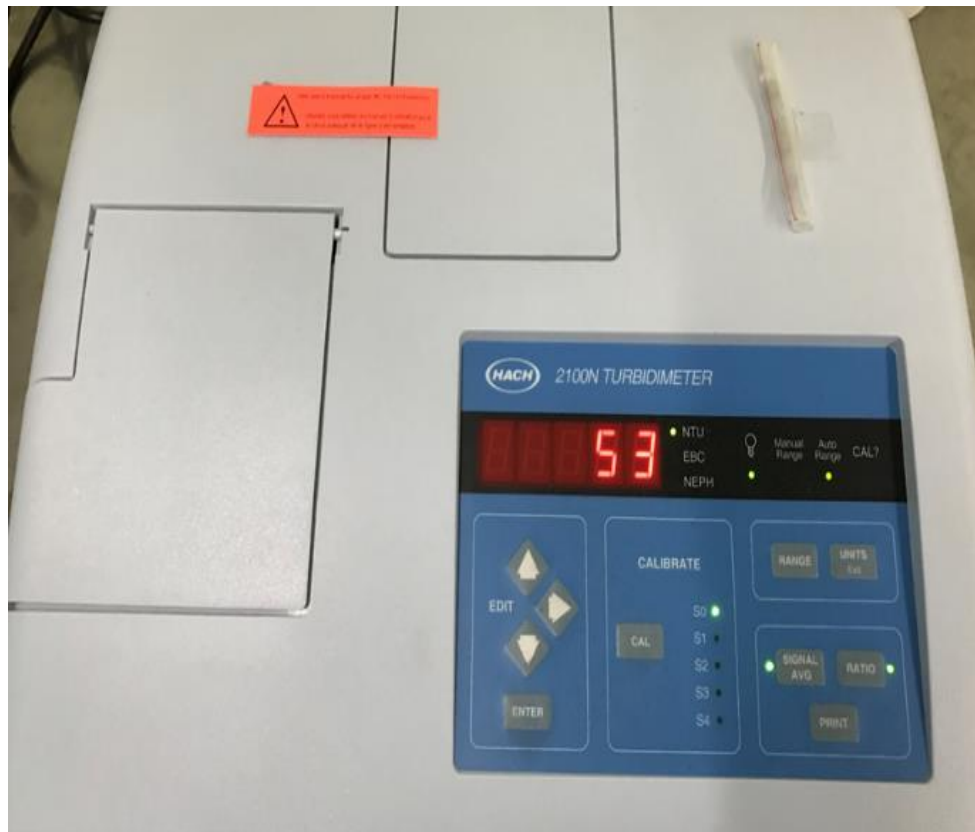


Fig. 14: Calibración de Turbidímetro HACH 2100N antes de operación.

2.4 Evaluación de la actividad antimicrobiana de *E. Coli* y *Estafilococo Aurus* con solución de SMO.

El método Kirby-Bauer (Bauer et al., 1966) (método de difusión en Agar) es empleado para determinar la sensibilidad de un agente microbiano frente a un antibiótico, el método comprende lo que se denomina un antibiograma o prueba de susceptibilidad bacteriana frente a drogas específicas.

2.4.1 Forma de aplicación

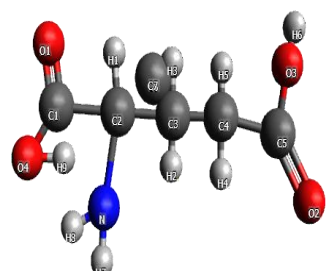
Sobre la superficie de una placa de Agar Müller-Hinton se inocula una cantidad estandarizada de bacterias, sembrándolas de forma uniforme para obtener un "césped" bacteriano. En seguida se colocan discos de papel de filtro impregnados con concentraciones conocidas de los diferentes antibióticos. La elección de los antibióticos a probar depende del germen y del foco de infección. El antibiótico difundirá desde el papel filtro al Agar de forma radial.

Se incuba la placa durante 18-24 horas a 37 °C (respetar este parámetro, porque temperaturas menores pueden disminuir la velocidad del crecimiento del germen y la difusión del antibiótico, dando halos irregulares difíciles de medir), y posteriormente se miden los halos de inhibición de desarrollo, interpretándose de acuerdo a tablas confeccionadas previamente.

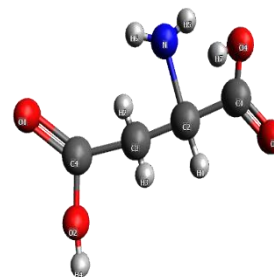
CAPITULO III

3 Resultados y discusión Los mecanismos de coagulación de la *Moringa*

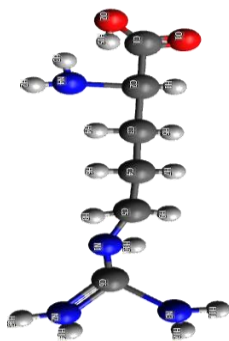
Las Semillas de Moringa pueden emplearse en los procesos de tratamiento de agua porque presentan gran concentración de unas proteínas cuyas propiedades floculantes la hacen ideal para la reducción de la turbidez. Los aminoácidos polares hidrófilos presentes en la semilla, a) *Ácido Glutámico*, b) *Ácido Aspártico*, c) *Arginina*, d) *Histidina* y e) *Lisina*) actúan como agente coagulante activo, en forma de cadenas *polipeptídicas* solubles, que permiten el contacto con las partículas coloidales presentes en agua turbias (Oluwalana, et-al; Bankole 1999).



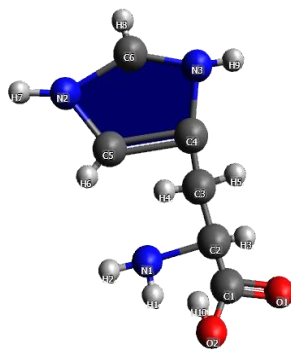
a) *Ácido Glutámico*



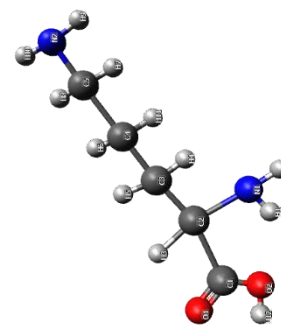
b) *Ácido Aspártico*



c) *Arginina*



d) *Histidina*



e) *Lisina*

Fig. 15: Aminoácidos con capacidad coagulante-floculante

Para llevarse a cabo se realizan las siguientes operaciones que requiere en el proceso de Coagulación-Floculación. Se tiene una solución coloidal de Caolín, la cual tiene la siguiente estructura molecular ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) combinada con una solución de Na_2CO_3 que le ayuda al Caolín a mantenerse más estable reduciendo su solubilidad.

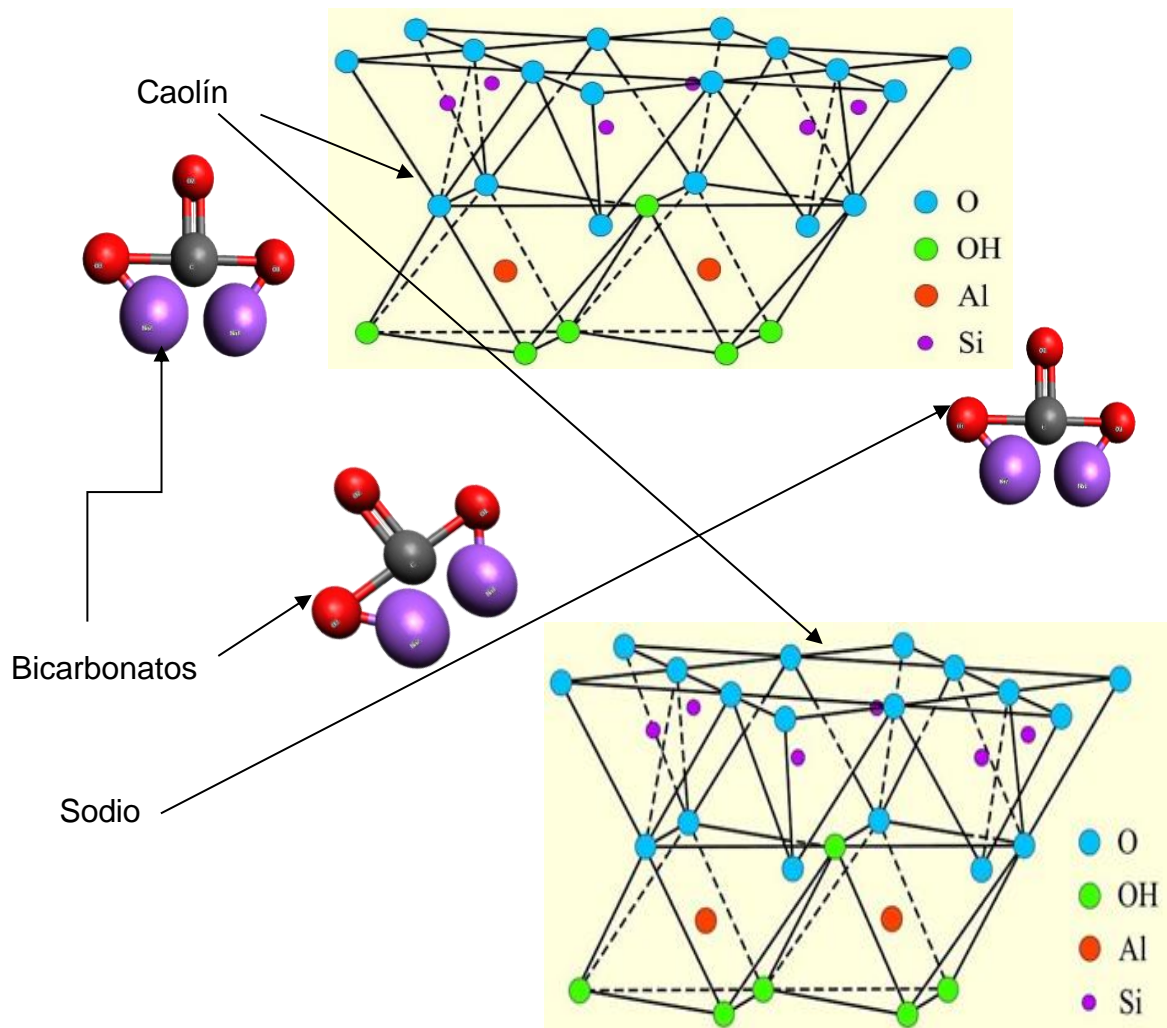


Fig. 16: Esquema de moléculas de solución coloidal (Caolín y Bicarbonato de Sodio)

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, el cual es uno de los dos mecanismos, dando lugar a la formación de un floculó. (Aumento de tamaño de la Molécula). La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua a una Solución de SMO la cual tiene aminoácidos polares hidrófilos presentes en la semilla (*Ácido Glutámico, Acido Aspártico, Arginina, Histidina y Lisina*) que actúan como agente coagulante activo (electrolito) llamado coagulante (Andía et al, 2000).

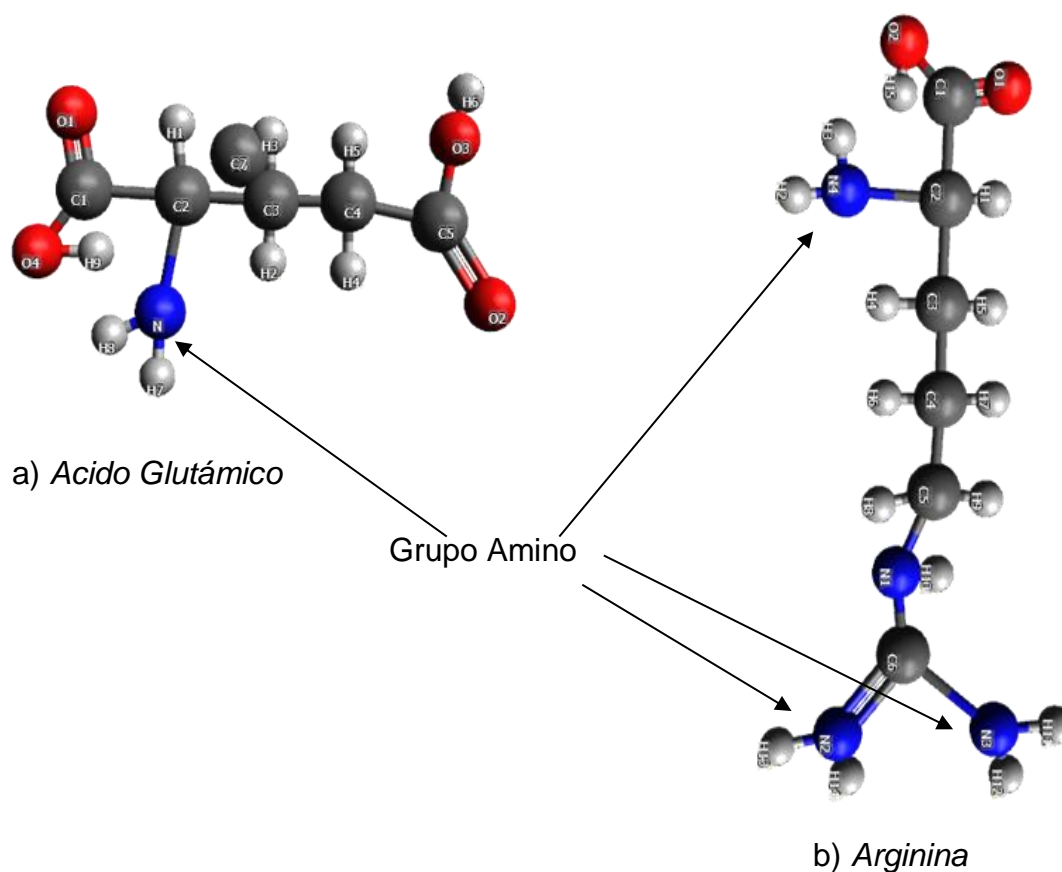


Fig. 17: Aminoácidos presentes en la semilla de *Moringa* responsables de la coagulación.

