



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA  
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

EVALUACIÓN DEL RIEGO CON AGUA  
GRIS DÓMESTICA EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO  
DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA* L.)



TESIS  
QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

SECCION GENERAL ACADÉMICA  
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
UNIDAD DE DIAGNÓSTICO PROFESIONAL

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA  
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:  
CYNTHIA SERNA ABASCAL

CHAPINGO, MÉXICO, AGOSTO 2018



Tesis realizada por **CYNTHIA SERNA ABASCAL** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

DIRECTOR:



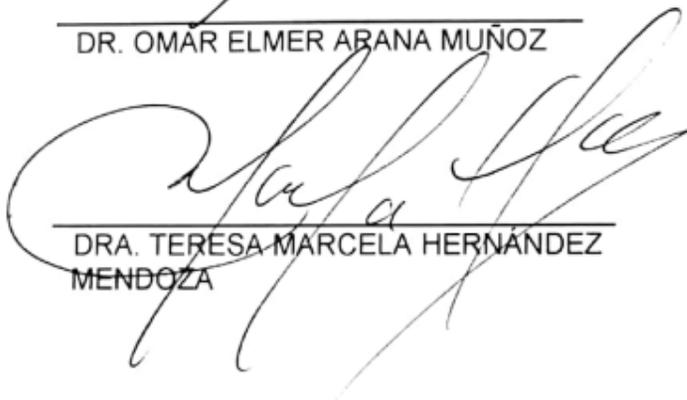
DR. VICENTE ÁNGELES MONTIEL

ASESOR:



DR. OMAR ELMER ARANA MUÑOZ

ASESOR:



DRA. TERESA MARCELA HERNÁNDEZ MENDOZA

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA) y al departamento de Irrigación por brindarme su infraestructura humana y física para desarrollar satisfactoriamente mis estudios.

Al Dr. Vicente Ángeles Montiel por aceptar dirigir este trabajo, su valioso apoyo, su guía y por transmitirme sus conocimientos.

Al Dr. E. Omar Arana Muñoz por todas sus enseñanzas, valiosas sugerencias, su apoyo y su siempre amable disposición.

A la Dra. Teresa M. Hernández Mendoza por sus valiosas sugerencias y aportaciones para este trabajo.

Al Dr. Mario Alberto Vázquez Peña por su valioso aporte a esta investigación, por su asesoría y su disponibilidad brindada a lo largo de todo el proceso.

A la M.C. Erica Morales Hernández por transmitirme sus conocimientos, por el valioso apoyo brindado y la asesoría dada en los espacios en el laboratorio.

A la M.C. Langen Corlay Chee por su valiosa asesoría y apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación

A Mayra, Leticia y Jacqueline por su valiosa amistad, su asesoría, e invaluable apoyo brindado en los distintos trámites.

## DEDICATORIA

A DIOS mi padre y a SAN JUDAS TADEO.

A mis hijos Christian Tadeo y José Mateo, por aguantar y apoyar cada una de las nuevas ideas de su madre, por ser mi más grande inspiración, mi motor para ser mejor cada día y mi vida entera, los amo con todo mi corazón.

A mi esposo José A. Juventino, por ser mi cómplice en cada nueva idea, por siempre creer que puedo lograrlo, por todo el amor que me das, la comprensión y el apoyo sin el cual esto no sería posible.

A mi hermana Ana Paula, por ser mi cómplice, la mitad de mi alma, mi compañera eterna, te amo.

A mi mamá la señora María Eugenia Abascal por todo el amor, apoyo, las enseñanzas y por luchar por que fuéramos mujeres felices y plenas.

A mi papá el señor Jaime Serna por enseñarme a ser una mejor persona cada día, por todo el amor y siempre estar ahí para apoyarme en cualquier decisión.

A mi abuelo Jorge Abascal † por siempre creer en mí, aun cuando yo misma no lo hacía, sé que desde donde estas, sonrías, ¡Lo logré!

A mi hermana del alma María José por siempre estar conmigo a lo largo de este camino, por el apoyo incondicional que me brindas siempre.

A mi colega y buen amigo Carlos Valencia por apoyarme, asesorarme y siempre tener palabras de aliento.

