

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO RIEGO Y DRENAJE.



Título Del Trabajo

USO DE DIFERENTES DOSIS DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*. Lam)
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS

POR:

CAMELIA GAONA MÉNDEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Título Del Trabajo

USO DE DIFERENTES DOSIS DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera. Lam*)
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANITARIAS

POR:

CAMELIA GAONA MÉNDEZ

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito para obtener el título de:

ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

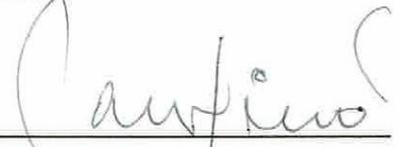
Aprobada por:



Dra. Manuela Bolívar Duarte
Asesor principal



Ph.D. Emilio Olivares Sáenz



Ing. Rolando A. Sandino Salazar
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad, bendición y amor. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A MI ALMA TERRA MATER (UAAAN) por darme la oportunidad de formar parte de su historia y hacerme sentir honrada de la distinción de Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente. Alma Terra Mater te llevare en mi corazón en donde quiera que me encuentre y pondré en alto tu nombre como una institución agraria del país.

A todos mis maestros

Que de alguna u otra manera aportaron sus conocimientos para mi formación académica para que yo sea una profesionista de éxito.

A la **Dra. Manuela Bolívar Duarte** por darme la confianza y apoyo moral, por compartir conmigo sus conocimientos y su valioso tiempo para realizar este trabajo.

A mi madre

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido durante toda mi profesión ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre

A quien le debo todo en la vida. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanos

Valentín y Lorenzo Antonio gracias por el apoyo incondicional brindado para poder llegar a la meta hoy puedo decir ¡Lo logramos! Con la bendición de Dios.

A mi esposo

Gracias por estar conmigo en todo momento y brindarme su apoyo en mi profesión con la bendición de dios seguir adelante y lograr más triunfos.

A mi hija Lesly

Que desde que llego a mi vida para mí ha sido una bendición y un apoyo más con su actitud para lograr esta meta.

A mis tíos

Por estar conmigo en los momentos que he necesitado, y gracias por sus grandes consejos que me brindaron.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Sra. Natividad Méndez Rivera. A ti mama te dedico mis desvelos y mi trabajo de tesis por ser una mujer extraordinaria, maravillosa, por haberme traído a este mundo y ser un ejemplo de lucha en la vida, te agradezco tu apoyo incondicional, tu amor y todo lo que haces por mí, te amo mama.

Sr. Lorenzo Gaona Vázquez. Papa por tu apoyo y gracias a ti he podido cumplir mi sueño, te dedico este trabajo, más que mío es tuyo, por el orgullo de ser mujer extraordinariamente maravillosa, gracias papa.

Porque ustedes siempre están conmigo en las buenas y en las malas; me educan, me aconsejan, me imparten valores para conducirme correctamente y me ofrecen el sabio consejo en el momento oportuno; por hacerme una mujer de bien y por darme la mejor herencia, gracias, DIOS me los cuide y bendiga por siempre y que sigan disfrutando a mi lado cada uno de mis triunfos.

A MI PRINCESA:

Lesly Dayelin Gomez Gaona, gracias por la motivación que me ha brindado en esta etapa.

A MI ABUELA:

Dolores Rivera Quintero por sus consejos, a ti abuelita mia porque en cada momento me demuestras amor, te dedico este trabajo y gracias por compartir mis éxitos y dios te siga dando vida y te bendiga.

A MIS TIAS Y TIOS:

A mis tías y tíos Gloria, Maricela, Fernandina, Jazmín, Miguel Antonio, Lázaro, Venancio, Primitivo, Ramón y a mi cuñada Abigail por sus consejos por su amor hacia mí y por compartir conmigo mis éxitos, los quiero que Dios me los cuide.

A MIS PRIMOS Y PRIMAS:

A todos ustedes que son como mis hermanos gracias por su amor hacia a mí, y por compartir conmigo mis logros, los quiero Lili, Primitivo, Antonio, Gloria, Sol

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
I. RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Disponibilidad del Agua en México.....	3
2.2. Aguas Residuales Urbanas	3
2.3. Usos del Agua en México	4
2.3.1. Clasificación de los Usos del Agua	4
2.3.2. Uso Agrícola.....	4
2.3.3. Uso para Abastecimiento Público.....	4
2.3.4. Suelos que Admiten Aguas Residuales.....	5
2.4. El Árbol Moringa Oleífera. Lam.....	5
2.4.1. Clasificación científica de la <i>Moringa</i> – (<i>Moringa oleífera</i> . Lam).....	5
2.4.2. Descripción Botánica.....	6
2.4.3. Origen y Distribución	6
2.4.4. Composición Química	9
2.4.5. Aplicaciones	9
2.5. Proteínas y Aminoácidos.....	10
2.5.1. Importancia Nutricional.....	13
2.5.2. Clasificación	14
2.5.3. Importancia Industrial	15
2.6. Determinación de la Calidad de Aguas Residuales	15

2.6.1. Indicadores Físico – Químicos.....	15
2.6.1.1. pH.....	15
2.6.1.2. Conductividad Eléctrica	15
2.6.1.3. Turbidez.....	15
2.6.1.4. Materiales en Suspensión	16
2.6.1.5. Olor.....	16
2.6.1.6. Color.....	16
2.6.1.7. Temperatura	16
2.6.2. Indicadores de Contaminación Orgánica	16
2.6.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	16
2.6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	17
2.6. Ventajas y Limitaciones del Uso de Aguas Residuales	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1. Localización del Sitio de Muestreo	18
3.2. Muestreo.....	18
3.2.1. Identificación de la Muestra.....	19
3.2.2. Número de Muestras	19
3.2.3. Almacenamiento de las Muestras	20
3.3. Determinación de los Parámetros de Calidad.	21
3.3.1. Determinación de pH.....	21
3.3.2. Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)	21
3.3.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST):	22
3.3.4. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):	23
3.3.5. Sólidos Totales (ST):	23
3.3.6. Sólidos Totales Volátiles (STV):	23
3.3.7. Sólidos Sedimentables:.....	24
3.3.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO):.....	24
3.3.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅):.....	25
3.3.10. Grasas y Aceites	26
3.3.11. Coliformes Totales y Fecales.....	26

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Parámetros de Calidad del Agua	27
4.1.1. pH	27
4.1.2. Conductividad Eléctrica (CE)	28
4.1.3. Parámetros de Sólidos en el Agua (SS).....	28
4.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	28
4.1.5. Cuantificación de Coliformes Totales y Fecales (CT y CF).....	28
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
VI. LITERATURA CITADA.....	30
VII. PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
2.1. Clasificación de disponibilidad natural media de agua.....	3
2.2. Principales partes del árbol de <i>Moringa oleífera</i> . Lam	12
2.3. Parámetros a medir, métodos y norma.....	22
2.4. Resultados de los parámetros	27

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Países donde se ha registrado <i>Moringa oleífera</i> . Lam natural o introducida	7
Figura 2. Distribución geográfica del género <i>Moringa</i>	8
Figura 3. Estructura de los 20 aminoácidos que conforman las proteínas	11
Figura 4. Estructura de un zwitterion	11
Figura 3.5. Localización geográfica del sitio de muestreo (Google).....	18
Figura 3.6. Tanque Imhoff.....	18
Figura 3.7. Muestreo del efluente del tanque Imhoff de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Saltillo, Coah.....	19
Figura 3.8. Muestra de agua residual con diferentes porciones de <i>Moringa</i>	20
Figura 3.9. Prueba de Jarras con <i>Moringa</i> en diferentes porciones	20
Figura 3.10. Determinación de pH	21
Figura 3.11. Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)	21
Figura 3.12. Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (TSS)	22
Figura 3.13. Determinación de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	23
Figura 3.14. Determinación de Sólidos Totales (ST)	23
Figura 3.15. Determinación de Sólidos Volátiles (TSV)	24
Figura 3.16. Sólidos Sedimentables (SS)	24
Figura 3.17. Demanda Química de Oxígeno (DQO) método de reflujo abierto	25
Figura 3.18. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)...	25
Figura 3.19. Determinación de Grasas y Aceites (G y A)	26
Figura 3.20. Determinación de Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)	26

I. RESUMEN

Las aguas residuales contienen altas concentraciones de materia orgánica que varían con la forma de operación de las plantas de tratamiento. Para remover las altas cargas orgánicas se han ensayado, con éxito, diferentes tipos de tratamientos fisicoquímicos que han empleado con éxito en los tratamientos de aguas residuales, tales como los de coagulación. Uno de estos procesos que ha sido utilizado es el uso de semillas de *Moringa oleífera*. Lam.