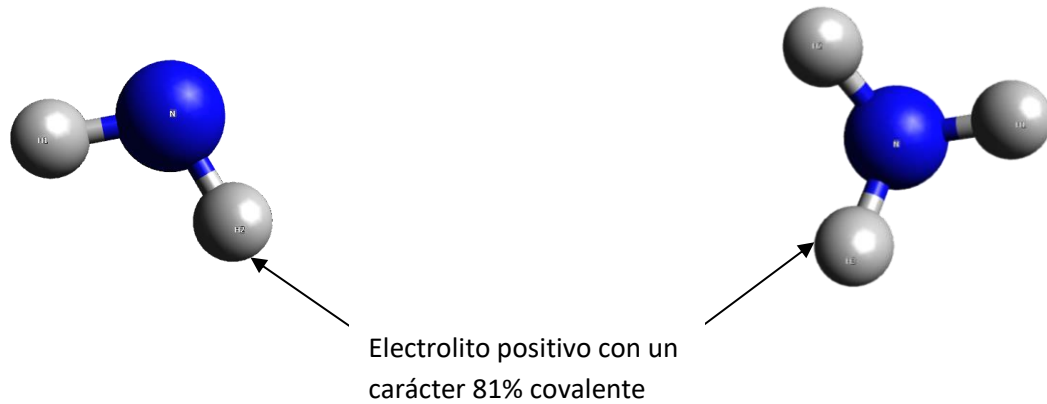


Fig. 18: Grupos aminos presentes en los aminoácidos de la semilla de *Moringa*

El agua por su parte ioniza a los aminoácidos logrando que los grupos funcionales desestabilicen las cargas de los coloides del Caolín presentes en la solución coloidal, consiguiendo que los flóculos (partículas coloidales) aumenten de tamaño iniciando así el proceso de floculación.

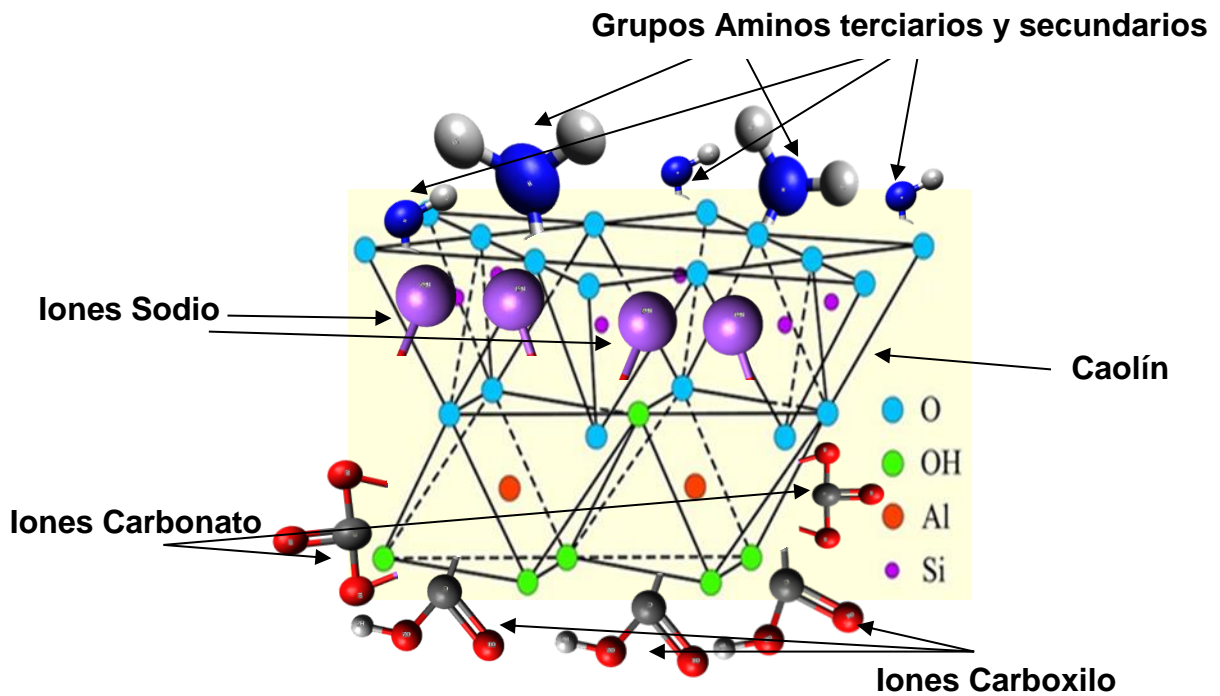


Fig. 19: Grupos funcionales en floculación del Caolín con los aminoácidos de la semilla de *Moringa*.

Este proceso trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que se pueden decantar. Y consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas; dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos, generando así la clarificación del agua a tratar. Existen dos mecanismos de coagulación: “La neutralización de la carga del coloide e inmersión en un precipitado” donde las partículas entran en contacto.

Respecto a diversos tipos de coagulantes, el Sulfato de Aluminio se usa de manera estándar en las empresas principalmente para el tratamiento de aguas, esté pudiera presentar ventajas en cuanto a costos sobre la *Moringa*, sin embargo la *Moringa* además de ser totalmente biodisponible y muy eficiente en cuanto a clarificación del agua presenta propiedades desinfectantes capaces de eliminar efectivamente microorganismos presentes en agua como *coliformes totales* y *fecales* (Mendoza, et al. 2000), así como también algunas cepas patógenas de *Escherichiacoli*, *Pseudomonasaeruginosa*, *Streptococcusfaecalis*, *Salmonella typhi* y *Shigelladysenteriae* (Oluduro et al, 2010).

3.2 Floculación pericinética.

La figura 20 presenta los resultados del proceso de floculación pericinética, en donde se observa las pruebas experimentales de floculación y el uso de la solución de SMO como floculante natural, descritos en el capítulo dos, se presentan en las siguientes imágenes y gráficas representando la floculación pericinética y el clarificado que se obtuvo en cada muestra después de 24 horas. (Ver Fig. 20).

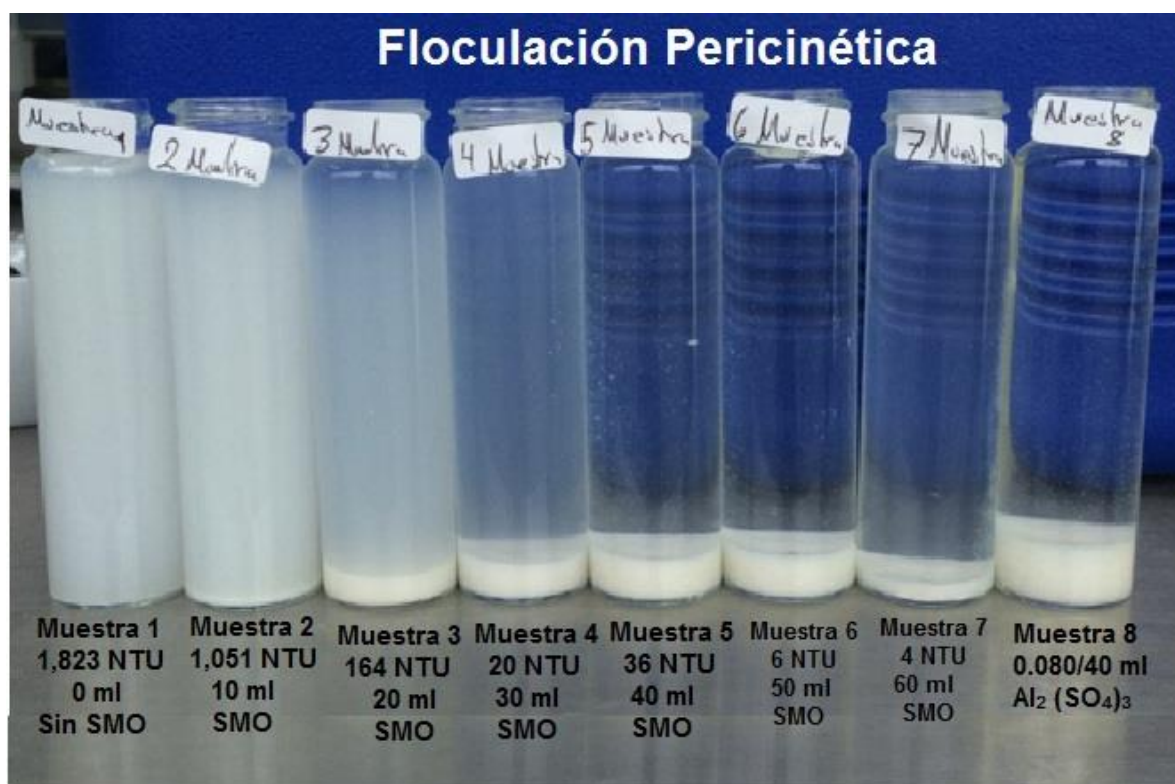


Fig. 20: Resultados de pruebas de floculación pericinética en muestras Caolín y con solución de SMO filtrada a las 24 Hrs. de aplicación

Se utilizó diferentes volúmenes como se muestra en la Fig. 20 del floculante natural a base de la solución SMO, usando la Floculación pericinética, dosificando diferentes concentraciones de SMO en las muestras 2 a la 7. Y en la muestra 1 sin SMO (0 ml) y la muestra 8 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) el cual es floculante estándar en los tratamientos de aguas, Posteriormente se monitoreo el comportamiento de las muestras a clarificar en relación al tiempo de cada hora en un periodo de 6 horas continuas y después a las 24 horas, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Medición de pruebas de floculación pericinética de la caracterización con tiempo de reposo para la toma de lecturas a diferentes concentraciones.

Muestra	Solución de SMO	Solución $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	SMO Filtrada	Agitación en SMO	Turbidez Inicial.	Medición 1er	Medición 2da	Medición 3ra	Medición 4ta	Medición 5ta	Medición 6ta	24 hrs Medición
1	0 ml	0	No	No	2,306	2,756	2,409	3,461	2,962	2,705	2,610	1,823
2	10 ml	0	Si	No	2,463	2,515	2,943	3,034	3,784	3,170	3,378	1,051
3	20 ml	0	Si	No	2,412	1,983	1,833	1,688	1,563	1,421	1,277	164
4	30 ml	0	Si	No	2,118	440	309	233	200	164	141	20
5	40 ml	0	Si	No	2,536	592	431	340	299	260	229	36
6	50 ml	0	Si	No	2,582	196	117	78	61	55	40	6
7	60 ml	0	Si	No	2,640	132	73	46	36	29	25	4
8	0 ml	.080mgr /40 ml	No	No	2,589	82	42	25	19	16	12	2

Cada hora se realizaron las lecturas de las muestras con el Turbidímetro en un orden cronológico como se refiere en la tabla anterior.

La figura 21 presenta los resultados de disminución de turbidez registrados cada hora, de las ocho pruebas realizadas con diferente concentración de SMO.

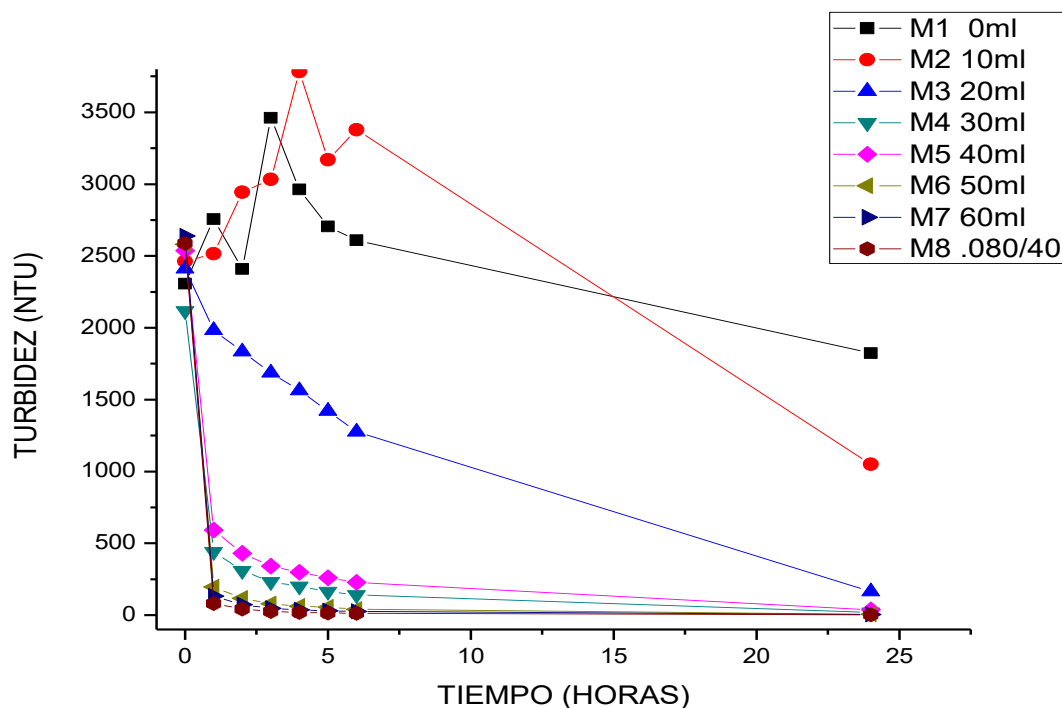


Fig. 21: Pruebas de floculación pericinética con muestras de Caolín y solución de SMO con tiempo de reposo (Horas) en reducción de la turbidez.