A mis hermanos de generación Ing. Claudia Bolaños, Ing. Leticia Alvarado y el Ing. Roberto Arellano por escucharme, apoyarme y orientarme siempre.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

La autora nació el 07 de septiembre de 1983, en el Distrito Federal, México. Cursó sus estudios de nivel medio superior en la preparatoria Instituto Plancarte, Querétaro, México. Generación 1998-2001. Realizó sus estudios de Licenciatura en el programa de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, CDMX, México. Generación 2009-2013. Desarrollando el tema: “Mejoramiento en el proceso de producción de un producto cosmético y la concentración óptima del principio activo.”. Participó y coordinó la “VI y VII Semana de ingeniería Recreativa”, Desarrolló el contenido de un Curso No Presencial en plataforma Moodle para la asignatura de “Termodinámica 0”, así como la asesoría para alumnos en los Cursos No Presenciales de “Cálculo I, Estructura de los Materiales y Termodinámica 0” en el período de 2011-2013 en la Coordinación Divisional de Desarrollo Académico de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, de la UAM-A. En el año 2016 ingresó al programa de maestría de Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo, enfocándose en la investigación de las aguas grises y su aplicación en cultivos de traspatio.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>		VI
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>		VIII
<b>RESUMEN</b>		XIII
<b>ABSTRACT</b>		XIII
		Página
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>		
1.1	Estado actual de agua y aguas grises en agricultura	1
1.2	Justificación de la investigación	6
1.3	Hipótesis	7
1.4	Objetivo	7
1.5	Organización de la tesis	7
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>		
2.1	Estado actual del agua	8
2.2	Inseguridad alimentaria	10
2.3	Aguas grises	12
2.4	Referencias bibliográficas	29

<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>ARTÍCULO ENVIADO</b>	
3.1	Resumen	32
3.2	Abstract	34
3.3	Introducción	35
3.4	Materiales y Métodos	38
3.4.1	Lugar de estudio	38
3.4.2	Materiales experimentales	38
3.4.3	Pretratamiento de agua gris	40
3.4.4	Diseño experimental	41
3.4.5	Riego	42
3.4.6	Mediciones	44
3.5	Resultados y Discusión	46
3.5.1	Características de los detergentes	46
3.5.2	Calidad de las aguas grises	48
3.5.3	Calidad agronómica de las aguas grises	48
3.5.4	Efecto del riego con aguas grises en un cultivo	50
3.5.5	Riesgo asociado con el consumo de lechuga	54
3.6	Conclusiones	55
3.7	Referencias	56

<b>CAPÍTULO 4. DIFICULTADES Y RECOMENDACIONES</b>		
4.1	Dificultades	60
4.1.1	Riego por goteo	60
4.1.2	Poca radiación	62
4.1.3	Sustrato arcilloso	63
4.1.4	Almacenamiento de aguas grises	64
4.1.5	Temporada de siembra	65
4.1.6	Manejo de plagas	65
4.2	Recomendaciones	66
<b>CAPÍTULO 5. ANEXOS</b>		
5.1	Análisis microbiológico de lechuga	67
5.2	Análisis de contenido de Boro en lechugas	68
5.3	Análisis de contenido de Boro en agua	69
5.4	Análisis estadístico de contenido microbiológico en lechuga	70
5.5	Análisis estadístico de contenido de Boro en lechuga	71
5.6	Análisis estadístico de peso seco en lechuga	72
5.7	Análisis estadístico de peso fresco en lechuga	73
5.8	Carátula de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997	74
5.9	Carátula de Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994	75

5.10	Carátula de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996	76
5.11	Carátula de Norma Oficial Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015	77
5.12	Determinación de pH	78
5.13	Determinación de conductividad eléctrica	81
5.14	Determinación de coliformes totales	84
5.15	Determinación de cloruros	89
5.16	Determinación de sulfatos	93
5.17	Determinación de sodio y potasio	96
5.18	Determinación de alcalinidad	97

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPÍTULO 1.

		Página
Cuadro 1.	Criterios e índices para clasificar el agua	17

### CAPÍTULO 2.

Cuadro 2.	Límites para SE y SP	19
Cuadro 3.	Límites para CSR	20
Cuadro 4.	Límites de B	21
Cuadro 5.	Límites de Cl	21
Cuadro 6.	Clases de agua dependiendo del valor de C.E.	22
Cuadro 7.	Clases de agua dependiendo del valor de R.A.S	23
Cuadro 8.	Calidad del agua dependiendo la clase de salinidad	23
Cuadro 9.	Calidad del agua dependiendo la clase de sodicidad	24

### **CAPÍTULO 3.**

Cuadro 1.	Características del sustrato	38
Cuadro 2.	Características del agua	39
Cuadro 3.	Características de los detergentes	40
Cuadro 4.	Resultados de diversos estudios	47
Cuadro 5.	Índices de calidad agronómica en el agua gris	49
Cuadro 6.	Análisis de riesgo al consumir lechuga	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1.