En objetivo de la siguiente investigación fue evaluar el efecto de la semilla molida de la *Moringa oleífera*. Lam como coagulante en la clarificación del agua residual.

Se utilizó agua residual del efluente del tanque imhoff. Las muestras se colocaron en la Prueba de Jarras a 100 rpm a temperatura de 20°C con tiempo de agitación de 30 minutos.

Los tratamientos evaluados fueron el agua residual (T), 10 g (T1), 20 g (T2) y 30 g (T3) de semilla molida por litro de agua residual.

Para determinar la calidad del agua se evaluó: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Volátiles (SV), Grasas y Aceites (G y A), Coliformes Totales y Fecales (CT y CF) del sobrenadante.

De acuerdo a los resultados se obtuvo que empleando 10 g (T1) se logró mejor sedimentación y el sobrenadante más claro, así como se baja de 1600 NMP/100 ml a 120, pudiendo ser utilizada para riego de todos los cultivos, por la CE se clasifica como C₃ para cultivos tolerantes según CNA (2010); G y A no pasa el límite máximo permisible (NOM-003-ECOL-1997) y con lo que respecta a sólidos suspendidos (ss) puede haber problemas de taponamiento en los emisores.

Se concluye que la semilla de moringa molida puede ser utilizada para mejorar la calidad agronómica del agua residual en un tratamiento biológico y económico, recomendándose un filtro de arena de filtro.

Palabras clave: semilla de moringa, aguas residuales, clarificación, Sedimentabilidad, Coliformes Totales.

I. INTRODUCCIÓN

La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97 por ciento del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales (<http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htm>).

Es un compuesto muy importante en la vida diaria, necesario para la subsistencia de todos los seres vivos, en la mayoría de procesos industriales es el fluido de trabajo. Por ser el solvente universal, es común encontrar en aguas superficiales y subterráneas un gran número de compuestos que en determinadas concentraciones pueden ser nocivos para la salud de los consumidores, además, puede contener microorganismos indeseables.

El problema de la calidad de agua es tan importante como su escasez. Este término se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. La calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1996).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica con relación natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO-1993 <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htm>).

1.1. Antecedentes

El uso más conocido de la semilla de *Moringa oleífera*. Lam es en el tratamiento del agua, debido a sus propiedades coagulantes antibióticas y antifúngicas (Chuang et al., 2007).

Entre las principales ventajas que presenta el uso de esta semilla destacan su bajo costo, la biodegradabilidad del lodo producido, así como la estabilidad del pH del agua tratada con dicha sustancia. Los extractos salinos y acuosos crudos de *Moringa oleífera*. Lam han mostrado una gran eficacia como

coagulante primario natural, alcanzando una reducción de la turbiedad elevada (entre 92-99 por ciento) (Muyibi et al., 1995).

El principal inconveniente que presenta la *Moringa oleífera*. Lam según Okuda et al. (2001) es que cuando se adiciona al agua en forma de semillas pulverizadas, incrementan la carga orgánica hasta un 90 por ciento de sustancias orgánicas que no actúan como agentes floculantes. Este hecho, impide almacenar el agua tratada por un tiempo superior a 24 horas.

1.2. Objetivos

- a. Determinar la dosis adecuada de semilla de *Moringa oleífera*. Lam en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- b. Determinar la calidad agronómica de agua residual tratada con *Moringa oleífera*. Lam en el efluente del tanque Imhoff.

1.3. Justificación

La semilla de *Moringa oleífera*. Lam contiene alrededor de 30 y 40 por ciento de aceite (Rashid et al., 2008) y el residuo posee un alto contenido de proteínas. Es utilizado para el tratamiento de aguas residuales como agente floculante o en la alimentación animal, incluso después de tratar el agua se aprovecha como fertilizante (Ghebremichael et al., 2005).

Las semillas de *Moringa oleífera*. Lam se enfocan en las propiedades del aceite y en los péptidos responsables de la capacidad coagulante, éstas constituyen alrededor del uno por ciento del contenido total de proteínas (Foidl y Becker 2001).

En la mayoría de los casos los residuos generados por cualquier industria al no ser tratados adecuadamente pueden provocar contaminación del ambiente por proliferación de fauna nociva o enfermedades infecciosas principalmente cuando se trata de materia orgánica rica en nutrientes.

1.4. Hipótesis

- a. La utilización de semillas de *Moringa oleífera*. Lam como coagulante para el tratamiento de aguas residuales, baja el contenido total de sólidos en suspensión (TSS).
- b. La utilización de semillas de *Moringa oleífera*. Lam como coagulante, para el tratamiento de aguas residuales, disminuye el NMP de Coliformes Totales y Coliformes Fecales (CT y CF).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Disponibilidad del Agua en México

La disponibilidad natural media per cápita de un país resulta de dividir los recursos renovables entre el número de habitantes. Según este criterio, México se encuentra en el lugar número 88 mundial sobre 177 países de los cuales se dispone de información, en términos de disponibilidad media per cápita. Cabe aclarar de que, en el caso de México, la disponibilidad nacional esconde una fuerte variación regional. En el cuadro 2.1 se presenta la clasificación de la disponibilidad media del agua (<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=6159>).

Cuadro 2.1. Clasificación de disponibilidad natural media de agua (<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=6159>).

Disponibilidad natural media de agua per cápita (m ³ /hab/año).	Clasificación
2000 – 5000	Extremadamente baja
2000 – 5000	Muy baja
2000 – 5000	Baja
2000 – 5000	Media
2000 – 5000	Alta
2000 – 5000	Muy alta

2.2. Aguas Residuales Urbanas

Las aguas residuales urbanas son aquéllas que se han canalizado en los núcleos urbanos después de su uso doméstico (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavados y baños) y que pueden contener, además, algún residuo de los arrastres de las aguas de lluvia por una parte y de pequeñas actividades industriales urbanas (Seoanez, 1999).

El mismo autor considera como aguas residuales a los líquidos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición gran parte de agua y que generalmente son vertidos a cursos o masas de agua continental o marina.

Las aguas residuales urbanas están conformadas por:

- Excretas humanas
- Residuos domésticos
- Arrastres de lluvia
- Infiltraciones
- Aguas de limpieza y Residuos industriales

2.3. Usos del Agua en México

2.3.1. Clasificación de los Usos del Agua

Según la pág. <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua> los usos del agua residual (AR) son los que se mencionan enseguida así como los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas). Al 2015 el 61.1 por ciento del agua para uso consuntivo provenía de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos) el resto de aguas subterráneas.

2.3.2. Uso Agrícola

El mayor uso es el agrícola, con el 76.3 por ciento del volumen concesionado para uso consuntivo. La fuente predominante es la superficial, con el 64.1 por ciento del volumen concesionado para este uso. La superficie sembrada varía entre 21.8 y 22.1 millones de hectáreas anualmente en el periodo 2008-2012 (último periodo reportado al cierre de esta edición). La superficie bajo riego representa 6.5 millones de hectáreas, agrupadas en 86 distritos de riego y más de cuarenta mil unidades de riego.

2.3.3. Uso para Abastecimiento Público

Incluye la totalidad del agua entregada a través de redes de agua potable, tanto a usuarios domésticos como a industrias y servicios conectados a dichas redes. Representa el 14.6 por ciento del volumen concesionado para uso consuntivo.

El tipo de fuente predominante es la subterránea, con el 58.6 por ciento del volumen. En el periodo 2006-2015, el agua superficial asignada para este uso creció 32.3 por ciento.

2.3.4. Suelos que Admiten Aguas Residuales

Según (Seoanez, 2005) los suelos deben tener una serie de características compatibles con la admisión de elevados volúmenes de agua, en los que están presentes un conjunto de productos que pueden modificar la estructura y alterar el equilibrio ecológico del medio en que se sitúa el área de aplicación. Los suelos que entran en el grupo de los admisibles para aplicación de aguas residuales deben tener como normas comunes un buen drenaje, lo que está relacionado con la textura, la estructura y la constitución geológica, y una buena capacidad de recuperación. Los suelos pesados y de textura fina, como los arcillosos no son aptos para la aplicación de vertidos residuales más que en la modalidad de la escorrentía superficial sobre cubierta vegetal debido a su mal drenaje.