Es una imagen de los resultados obtenidos después de hacer las pruebas de floculación utilizando la Semilla de *Moringa Oleífera*, en la cual se observa que a diferentes adiciones de solución de SMO, la turbidez va disminuyendo. Tomando como referencia la muestra uno (M1) la cual tiene una turbidez de 1,823 NTU sin SMO y al experimentar a diferentes dosificaciones en las subsecuentes muestras (M2 a M8) se reduce el nivel de turbidez a 4 NTU en la muestra ocho (M8), logrando el uso de 60ml solución de SMO en la reducción de turbidez, por lo cual se demuestra que la semilla de Moringa sí posee las propiedades Coagulantes-Floculantes.

3.3 Floculación ortocinética.

Considerando los resultados anteriores se procedió al aumento de la concentración en la dosificación y se aplicó la floculación ortocinética. Monitoreando cada muestra de manera individual por la capacidad que tiene el Turbidímetro utilizado en esta parte de la investigación. Cabe mencionar que en las muestras experimentales se evitó el movimiento o perturbación para así poder obtener una lectura exacta y confiable en esta prueba realizada.

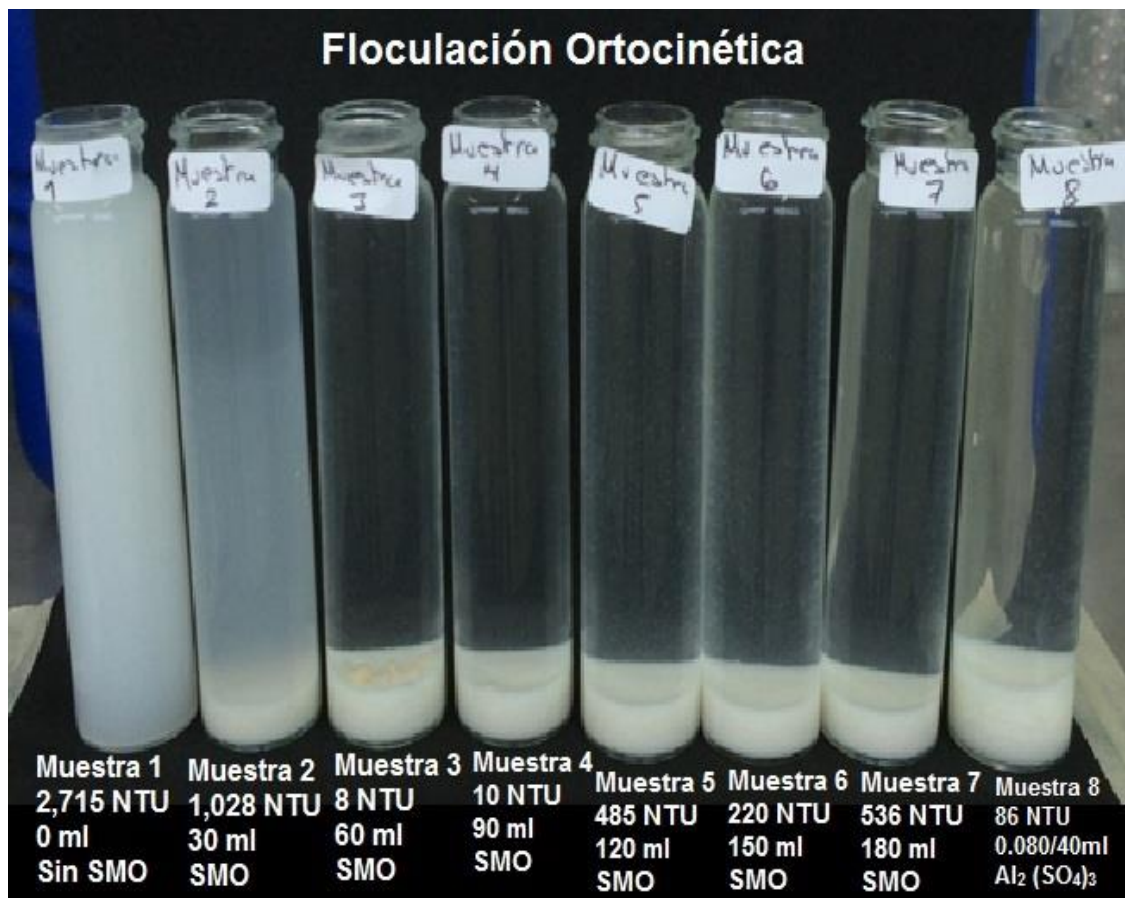


Fig.22: Resultados de floculación de la muestra de solución de Caolín tratada con diferentes concentraciones con solución de SMO.

En esta parte del experimento se aumentó el volumen de las soluciones del floculante natural a base de solución SMO y se agitaron cada una de las muestras a excepción de la muestra uno (M1) que no tiene solución de SMO y en la muestra ocho (M8) se le agregó $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$, mostrando los resultados observados en la figura 22.

Uno de los objetivos de esta investigación es conseguir la mejor concentración (dosis) de Solución de SMO para aplicarla en el proceso de coagulación-floculación en el menor tiempo posible por ello el uso de estas dosificaciones. Por lo que al observar la gran capacidad de la SMO en este proceso de floculación no se filtró la solución y se mantuvo en agitación continua para promover la floculación ortocinética. (Ver fig. 23)

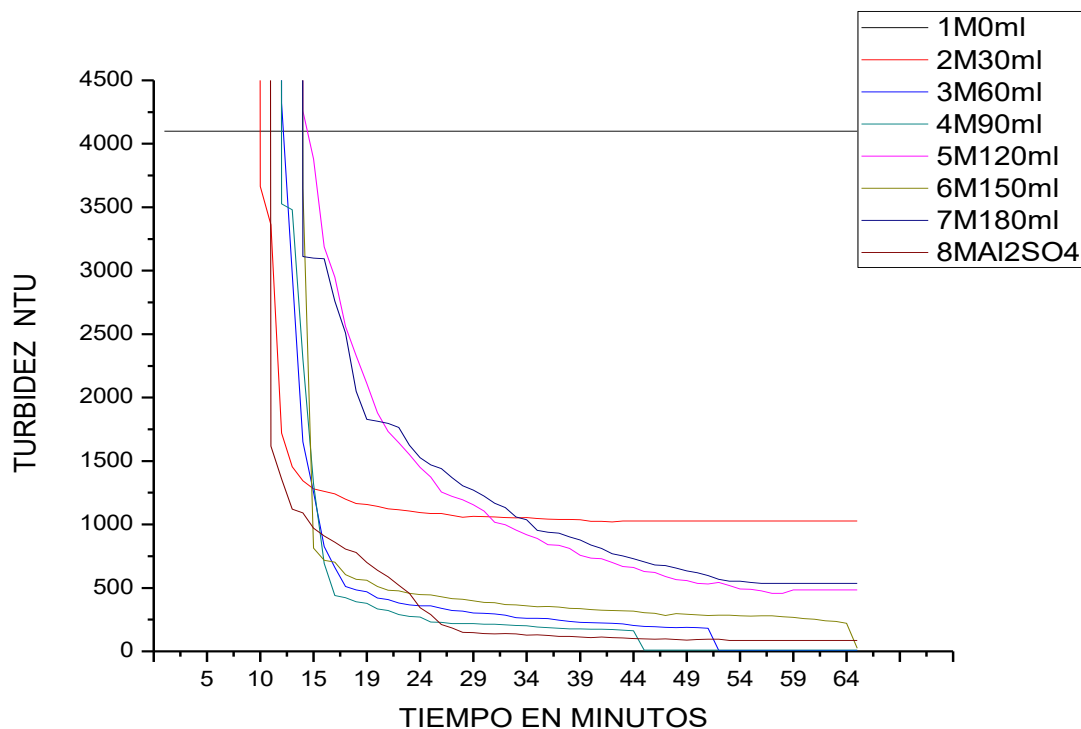


Fig. 23: Reducción de turbidez de las muestras de caolín tratadas a diferentes concentraciones con solución de *Moringa* Vs tiempo de floculación, utilizando agitación.

Para poder apreciar de mejor manera el comportamiento de cada muestra se hizo una ampliación de la Fig. 23 en la Fig. 24, encontrando que los mejores resultados y son los siguientes:

- Muestra tres (M3) con una reducción de 4,320 NTU a 181 en 39 min y a 8 NTU en 24 horas.
- Muestra cuatro (M4) con una reducción de 3,527 NTU a 163 en 32 min y a 10 NTU en 24 horas.
- Muestra ocho (M8) con una reducción de 1,618 NTU a 86 en 42 min y a 86 NTU en 24 horas.

Por lo que la mejor dosificación de solución de SMO para reducción de turbidez Vs tiempo es para la Muestra cuatro (M4), usando la floculación ortocinética.

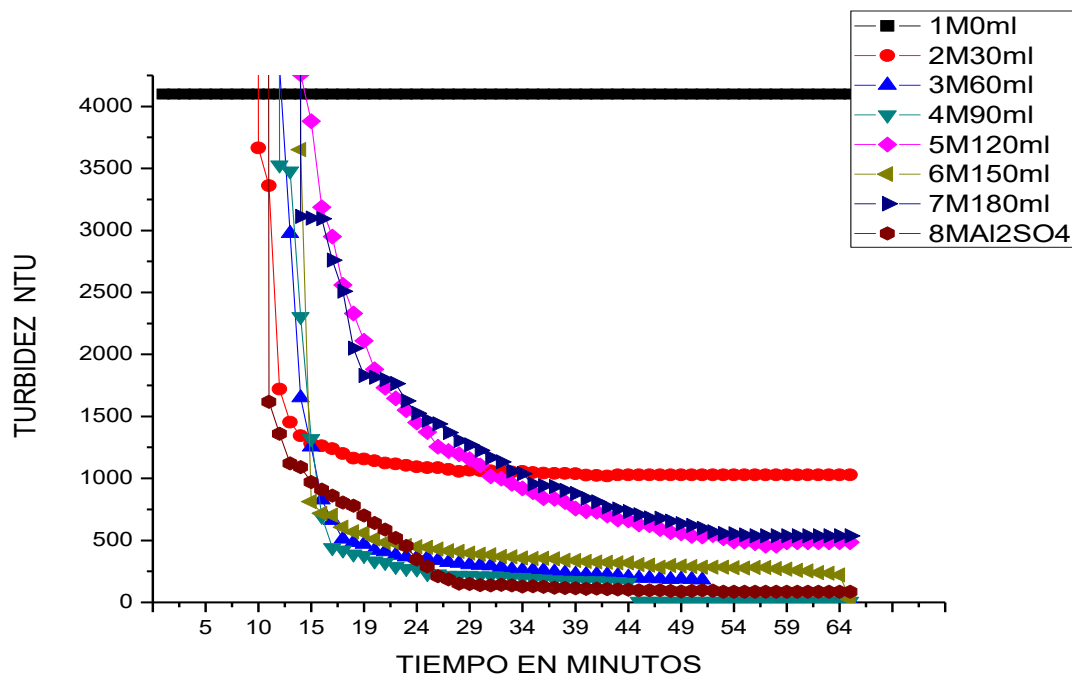


Fig. 24: Ampliación de la gráfica para determinar el mejor resultado de la reducción de turbidez Vs tiempo.

Con la información obtenida del comportamiento de las muestras observado en la Fig. 23, se encontraron las mejores dosificaciones para el clarificado de agua, con lo cual se propone el siguiente diagrama para reducir la turbidez en agua pluvial y/o estancada.

3.3.1 Propuesta de dosificación de solución de SMO (ml sol *Moringa*/ml de muestra) en aguas turbias.

En el gráfico de la Fig. 25 se indica la cantidad de Solución de SMO a dosificar para reducir una agua turbia como la que se empleó en la investigación. Considerando que la solución de SMO tiene un gran potencial para clarificar aguas pluviales con diferente turbidez o aguas estancadas y los resultados obtenidos que se indican en la tabla 9 la dosificación de 60 y 90 ml son las que disminuyeron la turbidez de las muestras a usar derivado de ello se propone el siguiente plan para dosificar.

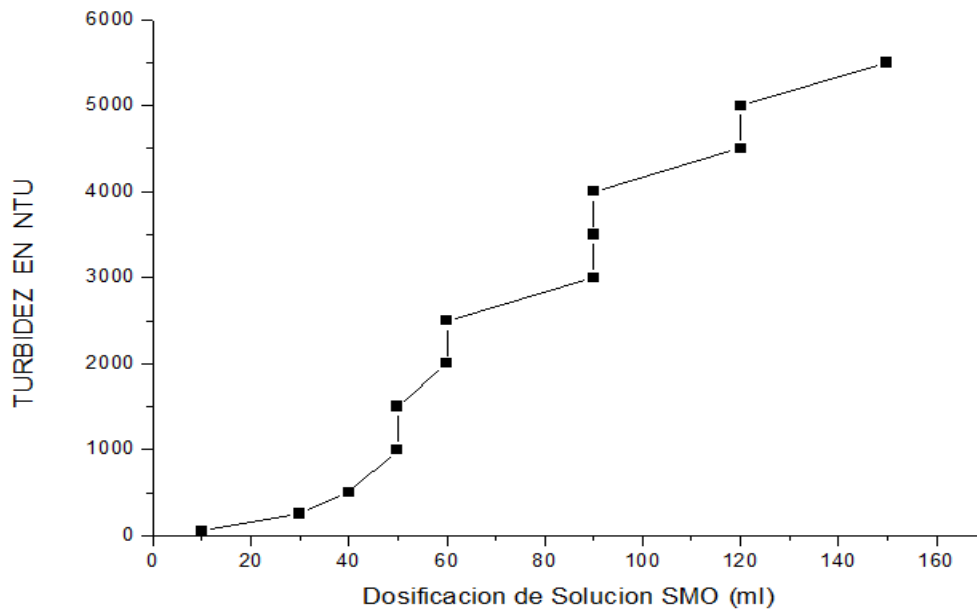


Fig. 25: Gráfico para la reducción de turbidez de muestras (aguas turbias) con la dosificación correspondiente.