2.4. El Árbol Moringa Oleífera. Lam

Según la clasificación (Cronquist, 1981) esta especie taxonómicamente se encuentra en:

2.4.1. Clasificación científica de la *Moringa* – (*Moringa oleífera*. Lam).

Reino: Plantae

Sin clasificación: Eudicots

Sin clasificación: Rosids

Orden: Brassicales

Familia: Moringaceae

Género: *Moringa*

Especie: *Oleífera*

Nombre binomial: *Moringa oleífera*. Lam

2.4.2. Descripción Botánica

El árbol de *Moringa oleifera*. Lam proviene de la familia *Moringaceae* de árboles y arbustos, pertenece al género *Moringa* del cual hay 14 especies entre las que *oleifera* ha ganado popularidad por sus beneficios (Abdulkarim et al., 2005). Posee varios nombres regionales derivados de la raíz “Morunga”. En inglés se conoce como: árbol de rábano, árbol palo de tambor, el que nunca muere, el árbol de Ben y otros nombres (Foidl et al., 2001); tiene una alta tasa de crecimiento hasta 4 m por año y puede medir de 5 hasta 15 m (Sánchez et al., 2006); sus hojas y semillas, con su alto contenido de proteínas y bajo contenido en toxinas. Se estima que cada árbol puede producir anualmente hasta 25, 000 semillas, con un peso promedio de 0.3 g por semilla. Las semillas también se utilizan en la industria alimentaria, en cosméticos y en medicamentos; una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1 por ciento, está constituida por proteínas catiónicas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua sólo que a menos costo (Foidl et al., 2001), han reportado que, con una pasta de 2 gramos de polvo de semillas enteras, se pueden potabilizar 20 litros de agua de río. Normalmente, “una semilla entera en polvo es suficiente para clarificar un litro de agua muy turbia”. En los primeros años sus tallos son rectos, delgados y flexibles, pero con el tiempo se tornan leñosos y se fortalecen, posee raíces tuberosas y profundas. Las hojas son compuestas, pecioladas con forma elíptica, miden de 1 a 2 cm de diámetro, dispuestas en posición alterna, y se encuentran organizadas en forma de racimo www.beeglorious.com/moringa-oil.htm.

Posee pequeñas flores blancas de dos a tres cm, tienen un aspecto similar al azahar de cítricos, pueden brotar varias veces al año. Los frutos son vainas que miden de 20 a 50 cm con forma de prisma triangular, comestibles cuando están frescos, tienen textura fibrosa y humectada, ligeramente dulce e irritante. Las semillas son redondas y blancas similares al garbanzo, tienen una cubierta rígida de color café a negro, poseen tres crestas papiráceas, en general miden alrededor de tres cm enteras y un cm descascarillada.

2.4.3. Origen y Distribución

Es originaria del Noroeste de la India, donde hace miles de años que se cultiva. Actualmente se distribuye por África, Medio Oriente, Sureste de Asia, el Pacífico, las Islas del Caribe, Centro y Norteamérica. Prospera mejor en climas tropicales soleados, abunda cerca de arenales en ríos y arroyos, aunque es muy adaptable, ya que tolera rangos de lluvia de 250 a más de 3000 mm por año, resiste suelos deficientes y pH de 5.0 a 9.0 (Rashid et al., 2008).

En la actualidad, se encuentra diseminada en gran parte del planeta. En concreto, en las zonas de clima cálido delimitadas entre el Trópico de Cáncer y el de Capricornio (Pérez, 2012). Se cultiva y se ha naturalizado en otras partes de Pakistán, India y Nepal, así como en otros países del Sur y Este de Asia, incluyendo Afganistán, Bangladesh, Israel, Irán, China, Taiwán, Sri Lanka, Myanmar, Malasia, Filipinas, Tailandia, Camboya, Vietnam e Indonesia, la Península Arábiga (Fahey, 2005; Navie y Csurhes, 2010). En la actualidad, *Moringa oleífera*. Lam se ha establecido en diversas regiones del mundo, como muestra la siguiente (Figura 1 http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf).

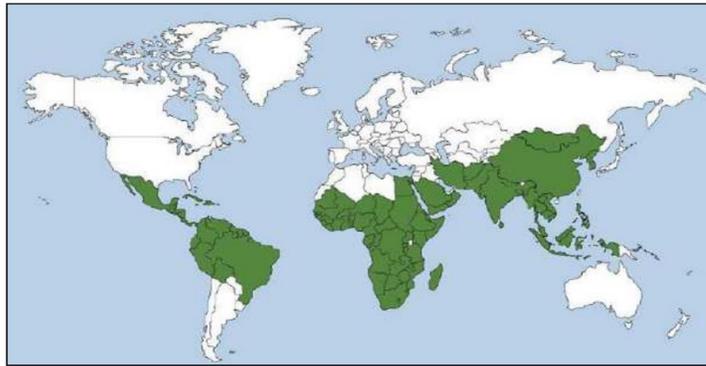


Figura 1. Países donde se ha registrado *Moringa oleífera*. Lam natural o introducida (http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf).

En el África subsahariana, se encuentra en concreto en Zimbabwe, Madagascar, islas de Zanzíbar, Sudáfrica, Tanzania, Malawi, Benín, Burkina Faso, Camerún, Chad, Gambia, Ghana, Guinea, Kenya, Liberia, Malí, Mauritania, Nigeria, Níger, Sierra Leona, Sudán, Etiopía, Somalia, Zaire, Togo, Uganda y Senegal (Navie y Csurhes, 2010). En el continente Americano se localiza en el sureste de los Estados Unidos (en Florida), en México, en el Caribe (Cuba, Haití, República Dominicana, Bahamas, Jamaica, Puerto Rico e Islas Vírgenes), en América Central (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), en Sudamérica (Colombia, Venezuela, Brasil, Paraguay, Chile, Perú, Argentina, Uruguay (Navie y Csurhes, 2010). En Oceanía se ha detectado su presencia en Papúa Nueva Guinea y en Australia.

En la siguiente Figura (2) se muestra el área de distribución natural del género en el continente africano, la isla de Madagascar y parte de Asia, incluyendo la Península Arábiga y la India.

El color más suave, indica los países donde sólo crece una especie del género *Moringa*, mientras que los tonos más oscuros muestran los países con dos, cuatro o cinco especies, como indica la leyenda de la Figura 2.

Las especies de *Moringa* casi siempre crecen en bosques, sólo en raras ocasiones lo hacen aisladas y ninguna junto a otra especie del género en el mismo lugar. Cuatro especies del género tienen su distribución restringida a los países de Angola, Namibia y la isla de Madagascar. Son los árboles que pertenecen al grupo 1 (“Boottle tree” - árboles botella), *Moringa drouhardii*, *Moringa hildebrandtii*, *Moringa ovalifolia* y *Moringa stenopetala*.

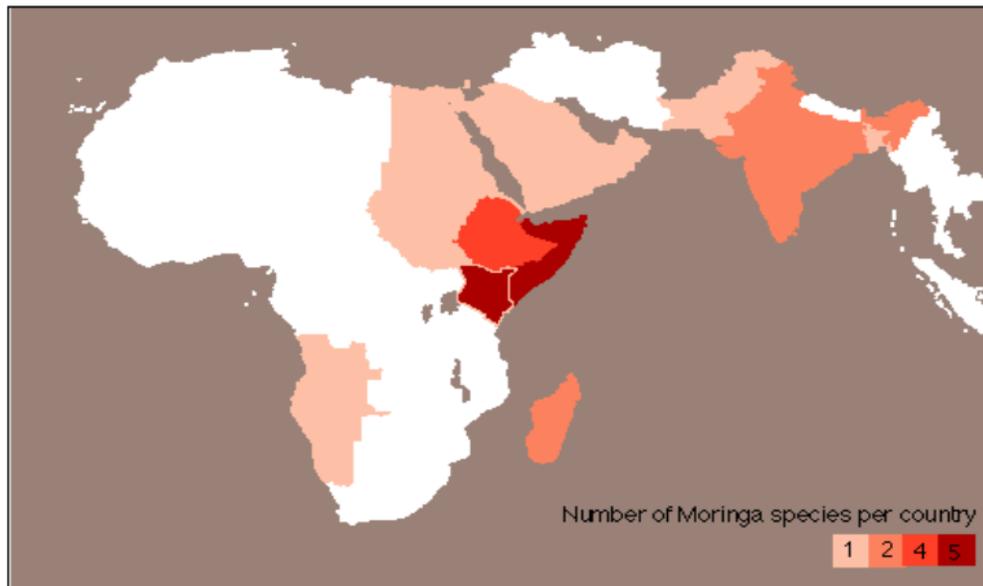


Figura 2. Distribución geográfica del género *Moringa* (http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf).