Tabla 9. Relación de dosificación de solución de SMO para clarificar aguas turbias.

Turbidez de la muestra a clarificar. NTU	Dosis de la solución de SMO. ml	Volumen a reducir la turbidez del agua a (clarificar). 1000 ml
5000	120	300
4000	90	225
3000	75	187.5
2000	60	150
1000	50	125

3.4 Caracterización por FTIR

La importancia de usar esta técnica en la caracterización de la SMO, es la de demostrar la existencia de los aminoácidos polares hidrófilos presentes en la semilla de *Moringa* (*Ácido Glutámico, Ácido Aspártico, Arginina, Histidina y Lisina*) por la presencia de los grupos funcionales (+NH₃, -COOH), los cuales son los responsables de realizar la coagulación y floculación en las muestras de solución coloidal de Caolín y así clarificar con la solución SMO.

En la figura 26 se muestran los FTIR de análisis realizados y se presenta los espectros del FTIR del Caolín y el precipitado seco de la semilla de *Moringa* donde se identifican bandas de absorción: una banda entre 3200 y 3400 cm⁻¹ correspondiente a la vibración del enlace OH.

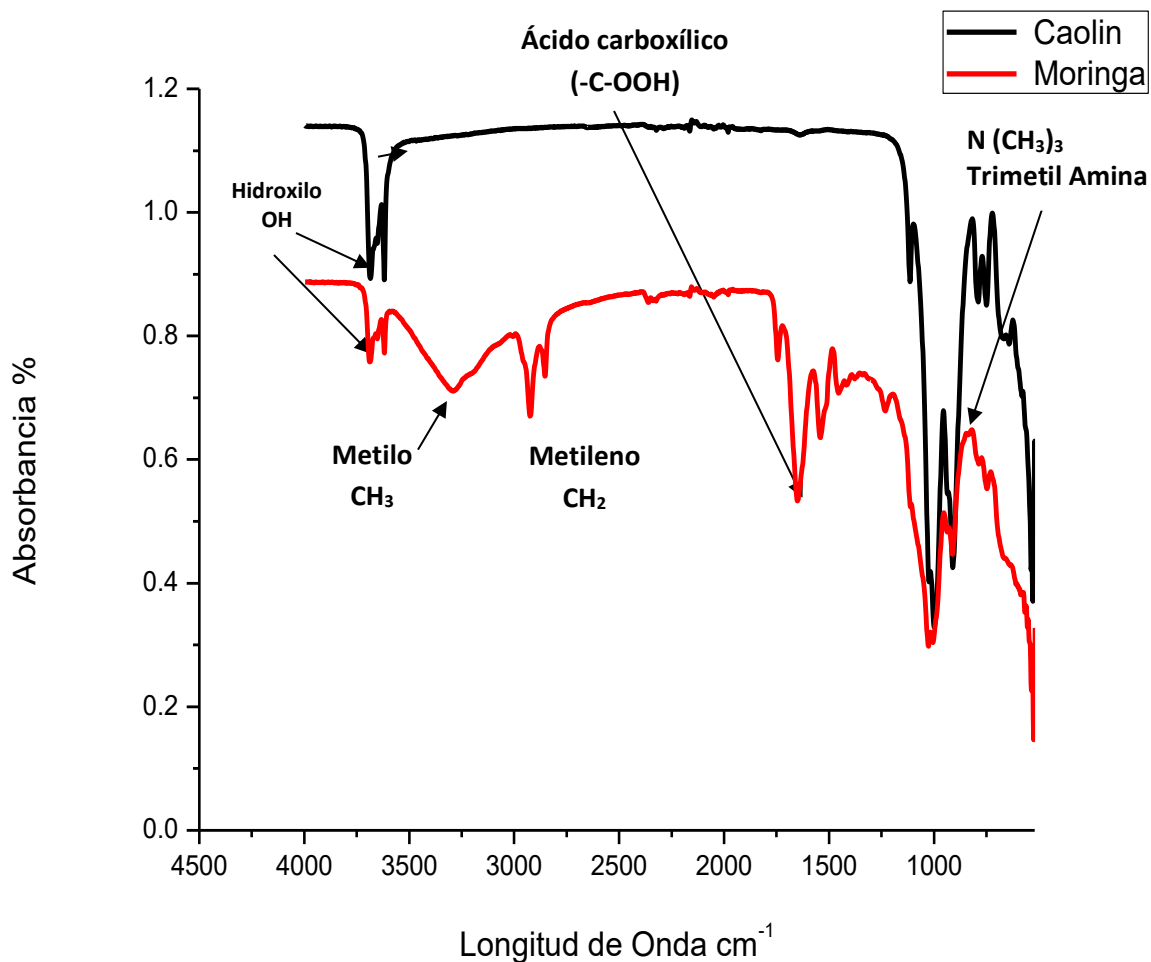


Fig. 26: Espectro de FTIR del Caolín y precipitado seco de la semilla de Moringa

A continuación se aprecian dos bandas de 2700 cm^{-1} y 2900 cm^{-1} perteneciente a la vibración CH_2 , siguiendo del 1600 cm^{-1} al 1800 cm^{-1} $-\text{COOH}$ ácido carboxilo y por ultimo 1050 cm^{-1} al 1200 cm^{-1} , correspondiente al trimetilamida $\text{N}(\text{CH}_3)_3$.

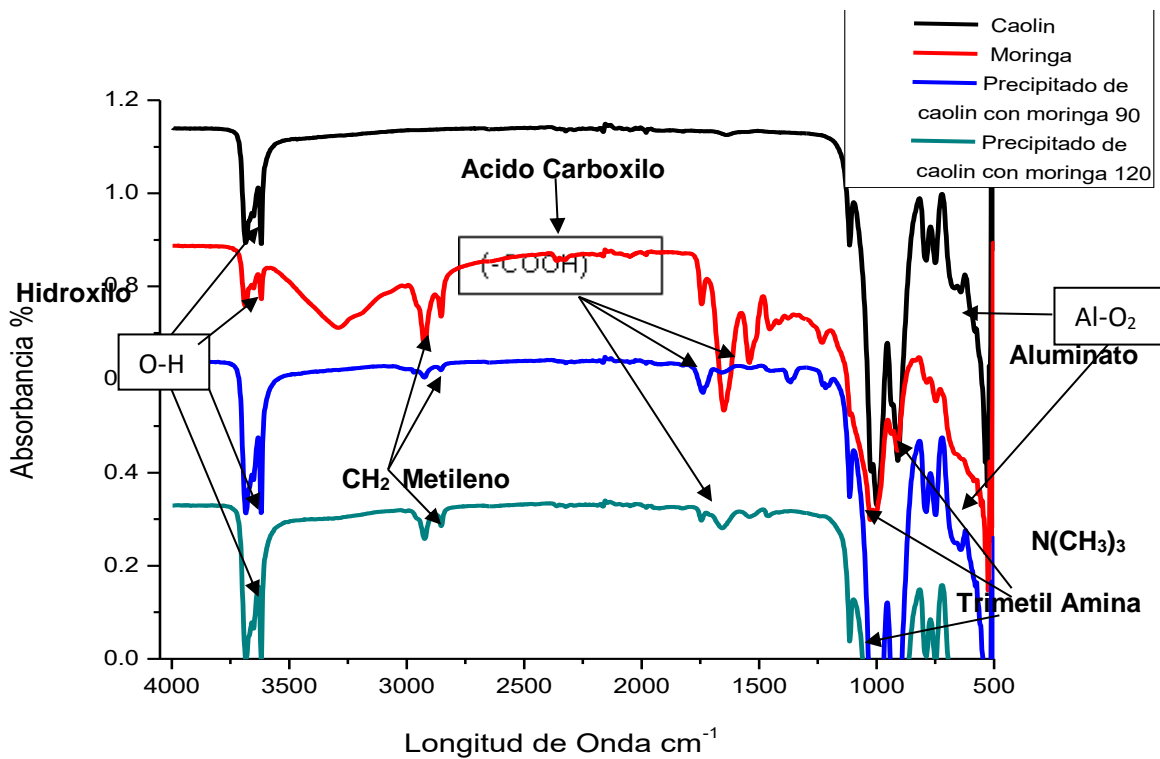


Fig. 27: Espectro de FTIR del Caolín, *moringa*, precipitado seco de Caolín 90 ml *moringa* y precipitado seco de Caolín 120 ml *moringa*

La figura 27 presenta los espectros del Caolín, *Moringa*, y precipitado seco de Caolín con 90 ml SMO, y precipitado seco de Caolín con 120 ml SMO para comprobar que en los dos últimos espectros hay presencia de grupos funcionales como lo muestra el segundo espectro de la *Moringa* encontrando una banda de absorción entre 3600 y 3700 cm⁻¹ correspondiente a la vibración del enlace OH. A continuación se aprecian dos bandas de 2700 cm⁻¹ y 2900 cm⁻¹ perteneciente a la vibración CH₂, siguiendo del 1600 cm⁻¹ al 1800 cm⁻¹ -COOH ácido carboxilo y le sigue el espectro de 1050 cm⁻¹ al 1200 cm⁻¹, correspondiente a la trimetilamida y también se observa una banda de 760 cm⁻¹ este último correspondiente al Aluminato AlO₂, por ser del caolín.

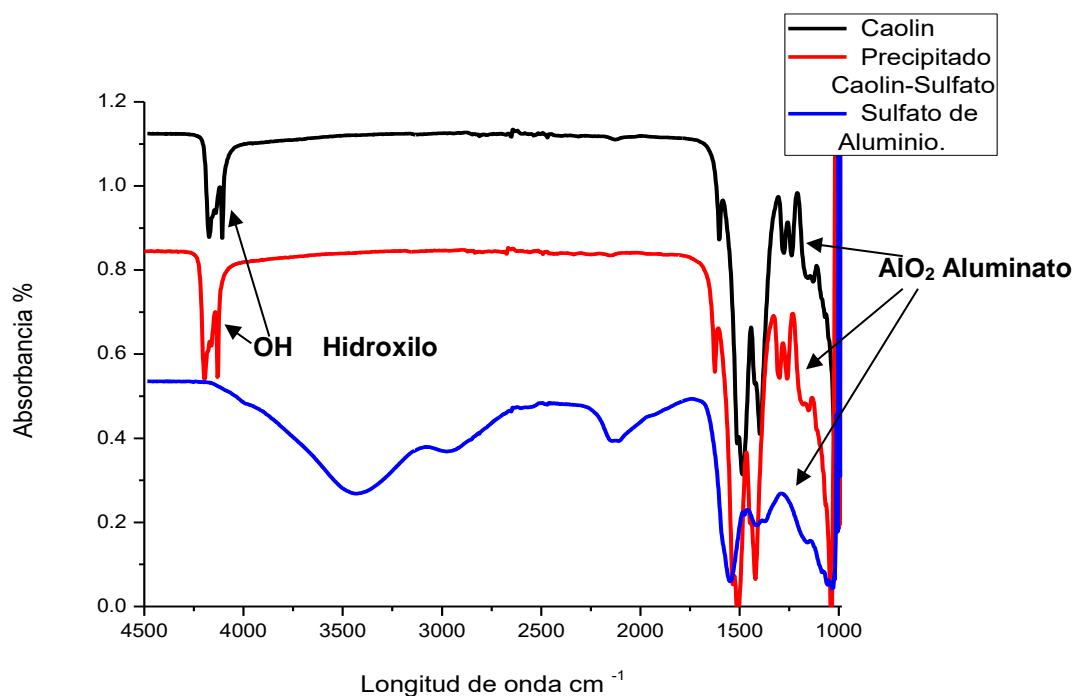


Fig. 28: Espectro de FTIR del Caolín con precipitado seco Caolín-Sulfato de Aluminio, y Sulfato de Aluminio.

La Figura 28 presenta los espectros de absorción del Caolín, del precipitado seco de Caolín con sulfato de aluminio y el espectro del sulfato de aluminio donde se identifica una banda de absorción 3600 y 3700 cm⁻¹ correspondiente a la vibración del enlace OH, (esto solo en los gráficos 1 y 2 que se presenta en la fig. 28) a continuación se observa una banda de absorción a 1100 cm⁻¹ al 1400 cm⁻¹ corresponde al Aluminato AlO₂, por ser del caolín.

Nota.- En este Gráfico por efectos del programa arroja los resultados con las longitudes de onda que se indican en la parte de arriba pero los últimos espectros corresponden al Aluminato.