Las tres especies que crecen en la zona del Mar Rojo, Eritrea, Sudán, Arabia Saudí, Yemen, Omán, Pakistán y el subcontinente indio, son las que pertenecen al grupo de los árboles esbeltos (“Slender trees”). Grupo formado por *Moringa oleífera*, *Moringa peregrina* y *Moringa concanensis*. Son las especies más conocidas y con mayor valor económico de la familia. El Cuerno de África, con ocho especies, es el centro de mayor diversidad del género. Siete de las especies son endémicas de África nororiental, *Moringa rivae*, *M. ruspoliana*, *M. arborea*, *M. longituba*, *M. borziana*, *M. pygmaea* y *M. stenopetala*. La única especie no endémica y que comparte hábitat en el norte de Somalia es *Moringa peregrina*. (Olson y Carlquist, 2001).

2.4.4. Composición Química

En general posee un alto contenido de carbohidratos, aminoácidos, flavonoides, glucósidos, esteroides, alcaloides y taninos (Rastogi et al., 2009). La raíz contiene alcaloides (Moringina y Moringinina) y un antibiótico (pterigospermina).

Las hojas son ricas en vitamina C, tocoferol (Sánchez et al., 2006), proteínas, caroteno, bencilnitrilos, N-bencil carbamatos, tiocarbamatos, calcio, fósforo, selenio, (Jaiswal et al., 2009), niaririna, niazinina, isotiocianato, niacinamina A y B (Karadi et al., 2006).

La composición proximal de los frutos según (Jaiswal et al., 2009) es de 3.7 por ciento de carbohidratos; 2.5 por ciento de proteína; 0.1 por ciento de grasa; 4.8 por ciento de fibra y 2 por ciento de minerales, son ricos en ácido ascórbico y aminoácidos libres, también poseen un benciléster que estimula la producción de insulina.

Según Muyibi et al. (2002) las semillas poseen de 7-9 por ciento de humedad; de 6 a 7 por ciento de minerales; de 37 a 40 por ciento de proteína cruda; de 4 a 5 por ciento de fibra cruda y de 28 a 32 por ciento de aceite; destacando el ácido behénico (C22:0), lignocérico (C24:0), pentadecanóico, pentadecenóico y trazas de ácido láurico (Abdulkarim et al., 2005). Contiene un péptido coagulante, con peso molecular alrededor de 13 KDa y punto isoeléctrico entre 10 y 11.

2.4.5. Aplicaciones

En la antigüedad ya se conocía su valor contra diferentes enfermedades (Karadi et al., 2006) sus acciones farmacológicas han sido muy utilizadas tradicionalmente (Rastogi et al., 2009).

La mayor parte del árbol se utiliza como alimento (Chumark et al., 2008); posee actividad antimicrobiana (Fakurazi et al., 2008). Los extractos etílicos de toda la planta muestran actividad anticancerígena (Roy et al., 2007) y antifúngica, mientras que el extracto metílico posee un efecto depresivo del Sistema Nervioso Central (Jaiswal et al., 2009).

Los tallos extraen analgésicos y antibióticos, aunque se utilizan más para alimentación animal y el tronco para producción de papel (Jaiswal et al., 2009).

Las hojas frescas sirven de alimento y conservador de comidas ricas en grasa, por su alto contenido de antioxidantes (Sánchez et al., 2006), tienen efecto antiulceroso, diurético, antiinflamatorio y cicatrizante relacionado con los compuestos con actividad hipotensiva reportados (Karadi et al., 2006).

Del exudado de las hojas se obtiene un gel aplicable para la industria farmacéutica (Panda et al., 2006). El extracto acuoso tiene actividad anticonceptiva, regula la tiroides en ratas (Jaiswal., 2009) y es promotor de crecimiento (Roy et al., 2007).

La raíz se utiliza como condimento picante, son útiles para tratar lumbago, gota, asma, problemas hepáticos, inflamaciones y cálculos renales. También se han estudiado por su actividad diurética y antiinflamatoria (Karadi et al., 2006).

En té son cardiotónico y estimulante (Chumark et al., 2008) y tiene cierto efecto antiviral (Roy et al., 2007); preparada en pasta reduce dolor e inflamación por artritis reumatoide (Rastogi et al., 2009).

Las flores son estimulantes, diurético y beneficia el flujo de bilis y un extracto metílico del fruto estimula la liberación de insulina en roedores, e inhibe la enzima ciclogenasa y la peroxidación de lípidos (Jaiswal et al., 2009).

El aceite de semilla posee un sabor suave, parecido al cacahuete, es usado para cocinar y en ensaladas gourmet, su composición es similar al aceite de oliva, por lo que puede ser su competencia en el mercado (Abdulkarim et al., 2005); es resistente a la degradación oxidativa y utilizado en perfumería, además tiene potencial para la producción de biodiesel (Rashid et al., 2008).

El bagazo de la extracción del aceite posee propiedades coagulantes para el tratamiento de aguas (Muyibi et al., 2002), que han sido muy utilizadas en países africanos y asiáticos (Santos et al., 2005), incluso la semilla pulverizada sin desgrasar puede remover ciertos metales pesados (Kumari et al., 2005).

El agente coagulante es un péptido que actúa como polímero catiónico, y purificado parece ser más efectivo que el alumbre (Muyibi et al., 2002).

2.5. Proteínas y Aminoácidos

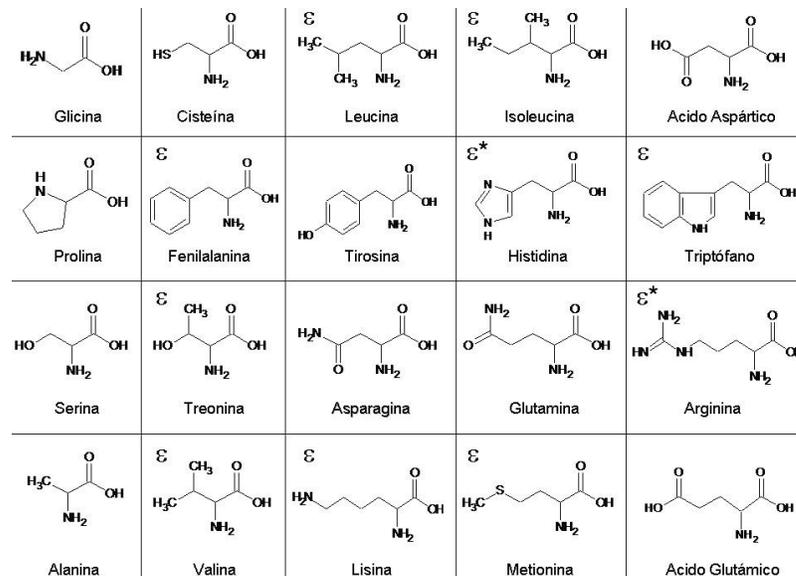
La palabra proteína, viene del griego “proteios” que significa “primordial” o “primer lugar”. Son macromoléculas presentes en todos los organismos, formadas por varios aminoácidos, sintetizados por los vegetales a partir de nitratos y otros elementos, que a través de las cadenas tróficas forman parte de otros organismos (Raven y Berg, 2004).

Son de gran importancia en la nutrición y se han introducido a la industria como se muestra en el Cuadro 2.2 según Badui (2006).

Existen 20 aminoácidos comunes reportados por (Badui, 2006) que emplean los organismos como bloques para sintetizar sus proteínas.

Diez se consideran esenciales porque el cuerpo humano no los sintetiza, sólo dos de éstos son para niños.

Su conformación estructural de acuerdo al autor anterior, se muestra en la Figura 3. Es un grupo amino unido al carbono "α" contiguo al carboxilo; a este carbono también se une un grupo "R", cuya naturaleza química influye en sus propiedades fisicoquímicas.



ε = Esenciales, * = Esenciales sólo para niños

Figura 3. Estructura de los 20 aminoácidos que conforman las proteínas (Badui y Dergal, 2006).

En disolución acuosa, los aminoácidos muestran un comportamiento anfótero, dependiendo del pH pueden ionizarse, como ácido carboxílico, liberando protones y quedando el radical (-COO-) o como base por los grupos NH₂ que captan protones, quedando como (NH₃⁺) o comportarse como ácido y base a la vez, apareciendo una forma dipolar iónica llamada zwitterion (Figura 4) (Horton, 2008).