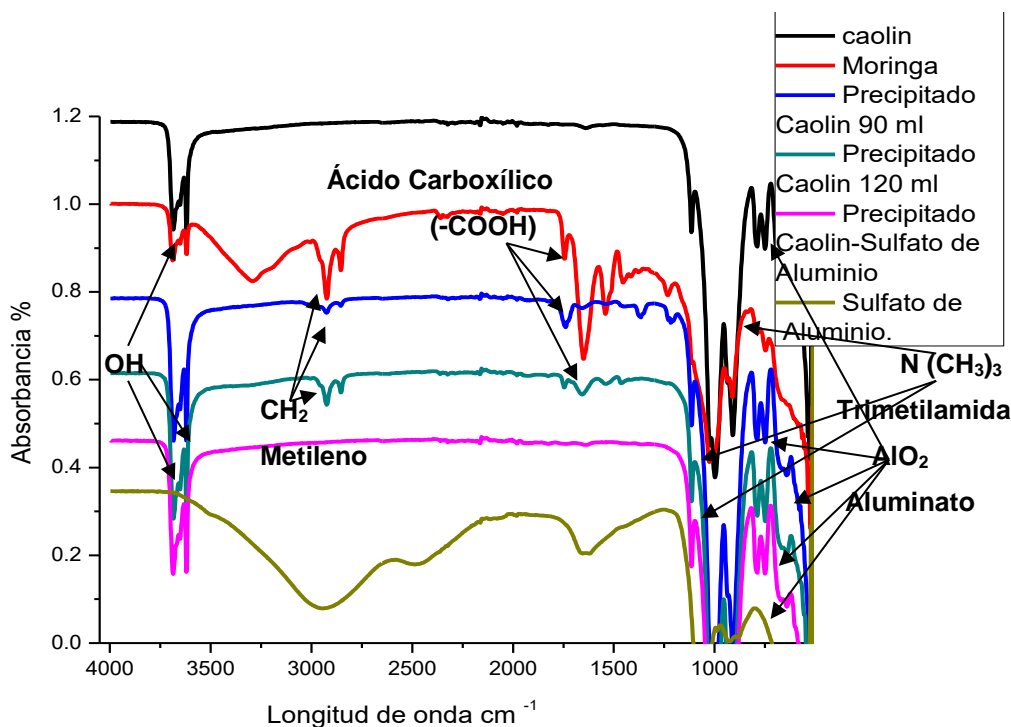


Fig. 29: Espectro de FTIR del Caolín, extracto de Semilla de *Moringa*, precipitado seco de Caolín con SMO a 90 ml y a 120 ml, precipitado seco Caolín-Sulfato de Aluminio, y Sulfato de Aluminio

La figura 29 corresponde al FTIR de todos los espectros de Caolín, extracto de Semilla de *Moringa*: precipitado seco de Caolín con SMO a 90 ml y a 120 ml. Y precipitado seco Caolín-Sulfato de Aluminio, y sulfato de Aluminio. Donde se identifica una banda de absorción 3600 y 3700 cm^{-1} correspondiente a la vibración del enlace OH, (este grupo funcional aparece en los 5 primeros espectros en la Fig.29). A continuación se aprecian en una banda de absorción a 2700 cm^{-1} y 2900 cm^{-1} perteneciente a la vibración CH_2 , (solo en el 2,3 y 4 espectro de la Fig. 29) siguiendo del 1600 cm^{-1} al 1800 cm^{-1} $-\text{COOH}$ ácido carboxilo este grupo funcional característico de los Aminoácidos aparece en espectros de *Moringa* y con solución SMO, también se observa el espectro de 1050 cm^{-1} al 1200 cm^{-1} , correspondiente a la trimetilamida grupos amidas y por ultimo también se observa 3 bandas de absorción a 760 cm^{-1} correspondiente al Aluminato AlO_2 , por ser del Caolín.

3.5 Caracterización por microscopía electrónica de barrido SEM.

En la figura siguiente, 30 A) se presenta la topología del extracto seco de la semilla de *Moringa* la cual presenta una forma de ovoide alargada, con un aumento de 1000 μm y en la figura 30 B) se puede observar la misma figura a largada con un aumento de 5000 μm lo queda como resultado que esta forma de ovoide se acerque por diferencia de cargas electrostáticas presentes por los grupos funcionales característico de los aminoácidos en la SMO con lo cual se conglomeran aumentando el tamaño del flóculo para su precipitación y sedimentación.

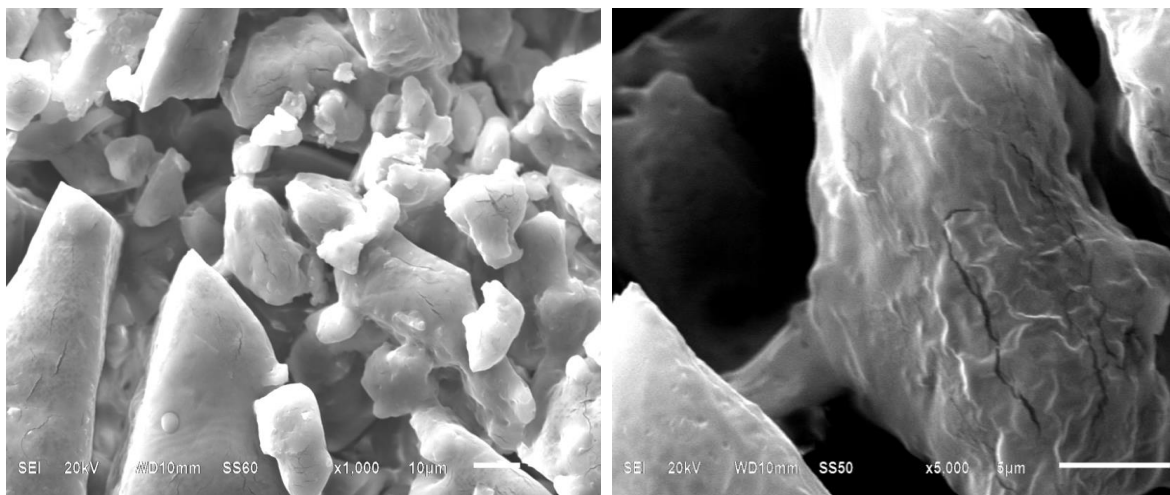


Fig. 30 A) Imágenes de Micrografías de la MEB Mostrando la topología de la semilla de Moringa con aumento de 1000 μm

Fig. 30 B) Imagen de la MEB mostrando una estructura de Ovoide de la semilla de Moringa con un aumento de 5000 μm

En la Fig. 31 corresponde al análisis químico elemental de la moringa donde se puede encontrar los elementos esenciales que forman los grupos funcionales característicos de los aminoácidos por lo tanto estos son los responsables del proceso de coagulación-floculación por parte de la moringa. En las siguientes imágenes se muestran los resultados cuantitativos de esta caracterización MEB.

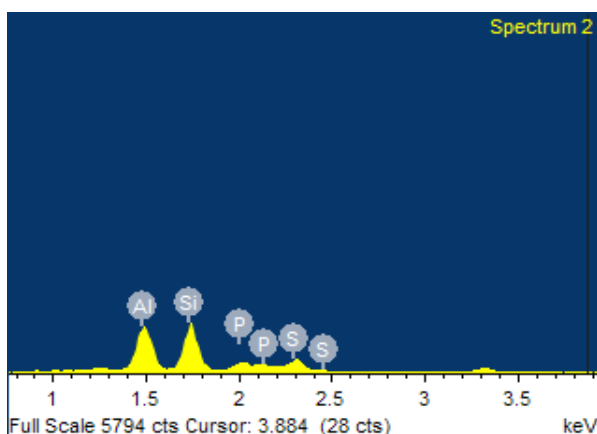


Fig. 31 A) Imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de semilla de Moringa

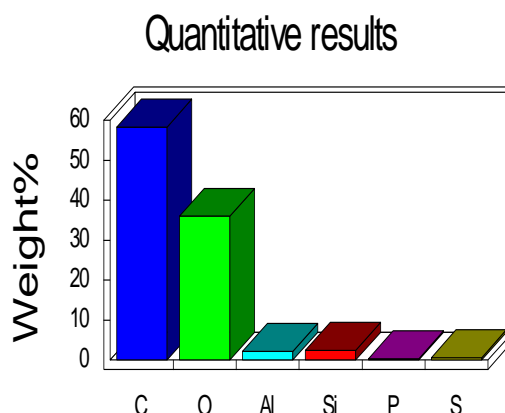


Fig. 31 B) Gráficos de AQE mostrando los elementos más representativos de la semilla de Moringa

Tabla 10. Relación del análisis químico elemental de la semilla de *Moringa*

Espectros	Estadístico	C	O	Al	Si	P	S	Total
Espectro 1	Valores	62.36	34.05	0.98	1.10	0.64	0.87	100.00
Espectro 2	Valores	58.30	36.00	2.24	2.48	0.36	0.62	100.00
Espectro 3	Valores	60.76	34.82	1.68	1.73	0.33	0.68	100.00
Promedio		60.47	34.96	1.63	1.77	0.44	0.72	100.00

En la tabla 10 se muestra el promedio del análisis químico elemental de la semilla de moringa y con estos datos se demuestra la presencia de los grupos funcionales.

En las imágenes siguientes de las Fig. 32 se aprecian cuatro figuras también de la topología pero de la estructura del Caolín (laminas) y encima de estas la estructura del extracto seco de semilla de Moringa unido a las hojuelas del Caolín lo que se presume que en la floculación fue efectiva por el aumento del flóculo y posterior su sedimentación de la partícula coloidal.

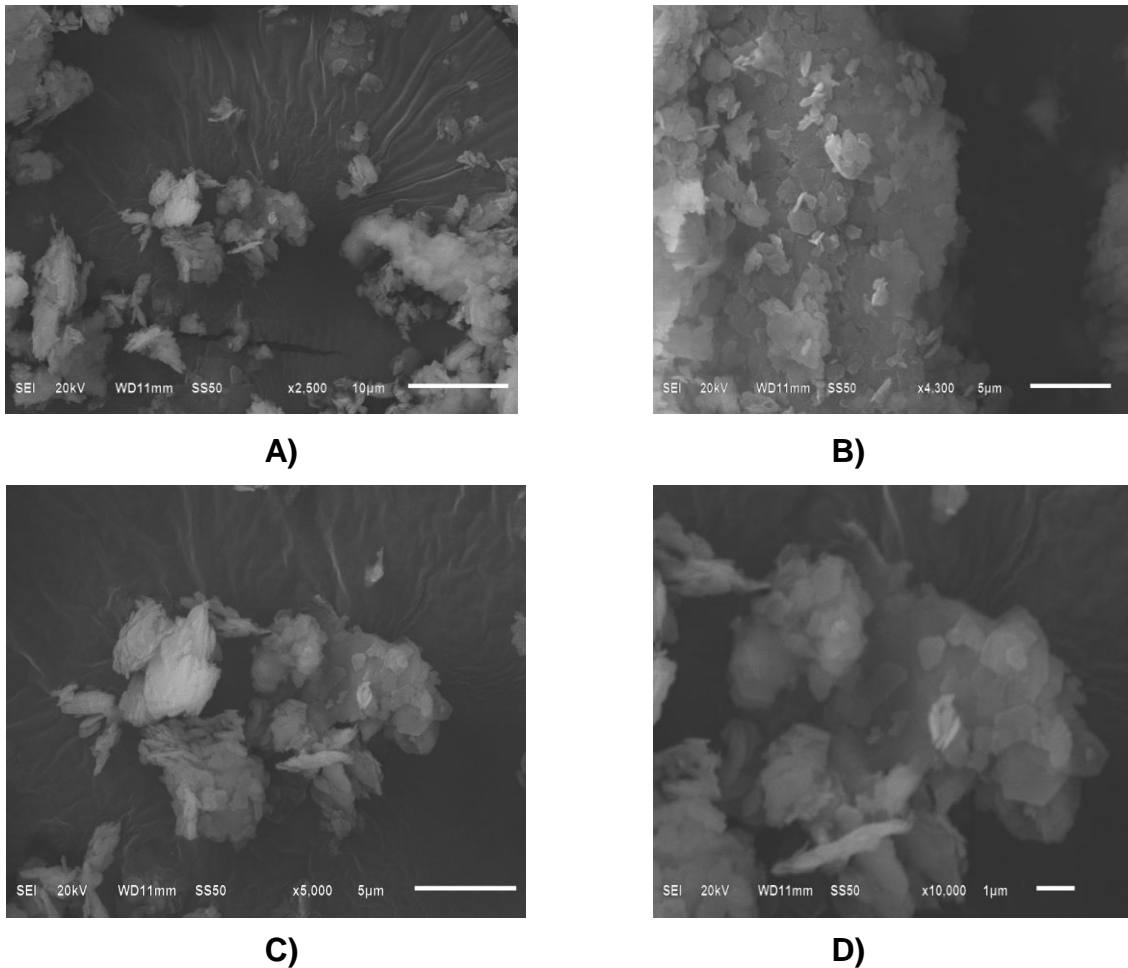


Fig. 32. Imágenes de micrografías de la MEB mostrando la topología del extractó seco de semilla de *Moringa* con el Caolín con diferentes aumentos la Fig. A) 2500 µm, B) 4300 µm, C) 5000 µm D) 10,000 µm, mostrando una estructura de Ovoide de la semilla de Moringa sobre la estructura del Caolín (Laminas).

En la Fig. 33 corresponde al análisis químico elemental de la moringa donde se puede encontrar los elementos esenciales que forman los grupos funcionales característicos de los aminoácidos y los elementos que forman al caolín por lo tanto estos aminoácidos son los responsables del proceso de coagulación-floculación por parte de la moringa. En las siguientes imágenes se muestran los resultados cuantitativos de esta caracterización MEB.

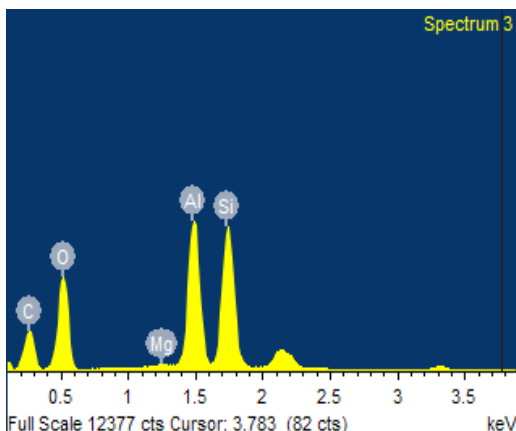


Fig. 33 A) Imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de semilla de *Moringa*, con el extracto seco de Caolín en la solución de SMO

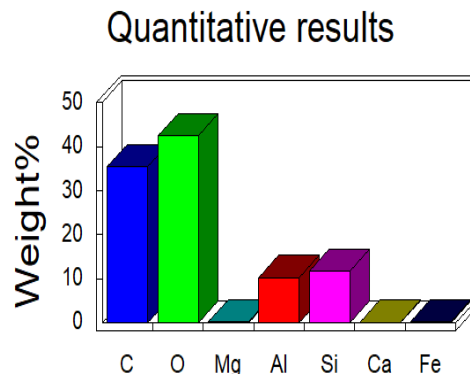


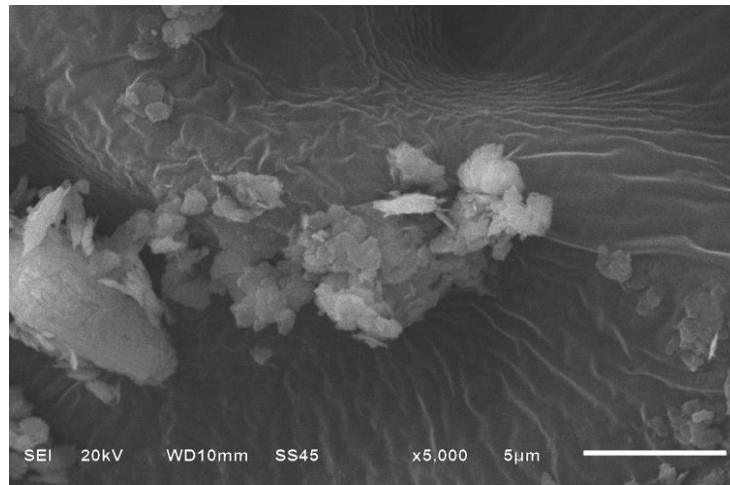
Fig. 33 B) Gráficos de AQE mostrando los elementos más representativos de la semilla de *Moringa* y Caolín

Tabla 11. Relación del análisis químico elemental de la semilla de *Moringa* con extracto seco de caolín.

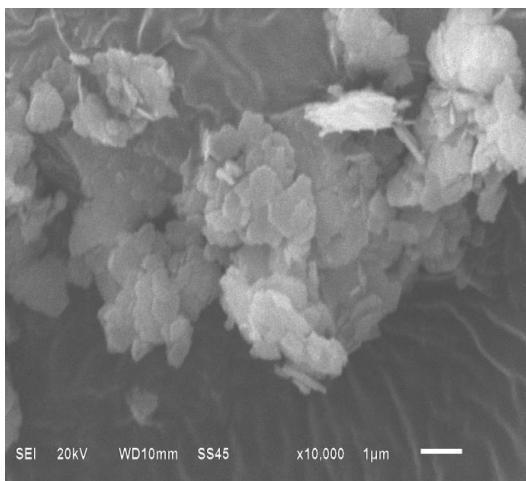
Espectro	Estadístico	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	Total
Espectro 1	Valores	32.29	44.53	0.08	10.71	12.13	0.08	0.18	100.00
Espectro 2	Valores	32.66	44.10	0.11	10.67	12.15	0.01	0.30	100.00
Espectros3	Valores	35.45	42.38	0.16	10.20	11.63	0.04	0.13	100.00
Promedio		33.47	43.67	0.12	10.53	11.97	0.04	0.21	100.00

En la tabla 11 se muestra el promedio del análisis químico elemental de la semilla de *Moringa* y el extracto seco con el caolín con estos datos se demuestra la presencia de los grupos funcionales de la moringa y los elementos que conforman al Caolín.

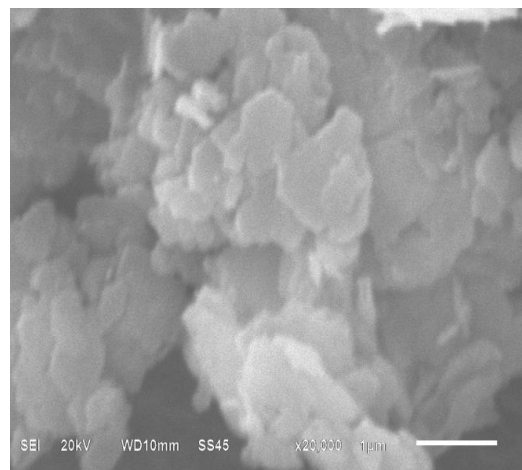
En las imágenes de las Fig. 34 se aprecian tres figuras las cuales corresponden a la estructura del Caolín (laminas) y encima de estas la estructura del extracto seco de Sulfato de Aluminio unido a la hojuela del Caolín lo cual genera la floculación siendo esta la responsable por el aumento del flóculo y posteriormente su sedimentación del coloide.



A)



B)



C)

Fig. 34: Imágenes de micrografías de la MEB mostrando la topología del extractó seco de Caolín con el Sulfato de Aluminio con diferentes aumentos en las Fig. A) 5000 µm, B) 10,000 µm, C) 20,000 µm.

En la Fig. 35 corresponde al análisis químico elemental del caolín donde se puede encontrar los elementos esenciales que lo forman, así como el análisis del químico del sulfato de aluminio el cual es responsable del proceso de coagulación-floculación. En las siguientes imágenes se muestran los resultados cuantitativos de esta caracterización MEB.

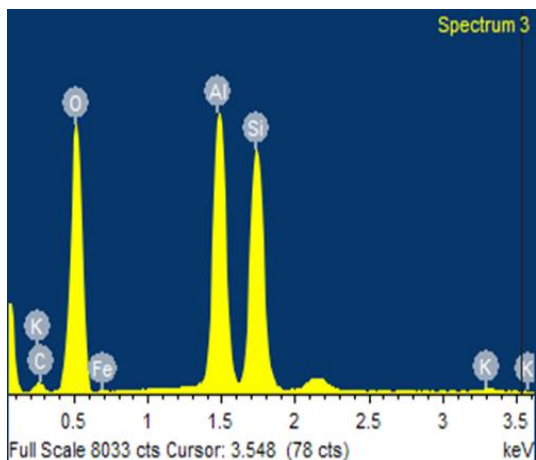


Fig. 35 A) imágenes del AQE mostrando los resultados cuantitativos de Sulfato de Aluminio, con extracto seco de caolín.

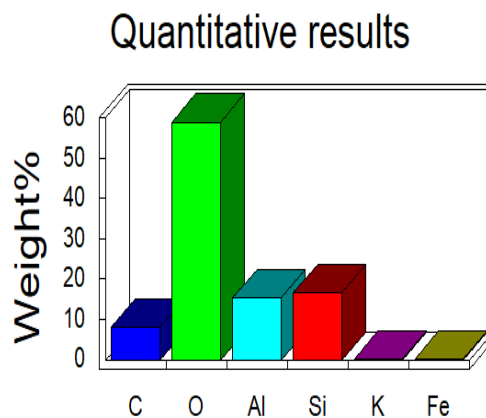


Fig. 35 B) Gráficos del AQE mostrando los elementos más representativos del Sulfato de Aluminio Y Caolín

Tabla 12. Relación del análisis químico elemental del Caolín y del Sulfato de Aluminio.

Espectros	Estadístico	C	O	Al	Si	K	Fe	Total
Espectro1	Valores	6.73	59.36	15.69	17.30	0.43	0.49	100.00
Espectro2	Valores	8.34	59.69	15.05	16.37	0.27	0.28	100.00
Espectro3	Valores	8.30	58.95	15.45	16.75	0.24	0.32	100.00
	Promedio	7.79	59.33	15.39	16.80	0.31	0.36	100.00

En la tabla 12 se muestra el promedio del análisis químico elemental del extracto seco con el caolín y el Sulfato de Aluminio, por lo que se demuestra con estos datos la presencia de los elementos que conforman al Caolín y sulfato respectivamente.

3.6 Evaluación de la actividad antimicrobiana de *Escherichia Coli* y *Estafilococos Aurus* con solución de SMO.

Los siguientes datos fueron obtenidos de las muestras de Agar y corresponden a los antibiogramas de las cepas de *E. Coli*. Considerando la información que se encontró de la Semilla de *Moringa* se colocan 5 antibiogramas como se muestra figura 36 aplicando la técnica Kirby-Bauer (Bauer et al., 1966) y se obtienen los resultados que muestra la tabla 13 se indican las medidas de los halos de inhibición (Diámetros) se comprueba la actividad antimicrobiana.

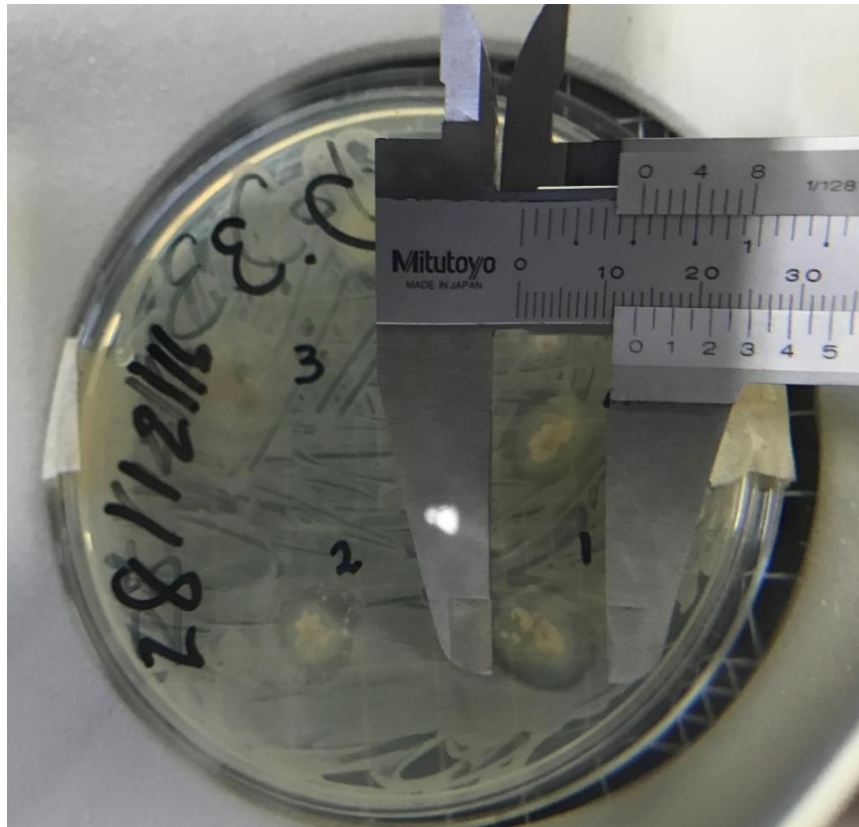


Fig. 36: Medición del antibiograma No. 1 el que muestra un diámetro mayor del halo de Inhibición del microorganismo *E. Coli*

Tabla 13: Medición de diámetros de Halo sin inhibición en mm de antibiogramas en Cepas *E. Coli*.

No de Antibiograma	Diámetro de Halo en mm.	Promedio mm
1	13, 13, 13	13
2	11, 13, 11	11.6
3	14, 14, 15	14.6
4	7, 10, 8	8.3
5	7, 11, 10.5	9.5
Total		11.4

Con estos resultados se encontró una cierta sensibilidad microbiana en contra de *E. Coli*.

3.7 Evaluación de la actividad antimicrobiana de *Estafilococos Aurus* con solución de SMO.

Los siguientes datos fueron obtenidos de las muestras de Agar y corresponden a los antibiogramas de las cepas de *Estafilococos Aurus*. Fueron 3 antibiogramas en la tabla 14 se indican las medidas de los halos de inhibición (Diámetros) se comprueba la actividad antimicrobiana.

Con estos resultados se encontró una cierta sensibilidad microbiana en contra del *Estafilococo Aurus*. Lo cual hace a la solución de SMO una excelente opción natural para el tratamiento de aguas por su capacidad coagulante-floculante y con capacidad antimicrobiana.

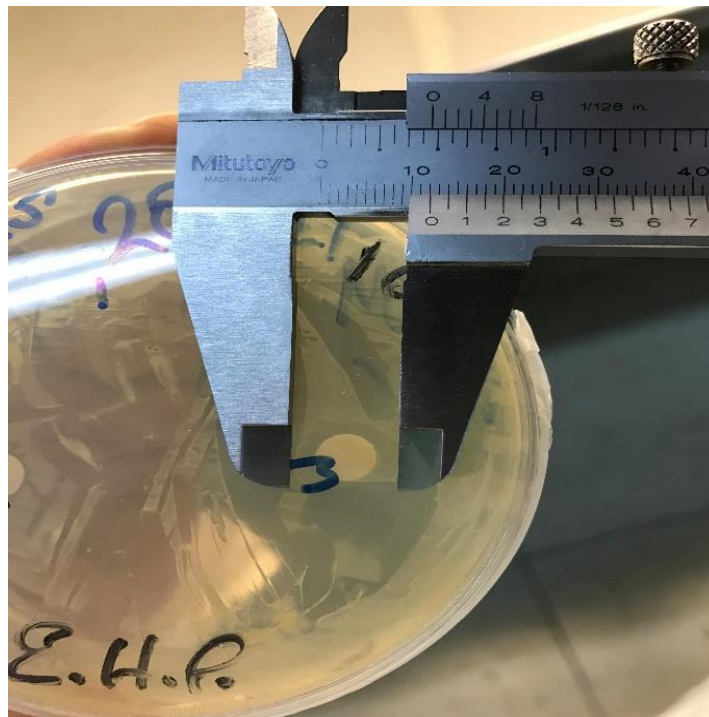


Fig. 37: Medición del antibiograma No. 3 el que mostro un diámetro mayor del Halo de Inhibición del microorganismo *Estafilococo Aurus*.