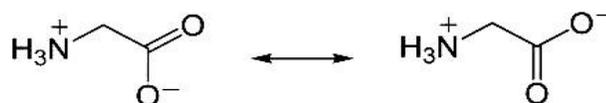


Figura 4. Estructura de un zwitterion (Horton, 2008).

En el cuadro 2.2 se muestran las principales aplicaciones de las diferentes partes del árbol *Moringa oleífera*. Lam (Badui, 2006).

Cuadro 2.2. Principales partes del árbol *Moringa oleífera*. Lam (Badui, 2006)

Parte	Aplicaciones
Hojas	<ul style="list-style-type: none"> • Suplemento, digestivo, antioxidante • Antipirético, analgésico, antibacterial • Hipocolesterolémico, hipolipidémico • Hipotensivo, hipoglucémico • Regulador de tiroides y hepatoprotector • Extracto etílico antifúngico y contra enfermedades oculares
Flores y frutos	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentos ricos en nutrientes • Estimulante, diurético, aumenta el flujo de bilis • Hepatoprotector • Analgésico y antiinflamatorio • Hipotensivo, quimiomodulador
Raíces	<ul style="list-style-type: none"> • En pasta para inflamación y dolores artríticos • Disminuir irritación y erupciones cutáneas
Semillas	<ul style="list-style-type: none"> • En ungüento sirve para tratamiento de infecciones dermatológicas. • Pulverizadas como agente floculante para tratamiento de aguas. • Aceite comestible de buena calidad, se puede producir jabón, cosméticos, biocombustible, etc. • El bagazo de la extracción del aceite como agente coagulante, mejor que sin desgrasar. También sirve para acondicionar suelos o alimento. • Posee alcaloides, antibióticos y efecto antitumoral. • Las cascarillas sirven de materia prima para la producción de carbón activado y de intercambiadores aniónicos.
Aceite	<ul style="list-style-type: none"> • Se aplica sobre afecciones de la piel, mezclado con aceite comestible mejora su estabilidad térmica.
Corteza	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorbente de metales pesados. Resina antimicrobiana.

2.5.1. Importancia Nutricional

Los estudios de moringa se han ido incrementando en los últimos años debido a su importancia nutricional, ya que el contenido de proteínas, vitaminas y minerales es muy sobresaliente destacando que en esta planta se encuentran todos los aminoácidos esenciales (Badui, 2006).

Las proteínas no aportan la mayor cantidad de energía. Sin embargo, constituyen uno de los nutrimentos de mayor trascendencia en los seres vivos, debido a que poseen muchas funciones biológicas según el autor anterior.

Forman estructuras de soporte como el colágeno y la queratina, constituyen los principales tejidos del organismo, como cabello, uñas, tendones y huesos, así mismo conforman diferentes fluidos corporales entre ellos algunas hormonas y enzimas responsables de diversas funciones vitales, algunas sencillas como la degradación de nutrientes, síntesis de metabolitos y estructuras, o bien, otras demasiado complejas como la división celular. Algunas proteínas transportan ciertos elementos o nutrientes, la hemoglobina transporta oxígeno y dióxido de carbono entre células y pulmones, la insulina transporta la glucosa al interior de la célula, en la mitocondria hay una serie de proteínas que transportan electrones hasta el oxígeno en la respiración. También forman anticuerpos, capaces de identificar y eliminar sustancias extrañas como virus, bacterias etc., cumpliendo su función en el sistema inmune.

Ciertas proteínas o péptidos de cadena corta poseen actividad biológica que resulta importante en diversos procesos metabólicos para el mantenimiento de la homeostasis, antimicrobianos, antioxidantes, siendo un total de 46 componente que protege al cuerpo de los efectos desgastantes de los radicales libres neutralizándolos antes de que causen daño celular y enfermedades, así como estimulante o depresiva del sistema nervioso central (Badui, 2006).

Además, según el autor anterior algunos aminoácidos poseen actividad antioxidante, antimicrobiana y son indispensables para ciertas funciones metabólicas por ser precursores de hormonas y otros metabolitos. Además, confieren ciertos sabores a los alimentos como el dulce, amargo o picante, sabores característicos que presentan las flores, raíces y semillas de *Moringa oleifera*. Lam.

También dice que se le llama frecuentemente el “Árbol milagroso” y “el mejor amigo de las madres”, lo que es entendible cuando se aprende que la moringa contiene una combinación única de vitaminas, minerales y aminoácidos que la hacen una de las plantas más nutritivas que se han descubierto. La mayor parte de esta planta es comestible para los humanos y animales de granja.

Así mismo las hojas son excepcionalmente nutritivas, ya que cuando están frescas son ricas en vitamina C y cuando están cuidadosamente secas, gramo

por gramo contienen 24 veces más de hierro que la espinaca; 16 veces más calcio que la leche, 9 veces más vitamina A que la zanahoria, muchas veces más potasio que los plátanos y cada aminoácido esencial que el cuerpo necesita. Son ricas en proteínas, vitamina A, vitamina B, vitamina C y minerales. De modo que, 100 g de hojas de moringa tienen 8.3 g de proteína, 434 mg de calcio, 404 mg de potasio, 738 mg de vitamina A y 164 mg de vitamina C.

Además de los compuestos anteriores el autor menciona los siguientes:

Vitaminas

La vitamina A (alfa y beta-caroteno), B, B1, B2, B3, B5, B6, B12, C, D, E, K, folato (ácido fólico), biotina.

Minerales

Calcio, Cromo, Cobre, Fluoruro, Hierro, Manganeso, Magnesio, Fósforo, Potasio, Sodio, Selenio, Sulfuro, Zinc.

Aminoácidos esenciales

Isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina.

Aminoácidos no esenciales

Alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, glicina, histidina, prolina, serina, tirosina.

2.5.2. Clasificación

Horton (2008) reporta que existen dos clases de proteínas que difieren por su conformación: proteínas fibrosas y proteínas globulares.

Las proteínas fibrosas se constituyen por cadenas polipeptídicas alineadas en forma paralela, éstas pueden producir dos macro-estructuras diferentes: doble hélice como la queratina del cabello o bien, láminas como las - queratinas de las sedas naturales. Estas proteínas poseen alta resistencia, por eso son los principales soportes estructurales de los tejidos, son insolubles en agua y en soluciones salinas diluidas, en general son más resistentes al daño físico y factores que las desnaturalizan.

Las proteínas globulares son conformaciones de cadenas polipeptídicas que se enrollan sobre si mismas en formas intrincadas como una bola de estambre.

El resultado es una macro-estructura de tipo esférico. La mayoría de estas proteínas son solubles en agua y por lo general desempeñan funciones de transporte en el organismo y como enzimas.

2.5.3. Importancia Industrial

La aplicación de las proteínas en la industria alimentaria es muy común, sacando provecho principalmente de sus propiedades funcionales como emulsificante, espumante, gelificante, componente para películas comestibles o edulcorantes. Otra manera de aprovecharlas es como ingrediente de suplementos nutricionales, concentrados o hidrolizados de proteína y aminoácidos libres, con la posibilidad de emplearlos para enriquecer alimentos o consumo directo (Badui, 2006).

2.6. Determinación de la Calidad de Aguas Residuales

2.6.1. Indicadores Físico – Químicos

Estos son descritos por (Seoanez, 2005):

2.6.1.1. pH

Mide la concentración de los iones Hidrógeno en el agua. Un pH de 8 es elevado, indica una baja concentración de iones H^+ y por lo tanto una alcalinización del medio. Un pH de 5 es bajo, indica una acidificación del medio. El pH ideal para la retención de la mayoría de los componentes del agua residual es el comprendido entre 6 y 7.

2.6.1.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad, que varía en función de la temperatura, está ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. La salinidad medida por la conductividad eléctrica, indica un nivel elevado de salinidad implicando interacciones y perturbaciones en la vegetación.

2.6.1.3. Turbidez

La turbidez del agua es debida a la presencia de materiales en suspensión finamente divididas: arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. La turbidez es el efecto óptico causado por la dispersión y la interferencia del rayo luminoso que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en la suspensión.

2.6.1.4. Materiales en Suspensión

Las aguas residuales están cargadas casi siempre con materiales en suspensión. Esos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas produciendo una contaminación mecánica.

2.6.1.5. Olor

Las aguas residuales tienen olores característicos generados por los materiales volátiles que contienen y por los procesos de degradación de la materia orgánica presente.

2.6.1.6. Color

Los desechos de las industrias alteran considerablemente el color de las aguas. Esto tiene como consecuencia una grave contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambios de oxígeno. El color del agua es de dos tipos: el “color verdadero” es el que está presente en el agua después de haberse removido la materia suspendida y el “color aparente” es el color verdadero más cualquiera otro color que produzca la sustancias en suspensión.

2.6.1.7. Temperatura

La temperatura que tienen las aguas residuales es mayor que la de un suministro. En su tratamiento la temperatura tiene un proceso biológico. Este parámetro afecta directamente las reacciones químicas y la velocidad de reacción, también la vida acuática.

2.6.2. Indicadores de Contaminación Orgánica

2.6.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Expresa la cantidad de Oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica (degradación por microorganismos). La DBO₅ en la práctica permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable (Seoanez, 2005).

2.6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para Metcalf y Eddy (1996) es la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral. Es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, como naturales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

2.6. Ventajas y Limitaciones del Uso de Aguas Residuales

El riego con aguas residuales se viene incrementando notablemente en los últimos años, debido a que otorga a la agricultura las siguientes ventajas:

- Disponibilidad permanente de agua
- Aporte de gran cantidad de nutrientes
- Incremento del rendimiento de los cultivos
- Mejora de la calidad de los suelos (textura)
- Ampliación de la frontera agrícola

También existen algunas restricciones o riesgos que se deben tomar en cuenta, como lo siguientes:

- La contaminación microbiológica del cultivo
- La bioacumulación de elementos tóxicos
- La salinización e impermeabilización del suelo
- El desbalance de nutrientes en el suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Sitio de Muestreo

El presente trabajo de investigación se inició el 12 de diciembre del 2016, tomando muestras del tanque Imhoff de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Ésta se ubica geográficamente sobre las coordenadas Latitud 25.353475 N y Longitud 101. 030864 W y 1800 msnm en Saltillo Coah. (Google) como se observa en la Figura 3.5.



Figura 3.5. Localización geográfica del sitio de muestreo (Google 12/04/16).

3.2. Muestreo

El muestreo del agua se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) siguiendo las especificaciones de la norma NMX-AA-003-1980 Aguas residuales-muestreo, en el tanque Imhoff (Figura 3.6)



Figura 3.6. Tanque Imhoff.

3.2.1. Identificación de la Muestra

Para la identificación de las muestras se emplearon etiquetas que contenía la siguiente información:

- Localización
- Lugar
- Fecha
- Hora
- Temperatura
- Conductividad Eléctrica
- pH
- Responsable del muestreo

Se usaron recipientes, guantes y cubre-boca.

3.2.2. Número de Muestras

La muestra fue tomada del efluente (Figura 3.7).

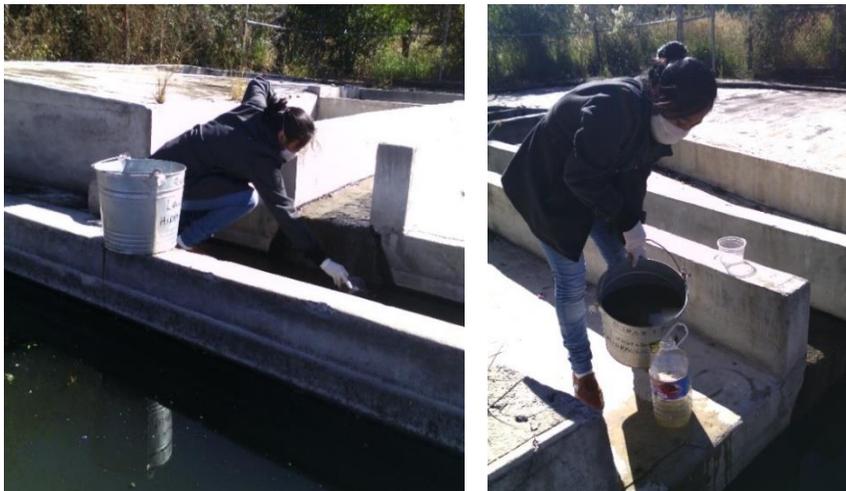


Figura 3.7. Muestreo del efluente del tanque Imhoff de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Saltillo, Coahuila.

3.2.3. Almacenamiento de las Muestras

Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Calidad de Aguas Residuales del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) para realizar su análisis. Se colocaron en refrigeración a una temperatura de 4°C para su conservación.

Siendo utilizada una parte como testigo y la otra se fracciona en 3 lt para los tratamientos a probar en el equipo llamado Prueba de Jarras modelo ET 740; el tratamiento uno fue de 10 g de semilla molida; el segundo de 20 g de semilla y el tercero con 30 g de semilla, siendo estos los lugares representativos para los análisis físicos y químicos del agua residual, el muestreo se realizó solo una vez, la fecha antes ya mencionada (Figura 3.8 y Figura 3.9).



Figura 3.8. Muestra de agua residual con diferentes porciones de *Moringa*.



Figura 3.9. Prueba de jarras con *Moringa* en diferentes porciones.

3.3. Determinación de los Parámetros de Calidad.

3.3.1. Determinación de pH

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Se determina con el potenciómetro para cumplir la norma mencionada anteriormente, como se observa en la (Figura 3.10).



Figura 3.10. Determinación de pH.

3.3.2. Determinación de Conductividad Eléctrica (CE)

Se determinó en la muestra de agua para detectar posibles descargas de compuestos de naturaleza orgánica y que no presentan conductividad utilizando un conductivímetro modelo (Figura 3.11) y Cuadro 3.4.

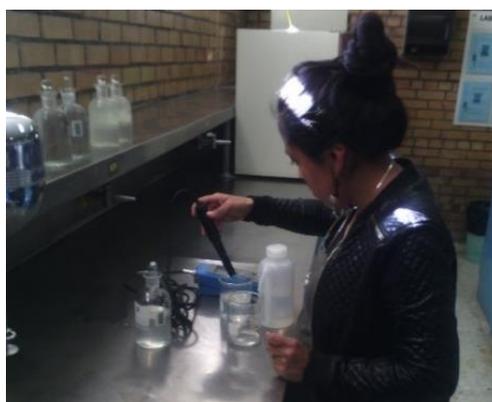


Figura 3.11. Determinación de Conductividad eléctrica (CE).

Cuadro 3.4. Los parámetros que se realizaron a las muestras fueron los mencionados en el cuadro 3.4, así como el método utilizado exigido por su norma correspondiente.

Parámetros	Método	Norma
Temperatura	Termómetro	NOM-AA-007
Ph	Potenciómetro	NOM-AA-008
CE	Conductivímetro	NOM-AA-093
Sólidos suspendidos Totales y Volátiles (TSS, SSV)		NOM-AA-034
Sólidos Totales y Volátiles (ST y SV)		NOM-AA-034
Sólidos sedimentables (SS)	Cono de Imhoff	NOM-AA-004
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método de Reflujo Abierto	NOM-AA-030
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Método de Frascos Wheaton	NOM-AA-028
Grasas y Aceites (G y A)	Aparato Soxhlet	NOM-AA-005
Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)	Número más probable (NMP)	NOM-AA-042

3.3.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST):

El material es establecido por sólidos sedimentables, por lo que los sólidos suspendidos son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm secado y llevado a masa constante a una temperatura de 105 °C ± 2 °C mostrado en la Figura 3.12.



Fig. 3.12. Determinación de SST.

3.3.4. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):

Como ya se mencionó anteriormente el mismo material se volatilizo en la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostrado en la siguiente (Figura 3.13).



Fig. 3.13. Determinación de SSV.

3.3.5. Sólidos Totales (ST):

El residuo permaneció en una cápsula después de evaporar y secar cada muestra a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ haciéndose uso de la balanza analítica, estufa, secadora (Figura 3.14).



Fig. 3.14. Determinación de ST.

3.3.6. Sólidos Totales Volátiles (STV):

Se utilizó la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatilizo por el efecto de la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 3.15).



Fig. 3.15. Determinación de SV.

3.3.7. Sólidos Sedimentables:

Las aguas residuales tratadas con altos contenidos de sólidos sedimentables no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras, de ello se deriva el interés por medir en forma cuantitativa este parámetro como lo señala la Norma NOM-AA-004 (Figura 3.16).



Fig. 3.16. Sólidos Sedimentables.

3.3.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Se determinó la Demanda Química de Oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno requerido para oxidar bajo condiciones específicas, la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua residual del efluente siguiendo la Norma NMX-AA-030 (Figura 3.17).



Fig. 3.17. Demanda Química de Oxígeno método de refluo abierto.

3.3.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):

Medí la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en el agua y determiné la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C. (Figura 3.18).