Tabla 14: Medición de Halos en mm de antibiogramas en cepas *Estafilococo Aurus*.

No de Antibiograma	Diámetro de Halo en mm.	Promedio mm
1	12, 11, 12	11.6
2	11, 13, 11	11.6
3	12, 12, 12	12
Total		11.7

Con estos resultados se encontró una cierta sensibilidad microbiana en contra del *Estafilococo Aurus*.

Conclusiones y recomendaciones.

- En el proceso de coagulación-floculación usando la SMO demostró su actividad coagulante en muestras turbias y se clarificaron por debajo de los requerimientos de NOM.
- Con los resultados de la investigación es posible usar coagulantes de SMO para la reducción de la turbidez en aguas para el tratamiento de estas considerando el contenido de partículas coloidales.
- Los resultados del FTIR nos indican la presencia de grupos funcionales (+NH₃, -COOH) generados por la ionización del agua con los aminoácidos presentes en la semilla de *Moringa* siendo estos los responsables de lograr el aumento del flóculo por que estos se depositan por diferencias de cargas en la estructura del Caolín que ofrece una parte positiva y negativa logrando la sedimentación de los coloides.
- Las mejores dosificaciones de SMO para la reducción de Turbidez Vs Tiempo fue utilizando volúmenes de 60 y 90 ml en 400 ml de solución coloidal de caolín lo que equivale a un consumo específico de 0.15 y 0.225 ml respectivamente de SMO por ml de muestra coloidal lo que da por resultado dos opciones para reducción de turbidez en aguas pluviales almacenadas.
- Se propone la opción de un gráfico indicando la cantidad de Solución de SMO a dosificar para reducir una agua turbia como la que se empleó en nuestra investigación.
- Para poder dosificar la solución de SMO es recomendable realizar una medición de turbidez al agua a Clarificar y considerar el volumen de está usando el grafico propuesto.

- Aplicando la Floculación Ortocinética (agitación). Con esto se comprueba su capacidad floculante ante el Sulfato de Aluminio y lo pone en desventaja por que la prueba fue de reducción de turbidez VS tiempo y la solución de SMO tuvo un mejor desempeño para poder reducir la turbidez en aguas coloidales.
- La solución de SMO se hace potencialmente un coagulante-floculante natural para el tratamiento de agua en el proceso fisicoquímico.
- Considerando que la solución de SMO tiene un gran potencial para clarificar aguas pluviales con diferente turbidez.
- El precipitado es de origen orgánico no implica mayor contaminación dando opción para usarse como sustrato en el campo y ofrece una mejor decantación sin movimiento aleatorio.
- El precipitado que se obtiene con el Sulfato de Aluminio implica un lodo fisicoquímico que requiere de más procesos para su secado y reutilización de este.
- Las pruebas de actividad antimicrobiana género halos de inhibición en antibiogramas de cepas de *E. Coli* con diámetros de 11.4 mm y para el *Estafilococo Aurus*, con diámetros de 11.7 mm respectivamente con lo que se determina una actividad microbiana sensible.

ANEXOS

Tabla de electronegatividades de elementos químicos

Elemento Químico	Símbolo	E.N.	Elemento Químico	Símbolo	E.N.	Elemento Químico	Símbolo	E.N.
Actinio	Ac	1.1	Fósforo	P	2.1	Plata	Ag	1.9
Aluminio	Al	1.5	Francio	Fr	0.7	Platino	Pt	2.2
Americio	Am	1.3	Gadolinio	Gd	1.1	Plomo	Pb	1.9
Antimonio	Sb	1.9	Galio	Ga	1.6	Plutonio	Pu	1.3
Arsénico	As	2.0	Germanio	Ge	1.8	Polonio	Po	2.0
Astato	At	2.2	Hafnio	Hf	1.3	Potasio	K	0.8
Azufre	S	2.5	Hidrogeno	H	2.1	Praseodimio	Pr	1.1
Bario	Ba	0.9	Hierro	Fe	1.8	Prometio	Pm	1.1
Berilio	Be	1.5	Holmio	Ho	1.1	Protacinio	Pa	1.3
Berkelio	Bk	1.3	Indio	In	1.7	Radio	Ra	0.9
Bismuto	Bi	1.9	Iodo	I	2.5	Renio	Re	1.9
Boro	Be	2.0	Iridio	Ir	2.2	Rodio	Rh	2.2
Bromo	Br	2.8	Iterbio	Yb	1.0	Rubidio	Rb	0.8
Cadmio	Cd	1.7	Itrio	Y	1.2	Rutenio	Ru	2.2
Calcio	Ca	1.0	Lantano	La	1.1	Samario	Sm	1.1
Californio	Cf	1.3	Lawrencio	Lr	1.5	Selenio	Se	2.4
Carbono	C	2.5	Litio	Li	1.0	Silicio	Si	1.8
Cerio	Ce	1.1	Lutecio	Lu	1.2	Sodio	Na	0.9
Cesio	Cs	0.7	Magnesio	Mg	1.2	Talio	Tl	1.8
Cloro	Cl	3.0	Manganeso	Mn	1.5	Tantalio	Ta	1.5
Cobalto	Co	1.9	Mendelevio	Md	1.3	Tecneio	Tc	1.9
Cobre	Cu	1.9	Mercurio	Hg	1.9	Telurio	Te	2.1
Cromo	Cr	1.6	Molibdeno	Mo	1.8	Terbio	Tb	1.1
Curio	Cm	1.3	Neodimio	Nd	1.1	Titanio	Ti	1.5
Disprosio	Dy	1.1	Neptunio	Np	1.3	Torio	Th	1.2
Einsteinio	Es	1.3	Niobio	Nb	1.6	Tulio	Tm	1.1
Erbio	Er	1.1	Niquel	Ni	1.9	Uranio	U	1.5
Escandio	Sc	1.3	Nitrógeno	N	3.0	Vanadio	V	1.6
Estaño	Sn	1.8	Nobelio	No	1.3	Wolfremio	W	1.7
Estroncio	Sr	1	Oro	Au	2.4	Zinc	Zn	1.6
Europio	Eu	1.1	Osmio	Os	2.2	Zirconio	Zr	1.4
Fermio	Fm	1.3	Oxígeno	O	3.5			
Fluor	F	4.0	Paladio	Pd	2.2			

Referencias Bibliográficas

- [1] Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). "Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097-2167.
- [2] Aboites Aguilar, L. (2009). La decadencia del agua de la nación. Estudio sobre la desigualdad social y cambio político en México, segunda mitad del siglo XX, El Colegio de México, México, 145 p., ISBN 978-607-462-016-0.
- [3] Abraham, J. P., Plourde, B. D., & Minkowycz, W. J. (2015). "Continuous flow solar thermal pasteurization of drinking water: Methods, devices, microbiology, and analysis". *Renewable Energy*, 81, 795-803
- [4] Aguilar, M. I. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. EDITUM.
- [5] Ahmed, W., Huygens, F., Goonetilleke, A., & Gardner, T. (2008). "Real-time PCR detection of pathogenic microorganisms in roof-harvested rainwater in Southeast Queensland, Australia". *Applied and environmental microbiology*, 74(17), 5490-5496.
- [6] Ahmed, W., Goonetilleke, A., & Gardner, T. (2010). "Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in Southeast Queensland, Australia". *Canadian journal of microbiology*, 56(6), 471-479.
- [7] Ahmed, W., Gardner, T., & Toze, S. (2011). "Microbiological quality of roof-harvested rainwater and health risks: a review". *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 13-21.
- [8] Ahmed, W., Hodgers, L., Sidhu, J. P. S., & Toze, S. (2012). "Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia". *Applied and environmental microbiology*, 78(1), 219-226.
- [9] Ahmed, W., Sritharan, T., Palmer, A., Sidhu, J. P. S., & Toze, S. (2013). "Evaluation of bovine feces-associated microbial source tracking markers and their correlations with fecal indicators and zoonotic pathogens in a Brisbane, Australia, reservoir". *Applied and environmental microbiology*, 79(8), 2682-2691.
- [10] Alonso, A. P. D. (2014). "Derecho humano al agua y principio de unidad de gestión". *Revista de Direitos e Garantias Fundamentais*, 14(2), 339-352.

- [11] Amorós, I., Alonso, J. L., & Cuesta, G. (2010). "Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts on salad products irrigated with contaminated water". *Journal of food protection*, 73(6), 1138-1140.
- Andía, C., & Alcantarillado, S. D. A. P. (2000). Tratamiento de agua: coagulación-floculación. In Tratamiento de agua: coagulación-floculación. SEDAPAL.
- [12] Anaya, Garduño. M. (1998). "Manual Técnico, Sistemas de Captación de Agua de Lluvia Para Uso Doméstico en América Latina y el Caribe". *Agencia de Cooperación Técnica IICAMEXICO*.
- [13] Anaya Garduño, M. (1998). "Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe; manual técnico (No. IICA A536). IICA", México, DF (México). Agencia de Cooperación Técnica.
- [14] Azharia-Jahn, A. (1989). "Proper use of African natural coagulants for rural water supplies. Research in Sudan and a guide for new projects". *Schriftenreihe der GTZ (Germany)*.
- [15] Barrenechea Martel, A., Maldonado Yactayo, V., & Aurazo de Zumaeta, M. (2004). *Coagulación. In Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I (pp. 152-224). CEPIS*.
- [16] Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turc M. (1966) Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. *Am. J. Clin Pathol.* 45:493.
- [17] Beltrán-Heredia, J., & Sánchez-Martín, J. (2009). "Improvement of water treatment pilot plant with Moringa Oleifera extract as flocculant agent". *Environmental Technology*, 30(6), 525-534.
- [18] Berwanger, H., & Ghisi, E. (2014). "Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in the city of Itapiranga, Brazil". *International Journal of Sustainable Human Development*, 2(3), 104-114.
- [19] Bina, B. (1991). Investigations into the use of natural plant coagulants in the removal of bacteria and bacteriophage from turbid waters (Doctoral dissertation, University of Newcastle upon Tyne).
- [20] Birkner, F. B., & Morgan, J. J. (1968). "Polymer flocculation kinetics of dilute colloidal suspensions". *Journal (American Water Works Association)*, 60(2), 175-191.
- [21] Broin, M., Santaella, C., Cuine, S., Kokou, K., Peltier, G., & Joet, T. (2002). "Flocculent activity of a recombinant protein from Moringa Oleifera Lam. Seeds". *Applied microbiology and biotechnology*, 60(1), 114-119.

- [22] Burton, F. L., CAJIGAS, R., George, T. F., MONTSORIU, I. T., & JUAN, D. D. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Metcalf & Eddy.
- [23] Brush, C. F., Walter, M. F., Anguish, L. J., & Ghiorse, W. C. (1998). "Influence of pretreatment and experimental conditions on electrophoretic mobility and hydrophobicity of *Cryptosporidium parvum* oocysts". *Applied and Environmental Microbiology*, 64(11), 4439-4445.
- [24] Bulusu K. R., Thergaonker V. P., Kulkarni D. N. and Pathak B. N. (1968) "Natural polyelectrolytes as coagulant aid". *Environmental Health* 10, 239-264.
- [25] Campañas CONAGUA (2010); "Cultura del agua: Valor económico, 2007, 2008: uso eficiente del agua", "Cambio climático, 2016: Yo cuido el agua". Recuperado el 30 Julio de 2016 de <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/historia-de-la-comision-nacional-del-agua-conagua>.
- [26] Castro, F. J. F., & Silva, F. J. A. (2004). "Moringa oleífera na Melhoria da Qualidade de Efluentes de UASB e de Lagoa de Maturação-Remoção de Cor e Turbidez". *XI SILUBESA-Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- [27] Castagna, A. I., Raposo, I. M., & Woelflin, M. L. (2010). "Evolución de los asentamientos irregulares en Rosario. Análisis de una problemática compleja de revertir en el ámbito local". *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 14.
- [28] Chaidez, C., Soto, M., Gortares, P., & Mena, K. (2005). "Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in irrigation water and its impact on the fresh produce industry". *International Journal of Environmental Health Research*, 15(5), 339-345.
- [29] Crapper, D. R., Krishnan, S. S., & Dalton, A. J. (1973). "Brain aluminum distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration". *Science*, 180(4085), 511-513.
- [30] CICC, 2010: Cumbre Cambio Climático, Cancún, Q. Roo., México; Febrero, 2010.
- [31] Corbitt, R. A. (2003). *Manual de referencia de la ingeniería ambiental* (No. 628 C6Y.). McGraw-Hill.
- [32] Cook, S., Sharma, A., & Chong, M. (2013). "Performance analysis of a communal residential rainwater system for potable supply: a case study in Brisbane, Australia". *Water resources management*, 27(14), 4865-4876.