Fig. 3.18. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

3.3.10. Grasas y Aceites

Se determinó las grasas y aceites para cumplir con la NMX-AA-005, Colocando un disco de papel Wathman sobre el embudo Büchner de 12 cm de diámetro y esto sobre el matraz Kitasato (Figura 3.19).



Fig. 3.19. Determinación de Grasas y Aceites.

3.3.11. Coliformes Totales y Fecales.

Se determinó la presencia de Coliformes Totales y Fecales (CT y CF) en el agua residual del tanque imhoff para evaluar la eficiencia de remoción de grasas, el NMP que es la unidad marcada por la NOM-AA-042 (Figura 3.20).



Fig. 3.20. Determinación de Coliformes Totales y Fecales.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Parámetros de Calidad del Agua

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y se discutirán los parámetros de la calidad de agua residual con fines agrícolas para lo que se debe comparar con la NOM-003-ECOL-1997 y www.Conagua.gov.mx en el siguiente cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Resultados de los parámetros

Parámetros	Efluente	T1	T2	T3	NOM-003-SEMARNAT-1997	CNA, 2010
pH	9.42				No aplica	6.5-8.4 Restricción moderada
Conductividad Eléctrica (CE) ($\mu S.cm^{-1}$)	1348				No aplica	450 - 2000
Sólidos Suspendidos Totales (TSS) (mg/lit)	45	195	240	160	20	100
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) (mg/lit)	80	235	310	215	No aplica	
Sólidos Totales (ST) (mg/lit)	720	1855	4995	4985	No aplica	
Sólidos Totales Volátiles (SV) (mg/lit)	250	1500	4065	4065	No aplica	
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/lit)	27	1060	200	200	No aplica	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/lit)	105.6	1.65	0.40	-1.74	20	
Grasas y Aceites (G y A) (mg/lit)	24735	25875	1730	9575	15	30
Coliformes Totales (CT) (NMP/100 ml)	1600	120	84	70	No aplica	<1000 todos los cultivos
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	920	94	63	58	240	

4.1.1. pH

El valor de pH queda fuera del rango recomendado por CNA (2010) mostrado en el Cuadro 4.5.

4.1.2. Conductividad Eléctrica (CE)

La determinación de la conductividad eléctrica aplica en la recomendación de la CNA (2010) siendo recomendada para cultivos tolerantes a la salinidad.

4.1.3. Parámetros de Sólidos en el Agua (SS)

No pasa la recomendación de CNA (2010) ya que presentaría problemas de taponamiento de los emisores.

4.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El resultado de los análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) no aplica en ninguno de los dos casos.

4.1.5. Cuantificación de Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)

No aplica en la NOM-003-ECOL-1997, pero en la de CNA (2010) si pasa ya que es menor de 1000 NMP/100 ml.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los objetivos que se mencionó al inicio de este tema se concluyó que con la Prueba de Jarra modelo orbeco ET 740 nos sirvió para determinar la dosis óptima de semilla de *Moringa oleífera*. Lam para la clarificación, así como la calidad agronómica del agua residual de acuerdo a cada tratamiento.

Con este procedimiento se determina las condiciones óptimas a pequeña escala lo más representativo con el objetivo de predecir el funcionamiento de una operación unitaria a gran escala.

Se requiere del tratamiento uno de 10 g ya que aquí se observó una mejor clarificación de acuerdo a los otros tratamientos, posteriormente se recomienda pasar el agua tratada por un filtro de arena para clarificar aún más el agua y evitar deshidratación.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdulkarim, S., Long K., Lai, O., Muhammad, S. y H. Ghazali. 2005. Some physicochemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. *Food Chemistry*. 93, 253–263.
- Agrawal Deepti, Patidar Pankaj, Banerjee Tushar, Patil Shridhar, (2004). Production of alkaline protease by *Penicillium* sp. under SSF conditions and its application to soy protein hydrolysis. *Process Biochemistry*. 39 977–981.
- Amaglo Newton K., Bennett Richard N., Lo Curto Rosario B., Rosa Eduardo A.S., Lo turco Vincenzo, (2010). Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree Moringa oleifera L., grown in Ghana. *Food Chemistry*. 122, 1047–1054.
- Andrews A.T., *Electrophoresis Theory, Techniques and Biochemical and clinical applications*, 1981, 2nd Edition, Oxford Science Publication.
- Anwar Farooq, Hussain Abdullah Ijaz, Iqbal Shahid, Iqbal Bhangar Muhammad, (2007). Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with Moringa oleifera oil. *Food Chemistry* 103 1181–1191.
- Badui, D. S. *Química de los alimentos*, 2006, Ed. Pearson. México, D.F. pp 119-236.
- Becker. 1995. Studies on utilization of Moringa oleifera leaves as animal feed. Institute for Animal Production in the tropics and Subtropics. University of Hoheheim. Germany.
- Bhatia Subhash, Othman Zalina, Latif-Ahmad Abdul, (2007). Coagulation flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: Optimization studies. *Chemical Engineering Journal*. 133, 205–212.
- Bhuptawat Hitendra, Folkard G.K., Chaudhari Sanjeev, (2007). Innovative physicochemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*. 142, 477-482.
- Burriel Marti F., Lucena Conde F., Arribas Jimeno S., Hernández Méndez J., *Química analítica Cualitativa*, 1985, Editorial Thompson.
- Chang Raymond, *Fisicoquímica*, 2000, 3ª Ed, Editorial Mc Graw Hill.
- Chuang, P. H., Lee, C.W., Chou, J. Y., Murugan, M., Shieh, B.J., and H. M. Chen. 2007. "Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of Moringa oleifera Lam.", *Bioresour Technol*, 98(1): 232-236.
- Chumark, P. Khunawat, P, Sanvarinda, Y, Phornchirasilp, S., Phumala, M, N., Phivthong-ngam, L., Srisawat, S., Ratanachamnong, P y Klai-upsorn, S. P. 2008. The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of Moringa oleifera Lam. leaves. *Journal of Ethnopharmacology*. 116, 439–446.
- Comisión Nacional del Agua CNA (2010). Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales. SEMARNAT, MEXICO.

- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press.
- Dongmeza Euloge, Siddhuraju Perumal, Francis George, Becker Klaus, 2006. Effects of dehydrated methanol extracts of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves and three of its fractions on growth performance and feed nutrient assimilation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). *Aquaculture*. 261, 407–422. 64
- Fahey, J.W., 2005. *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for Life Journal*, 1:5.
- Fakurazi, S., Hairuszah, I., y Nanthini, U., 2008. *Moringa oleifera* Lam prevents acetaminophen induced liver injury through restoration of glutathione level. *Food and Chemical Toxicology*. 46, 2611–2615.
- Foidl Siles, Sánchez. Marango, *Moringa oleifera* Lam. Moringaceae 1995. Especies para reforestación en Nicaragua. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Forestal Nacional.
- Foidl, N, M, H. y Becker, K. 2001. The potential of moringa oleifera for agricultural and industrial uses. *Dar Es Salaam*.
- Fuglie, L.J.2001. The Miracle Tree: *Moringa Oleifera*: natural nutrition for the tropics, (Church World Service, Dakar, 1999). pp: 68. Revised in 2001 and published as The Miracle Tree: The Multiple Attributes of *Moringa*, pp: 172
- Garritz A., Chamizo J., Química 1998. Editorial Pearson.
- Gassenschmidt, U, Jany, K D., Tauscher B, Niebergall, H. 1995. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *Biochimica et Biophysics Acta*. 1243, 477-481.
- 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, 2338–2344.
- Ghebremichael, K. A., Gunaratna K.R., Dalhammar G, 2006. Single-step ion exchange purification of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Appl Microbiol Biotechnol*. 70, 526–532.
- Gómez-Amores Lucía, Mate Alfonso, Miguel-Carrasco José L., Jiménez Luis, Jos Ángeles, Cameàn Ana M., Revilla Elisa, Santa-María Consuelo, Vázquez Carmen M., (2007). L-Carnitine attenuates oxidative stress in hypertensive rats. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 18, 533–540.
- Harper Harold Antony, *Bioquímica ilustrada*, 16ª edición, 2004. Editorial el manual moderno.
- Harris, Daniel C. *Análisis Químico Cuantitativo*, 5ª. edición, 1999, Editorial Revertè, Barcelona.
- Horton H. R., 2008 *Principios de Bioquímica*, 4ª Edición. Editorial Pearson Educación, México.
- Hussein Abdelrazik, Rakesh Sharma, Reda Mahfouz, Ashok Agarwal, (2009). L-Carnitine decreases DNA damage and improves the in vitro blastocyst development rate in mouse embryos. *Fertility and Sterility*. 91, 589-596.
- Izadi Mojtaba, Cheraghydocheshmeh Maryam, Khorshidi Davood, Kiani Fatemeh, (2009). The effect of chronic L-carnitine tartarate supplementation on glucose and lactate concentration and aerobic capacity. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 1, 2692–2695.

- Jahn, S.A.A. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J. Am. Water Works Assoc.* 80:43. 1988.
- Jaiswal, D, Kumar, R, P., Kumar, A, Mehta, S. Geeta Watal 2009. Effect of Moringa oleifera Lam. leaves aqueous extract therapy on hyperglycemic rats. *Journal of Ethnopharmacology.* 123, 392–396. 65
- Karadi, R. V., Gadgeb, N. B., Alagawadi, K y R. V. Savadi. 2006. Effect of Moringa oleifera Lam. root-wood on ethyleneglycol induced urolithiasis in rats. *Journal of Ethnopharmacology.* 105, 306–311.
- Katayon S., Megat Mohd Noor M.J., Asma M., Abdul Ghani L.A., Thamer A.M., Azni I., Ahmad J., Khor B.C., Suleyman A.M., (2006). Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. *Bioresource Technology.* 97, 1455– 1460.
- Katre Uma V., Suresh C.G., Khan M. Islam, Gaikwad Sushama M., (2008). Structure–activity relationship of a hemagglutinin from Moringa oleifera seeds. *International Journal of Biological Macromolecules* 42, 203–207.
- Knüttel-Gustavsen Seline, Harmeyer Johein, (2007). The determination of L-carnitine in several food samples. *Food Chemistry.* 105, 793–804.
- Krause Mendelson Marie, *Nutrición y dietoterapia de Krause*, 10^a edición, 2000, Editorial Mc Graw Hill, Madrid.
- Kumar Reddy D. Harikishore, Seshaiaha K., Reddy A.V.R., Madhava Rao M., Wang M.C., (2010). Biosorption of Pb²⁺ from aqueous solutions by Moringa oleifera bark: Equilibrium and kinetic Studies. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 831-838.
- Kumari Pushpa, Sharma Parul, Srivastava Shalini, Srivastava M., (2005). Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremedial approach. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology.* 32, 521–526.
- Ladizinsky G., Hymowitz T., 1979. Seed Protein Electrophoresis in Taxonomic and Evolutionary Studies. *Theoretical and Applied Genetic.* 54, 145-151.
- Maikokera R., Kwaambwa H., 2007. Interfacial properties and fluorescence of a coagulating protein extracted from Moringa oleifera seeds and its interaction with sodium dodecyl sulphate. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 55, 173–178.
- Makkar H.P.S., and Becker K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted Moringa oleifera leaves. *Animal Feed Science Technology.* 63, 211-228
- Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalo, Cuenca del río San Juan Turrialba, CR, CATIE 81 p.
- Muyibi, S, A, y Okuofu. Ch. A. 1995. Coagulation of low turbidity surface water with Moringa oleifera seeds. *International Journal Environment Studies.* 48, 263-273.
- Muyibi, S, Aremu, Evison L. M. (1999). Floc settling characteristics of turbid water coagulated with Moringa Oleifera seeds. *International Journal Environment Studies.* 56, 483-495. 66
- Muyibi, S, A Megat J, M, M, Noor, F-R A., Ameen Emad S.M, 2002. Bench Scale Studies for Pretreatment of Sanitary Landfill Leachate with Moringa oleifera Seeds Extract. *International Journal Environment Studies.* 59, 513-525.
- Navie, S. and S. Csurhes. 2010. Horseradish tree. Moringa oleifera. Biosecurity Queensland. Department of Employment, Economic Development and Innovation. Brisbane (Australia).

- Ndabigengesere Anselme, Narasiah K. Subba, Talbot Brian G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*. 29-2, 703-710
- Ndabigengesere Anselme, Narasiah K. Subba, (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*. 32, 781-791
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W. y M. Okada. 2001. Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from *Moringa oleifera* Seed by Salt Solution. *Water Research*, 35 (2).
- Olson, M.E. y S. Carlquist. 2001. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 135: 315–348.
- Panda, DS., Choudhury, NS., Yedukondalu, M., Si S y R. Gupta. 2006. Studies on natural gum for its application as suspending agent. *Pharmacyonline*.
- Parrota, J.A. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Reseda, horseradish tree. Moringaceae. Horseradish tree family, USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry; SO-ITF-SM; 60.
- Pérez, C. 2012. Trabajo de Fin de Carrera: *Moringa oleifera* Lam., especie forestal de usos múltiples. Revisión bibliográfica. E.U.I.T. Forestal (U.P.M.) Madrid.
- Ramachandran, D.; Peter. K.V. and P.K. Gopalakrishnan, Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*. 34:276. 1980.
- Rashid, U., Anwar, F. Moser, B. R., Knothe, G. 2008. *Moringa oleifera* oil: A possible source of biodiesel. *Bioresource Technology*. 99, 8175–8179.
- Rastogi, T, Ghorpade, D. S, Deokate, U. y S. Khadabadi. 2009. Studies on Antimicrobial Activity of *Boswellia serrata*, *Moringa oleifera* and *Vitex negundo*: A comparison. *Research J. Pharmacognosy and Phytochemistry*. 1, 75-77.
- Raven, P. H. y L. R. Berg. 2004. *Environment*, 4ªEd. 2004, Editorial Wiley. pp 104-110
- Reddy, D.H.K.; Ramana, D.K.V.; Seshaiyah, K. and A.V.R. Reddy, Biosorption of Ni(II) from aqueous phase by *M. oleifera* bark, a low cost biosorbent. *Desalination*. 268:150. 2011.
- Reyes-Sánchez Nadir, Ledin Stig, Ledin Inger, (2006). Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems*. 66, 231–242.
- Reyes-Sánchez Nadir, Spörndly Eva, Ledin Inger, (2006). Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science*. 101, 24–31.
- Richter Nahid, Siddhuraju Perumal, Becker Klaus, (2003). Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture* 217 599– 611
- Rodríguez-Núñez Jesús Rubén, (2008). Capacidad de coagulación-adsorción de cobre, del péptido de Semilla de *Moringa oleifera* y Quitosano en el tratamiento de aguas. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Sonora.
- Roy, S. K., Chandra, K., Ghosh, K., Mondal, S., Maiti, D., Ojha, A. K., Das, D., Mondal S., Chakraborty, I and Islam Syed S., 2007. Structural investigation of a heteropolysaccharide isolated from the pods (fruits) of *Moringa oleifera* (Sajina). *Carbohydrate Research*. 342, 2380– 2389.

- Sánchez, M. D., López, C. J., y V. N., Rios (2006). High performance liquid chromatography method to measure α - and -tocopherol in leaves, flowers and fresh beans from *Moringa oleifera*. *Journal of Chromatography A*. 1105, 111–114.
- 1
- Santos A., Argolo A., Coelho L., Paiva P., 2005. Detection of water soluble lectin and antioxidant component from *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*. 39, 975–980.
- Seoanez, C. M. 1999. *Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos Naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Coleccion Ingenieria medioambiental. Ediciones Mundi—Prensa. Madrid España.
- Seoanez C. M. 2005. *Depuración de las aguas residuales por Tecnologías Ecológicas y de bajo costo*. Coleccion Ingenieria medioambiental. Ediciones Mundi—Prensa. Madrid España.
- Skoog Douglas A., West Donald M., Holler F. James, Crouch Stanley R., (2005). *Fundamentos de Química Analítica*, 8ª edición, Editorial Thompson.
- Verma Arti R., Vijayakumar M., Mathela Chandra S., Rao Chandana V., (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology* 47, 2196–2201.
- Wilson Andrew D.H., Hart Andrew, Wiberg Mikael, Terenghi Giorgio, (2010). Acetyl-Lcarnitine increases nerve regeneration and target organ reinnervation - A morphological study. 63, 1186-1195.
- Yu-Hui Tuan, Dixon Phillips R., Dove C. Robert,(1999). Predicting integrated protein nutritional quality Part 2: Integrated protein nutritional quality predicted from Amino Acid Availability Corrected Amino Acid Score (AACAAAS). *Animal Study*. 12, 1807- 1816.

VII. PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

<http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htm>

<http://www.conagua.gob.mx/Espaniol/GoogleBP.aspx>

<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=6159>

<http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>

www.beeglorious.com/moringa-oil.htm