- [33] Cook, S., Sharma, A. K., & Gurung, T. R. (2014). "Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia". *Resources, Conservation and Recycling*, 89, 86-93.
- [34] CONAGUA: "La Comisión Nacional del Agua (Conagua) de México es un organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, creado en 1989, cuya responsabilidad es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales." Recuperado el 13 octubre de 2016 de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=1>
- [35] Corcoran, E. (Ed.). (2010). Sick water?: the central role of wastewater management in sustainable development: a rapid response assessment. UNEP/Earthprint.
- [36] Cruz, M. Y. Y. P., Martínez, P. C. C., & Quintanilla, J. C. P. (2015). "La Gestión Ambiental del Cambio Climático". *CULCyT*, (51).
- [37] Cruickshank, G. G. (1999). "Recuperación hidroecológica del ex-Lago de Texcoco; Conservación y restauración de suelos". *Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA)*. UNAM, México, 473-488.
- [38] De los Ángeles G. & S. Ramírez, E.(2006). "Mejorar la calidad del agua a través de su purificación utilizando la planta Moringa Oleífera". *Revista científica juvenil*, 5, 59-64.
- [39] Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E., & Forster, C. F. (1999). "A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela". *Process Biochemistry*, 35(3), 391-395.
- [40] Dorner, S. M., Anderson, W. B., Gaulin, T., Candon, H. L., Slawson, R. M., Payment, P., & Huck, P. M. (2007). "Pathogen and indicator variability in a heavily impacted watershed". *Journal of water and health*, 5(2), 241-257.
- [41] Dobrowsky, P. H., Carstens, M., De Villiers, J., Cloete, T. E., & Khan, W. (2015). Efficiency of a closed-coupled solar pasteurization system in treating roof harvested rainwater. *Science of the Total Environment*, 536, 206-214.
- [42] Drozd, C., & Schwartzbrod, J. (1996). "Hydrophobic and electrostatic cell surface properties of *Cryptosporidium parvum*". *Applied and Environmental Microbiology*, 62(4), 1227-1232.
- [43] Fahey, J. W. (2005). "Moringa Oleífera: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1". *Trees for life Journal*, 1(5), 1-15.

- [44] Franco, A. I. D., & Gonzalez, A. J. C. (2010). "Mejorar la Calidad del agua a traves de su purificación utilizando la planta Moringa Oleifera". *Creando*, 5, 59-64.
- [45] Franco, M., & Paterniani, J. E. (2012). "Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from Moringa Oleifera seeds". *Engenharia Agrícola*, 32(5), 989-997.
- [46] Folkard, G. K., Sutherland, J. P., & Grant, W. P. (1989). "Optimisation of the use of natural coagulants for water purification". *University of Leicester. Golden Software Inc.(1988) Grapher*.
- [47] Folkard, G., & Sutherland, J. (1998). "Moringa Oleifera un árbol con enormes potencialidades". *Agroforesteria en las Américas*, 5(19).
- [48] Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001). "Potentiel de Moringa Oleifera en agriculture et dans l'industrie". *Potentiel de développement des produits de Moringa. Dar es-Salaam, Tanzanie, du 29 octobre au 2 Novembre 2001*.
- [49] Gallão, M. I., Damasceno, L. F., & de Brito, E. S. (2008). "Avaliação química e estrutural da semente de Moringa". *Revista Ciência Agrônômica*, 37(1), 106-109.
- [50] Garcia, F. B. (2007). Metodología de extracción in situ de coagulantes Naturales para la clarificación de aguas superficiales. Aplicación en países en vía de desarrollo (Doctoral dissertation, Tesis de grado).
- [51] Ghebremichael, K. A., Gunaratna, K. R., Henriksson, H., Brumer, H., & Dalhammar, G. (2005). "A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa Oleifera seed". *Water research*, 39(11), 2338-2344.
- [52] Ghebremichael, K. A., & Hultman, B. (2004). "Alum sludge dewatering using Moringa Oleifera as a conditioner". *Water, air, and soil pollution*, 158(1), 153-167.
- [53] Grabow, W., Slabbert, J. L., Morgan, W. S. G., & Jahn, S. (1985). "Toxicity and mutagenicity evaluation of water coagulated with Moringa Oleifera seed preparations using fish, protozoan, bacterial, coliphage, enzyme and Ames Salmonella assays". *Water S. A.*, 11(1), 9-14.
- [54] Gomella, C., & Guerrée, H. (1977). Tratamiento de aguas para abastecimiento público. Reverte.
- [55] Gurung, T. R., & Sharma, A. (2014). "Communal rainwater tank systems design and economies of scale". *Journal of Cleaner Production*, 67, 26-36.

- [56] Hannah, S. A., Cohen, J. M., & Robeck, G. G. (1967). "Measurement of floc strength by particle counting". *Journal (American Water Works Association)*, 59(7), 843-858.
- [57] Imteaz, M. A., Adeboye, O. B., Rayburg, S., & Shanableh, A. (2012). "Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model". *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 51-55.
- [58] Imteaz, M. A., Paudel, U., Ahsan, A., & Santos, C. (2015). "Climatic and spatial variability of potential rainwater savings for a large coastal city". *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 143-147.
- [59] Imteaz, M. A., Ahsan, A., & Shanableh, A. (2013). "Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city". *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 37-43.
- [60] Imteaz, M. A., Matos, C., & Shanableh, A. (2014). "Impacts of climatic variability on rainwater tank outcomes for an inland city, Canberra". *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 4(3), 177-191.
- [61] Izazola, H. (2001). Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. Estudios demográficos y urbanos, 285-320.
- [62] Jahn, S. A. A. (1986). "Proper use of African natural coagulants for rural water supplies; research in the Sudan and a guide for new projects". *In Proper use of African natural coagulants for rural water supplies; research in the Sudan and a guide for new projects*. GTZ.
- [63] Jahn, S. A. A. (1988). "Using Moringa Seeds as Coagulants in Developing Countries (PDF)". *Journal-American Water Works Association*, 80(6), 43-50.
- [64] Jiménez, B. E. (2001). "La contaminación ambiental en México". Editorial Limusa.
- [65] Jung, K., Lee, T., Choi, B. G., & Hong, S. (2015). "Rainwater Harvesting System for Continuous Water Supply to the Regions with High Seasonal Rainfall Variations". *Water resources management*, 29(3), 961-972.
- [66] Kaser F., Werner C., and Nahayo O. (1990). "Rural water treatment using Moringa Ole /bra seeds as coagulant". *Natural Resources Development*. Vol. 33, pp. 33-47. Institute for Scientific Co operation Tubingen, Germany.
- [67] Katayon, S., Noor, M. M. M., Asma, M., Ghani, L. A., Thamer, A. M., Azni, I., ... & Suleyman, A. M. (2006). "Effects of storage conditions of Moringa Oleifera seeds on its performance in coagulation". *Bioresource technology*, 97(13), 1455-1460.

- [68] Keraita, B., Drechsel, P., Huibers, F. P., & Raschid-Sally, L. (2002). "Wastewater use in informal irrigation in urban and periurban areas of Kumasi, Ghana". *Urban Agriculture Magazine*, 8, 11-13.
- [69] Keraita, B., Drechsel, P., Konradsen, F., & Vreugdenhil, R. C. (2008). "Potential of simple filters to improve microbial quality of irrigation water used in urban vegetable farming in Ghana". *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(7), 749-755.
- [70] Kunitoshi, S. (1983). Método sencillo del análisis de Residuos Sólidos. Lima CEPIS.
- [71] Lapeña, M. R. (1989). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales (Vol. 27). Marcombo.
- [72] LaMer, V. K., & Healy, T. W. (1963). "Absorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface". *Review of pure and applied chemistry*, 112-33.
- [73] LaMer, V. K., & Healy, T. W. (1964). "The energetics of flocculation and dispersion by polymer". *J CollSci*, 19, 323-332.
- [74] Langkjaer, R.B., Vigre, H., Enemark, H.L., Maddox-Hyttel, C., 2007. "Molecular and phylogenetic characterization of Cryptosporidium and Giardia from pigs and cattle in Denmark". *Parasitology* 134(Suppl. 1-5), 339-350.
- [75] Lea, M. (2010). "Bioremediation of turbid surface water using seed extract from Moringa Oleifera Lam. (Drumstick) tree". *Current protocols in microbiology*, 16(1G).
- [76] Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J., & Duarte, M. A. (2009). "Estudio comparativo de Sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad". *Información tecnológica*, 20(5), 3-12.
- [77] Madsen, M., Schlundt, J., & Omer, E. F. (1987). "Effect of water coagulation by seeds of Moringa Oleifera on bacterial concentrations". *The Journal of tropical medicine and hygiene*, 90(3), 101-109.
- [78] Madsen, M., Schlundt, J., & Omer, E. F. E. (1988). "Effect of water coagulation by seeds of Moringa Oleifera on bacterial concentrations". *Journal of Ethnopharmacology*, 22(3), 329.
- [79] Mateo-Sagasta, J., Medicott, K., Qadir, M., Raschid-Sally, L., & Drechsel, P. (2013). *Proceedings of the UN-Water Project on the Safe Use of Wastewater in Agriculture*.

- [80] Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (2000). "Uso de la Moringa Oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas". *Ciencia*, 8(2).
- [81] Mhaisalkar, V. A., Paramasivam, R., & Bhole, A. G. (1986). "An innovative technique for determining velocity gradient in coagulation-flocculation process". *Water Research*, 20(10), 1307-1314.
- [82] Mhaisalkar, V. A., Paramasivam, R., & Bhole, A. G. (1991). "Optimizing physical parameters of rapid mix design for coagulation-flocculation of turbid waters". *Water Research*, 25(1), 43-52.
- [83] Moreno, M. E., & Pérez, J. A. (1998). Captación, distribución y usos del agua en las ciudades musulmanas: el caso de Almería, Guadix y Granada. *Miscelánea Medieval Murciana*, (21-22), 83-110.
- [84] Muyibi, S. A., & Evison, L. M. (1995). "Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with Moringa Oleifera seeds". *Water research*, 29(12), 2689-2695.
- [85] Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S., & Talbot, B. G. (1995). "Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa Oleifera". *Water research*, 29(2), 703-710.
- [86] Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1998). Quality of water treated by coagulation using Moringa Oleifera seeds. *Water research*, 32(3), 781-791.
- [87] NHMRC, N. (2011). Australian drinking water guidelines paper 6 national water quality management strategy. National Health and Medical Research Council, *National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia, Canberra*.
- [88] NOM127SSA11994, N. O. M., & Ambiental, S. (2015). *Agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. norma, 24, 3.
- [89] Núñez, V., & Elena, G. D. C. *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana (Doctoral dissertation, Universidad Nacional del Colombia)*
- [90] *Nutrim, 2001: El proceso de la germinación, desarrollo del árbol de Moringa y la comercialización del producto MORINGA NUTRIM, (producto elaborado con hojas deshidratadas del árbol de Moringa variedad oleífera), nos permite cumplir con los objetivos de FAI-Son. TÍTULO DE REGISTRO IMPI 955717 Y 955716 DEL 21 DE MARZO DEL 2001. REGISTRO SS: 26/01/77/8586*
- [91] Oliveira, J. T. A., Silveira, S. B., Vasconcelos, I. M., Cavada, B. S., & Moreira, R. A. (1999). "Compositional and nutritional attributes of seeds from the

- multiple purpose tree *Moringa Oleifera* Lamarck". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(6), 815-820.
- [92] Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). *Moringa Oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1071-1082.
- [93] Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). "Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa Oleifera* seeds". *Water Research*, 35(3), 830-834
- [94] Oluduro, O. A., Aderiye, B. I., Connolly, J. D., Akintayo, E. T., & Famurewa, O. (2010). "Characterization and antimicrobial activity of 4-(β -D-glucopyranosyl-1 \rightarrow 4- α -L-rhamnopyranosyloxy)-benzyl thiocarboxamide; a novel bioactive compound from *Moringa Oleifera* seed extract". *Folia microbiologica*, 55(5), 422-426.
- [95] Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. M. (2003). Contaminación ambiental. Madrid-España, 678Págs
- [96] Parrotta, J. A. (1993). *Moringa Oleifera Lam: Resedá, Horseradish Tree, Moringaceae, Horseradish-tree Family. International Institute of Tropical Forestry, US Department of Agriculture, Forest Service.*
- [97] Querol, M. (2003). *Estudio sobre los convenios y acuerdos de cooperación entre los países de América Latina y el Caribe, en relación con sistemas hídricos y cuerpos de agua transfronterizos (Vol. 64). United Nations Publications.*
- [98] Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas residuales. Reverté.*
- [99] Romero, M. (2008). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Boletín Electrónico [Internet]. [citado 2012 jun 16], 8, 1-12.*
- [100] Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. JA Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño, 17-23.*
- [101] Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Sinagawa-García, S. R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). *Moringa oleífera; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. Revista Científica, 5(9).*
- [102] Solis Silvan, R., Laines Canepa, J. R., & Hernandez Barajas, J. R. (2012). "Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales". *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 229-236.

- [103] Sosa, R., Chao, R., & Río, D. J. (1999). Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás. Habana, Cuba.
- [104] Suay Llopis, L., & Ballester Díez, F. (2002). "Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer". *Revista española de salud pública*, 76(6), 645-658.
- [105] Tobias, F. L. (2010). *Moringa Oleifera* el árbol de la nutrición. *Ciencia y salud Virtual*, 2(1), 130-138.
- [106] Torres Rodríguez, M. T., García Melián, M., Hernández, M. T., Sardiñas Peña, O., Martínez Varona, M., & Brown, L. A. (2002). "Perfiles toxicológicos de contaminantes químicos peligrosos". *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 40(2), 132-135.
- [107] Tortolero, A. (2000). El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI. Siglo XXI.
- [108] Vázquez, R. T., & Montoya, V. H. (2004). "Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable". *Conciencia Tecnológica*, (25).
- [109] Vengoechea, A. (2012). "Las cumbres de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático."
- [110] World Health Organization. (1968). "Lucha contra la contaminación del agua en los países en desarrollo: informe de un Comité de Expertos de la OMS" [se reunió en Ginebra del 12 al 18 de diciembre de 1967].