	Página
Figura 1. Water Scarcity	2

### CAPÍTULO 3.

Figura 1. Pretratamiento	42
Figura 2. Riego a nivel de suelo	43
Figura 3. Norma Riverside, Diagrama para calificar las aguas de riego	49
Figura 4. Lechugas antes de cosecha	50
Figura 5. Peso fresco en g de lechuga, donde la barra indica desviación estándar	51
Figura 6. Peso seco en g de lechuga, , donde la barra indica desviación estándar	51
Figura 7. Contenido de B en hojas de lechuga, , donde la barra indica desviación estándar	52
Figura 8. Conteo microbiológico en hojas de lechuga, donde la barra indica desviación estándar	53

## **CAPÍTULO 4.**

	Página
Figura 1. Riego por goteo	61
Figura 2. Coloide formado	61
Figura 3. Riego a nivel de suelo	62
Figura 4. Crecimiento etiolado	63
Figura 5. Sustrato arcilloso	64
Figura 6. Plaga de hemíptero	65

## RIEGO CON AGUA GRIS DOMÉSTICA PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA (*Lactuca Sativa L.*)

Cynthia Serna Abascal<sup>1</sup> Vicente Ángeles Montiel<sup>2</sup>

### RESUMEN

A medida que la población crece, las necesidades de agua potable aumentan de forma exponencial al igual que la necesidad de alimento; es por esto que se estudian nuevas formas de mitigar esta necesidad apremiante que sufre la población mundial. Por este motivo se desarrolla esta investigación donde se utilizan las aguas grises como alternativa para el riego en un cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa L.*) El estudio se llevó a cabo en un domicilio particular por nueve semanas, en las cuales se evaluaron las distintas características del agua de riego. El cultivo se realizó en 54 bolsas de una mezcla de sustrato donde la mayor parte fue zeolita, se utilizaron dos tratamientos, un testigo de agua potable y agua gris de lavadora que se hizo pasar por un filtro desarenador donde se retiraron partículas grandes, el riego se realizó a nivel de suelo sin tocar la parte comestible del cultivo. En el criterio agronómico y químico el agua gris cumplió con los índices para ser una buena agua de riego, sin embargo, en el criterio microbiológico se obtuvieron resultados elevados de coliformes fecales y coliformes totales, en promedio  $4.7 \times 10^3$  NMP/100 ml y  $2.1 \times 10^3$  NMP/100 ml respectivamente, lo cual puede sugerir un riesgo al utilizarse para el riego de cultivos crudos; a pesar de estos altos niveles los resultados tras analizar el cultivo de lechuga para microorganismos patógenos sólo se encontraron coliformes totales en un nivel bajo, siendo el más alto de 6.67 NMP/g de masa seca, los coliformes fecales (*E.coli*) no se detectaron; estadísticamente no hay diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre aquellas lechugas regadas con agua gris y agua potable; además de darse cumplimiento a los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-199, así que el consumo de este cultivo se considera apto.

**Palabras clave:** agua gris, cultivo hidropónico, salinidad, microorganismos patógenos.

---

Tesis de Maestría en Ingeniería, Programa en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo

<sup>1</sup>Autor de tesis <sup>2</sup> Director de tesis

## IRRIGATION WITH DOMESTIC GREYWATER OF HYDROPONICALLY-GROWN LETTUCE (*Lactuca Sativa L.*)

Cynthia Serna Abascal<sup>1</sup> Vicente Ángeles Montiel<sup>2</sup>

### ABSTRACT

As the population grows, the need for drinking water increases exponentially as does the need for food; this is why new ways to mitigate this pressing worldwide need are being studied. For this reason, domestic greywater was used in this research as an alternative for irrigation in hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa L.*). The study took place at a private home for nine weeks, during which time the different characteristics of the greywater used for irrigation were evaluated. The culture was carried out in 54 bags containing a mixture of substrate where the greater part was zeolite. Two treatments were used: tap water as a control and greywater from a washing machine that passed through a trap filter where large particles were removed. Watering was done at soil level without touching the edible part of the crop. In the agronomic and chemical criterion, the greywater satisfied the standards to be a good irrigation water; however, in the microbiological criterion, high fecal coliform and total coliform results were obtained, averaging  $4.7 \times 10^3$  MPN/100 ml and  $2.1 \times 10^3$  MPN/100 ml respectively, which may suggest a risk when used for irrigating green crops; despite these high levels, the results after analyzing the lettuce crop for pathogenic microorganisms only found total coliforms in a low level, with the highest being 6.67 MPN/g of dry mass. Fecal coliforms (*E.coli*) were not detected; statistically there are no highly significant differences ( $\alpha = 0.01$ ) between those lettuces irrigated with greywater and the ones irrigated with tap water. The former also satisfy the limits established by Official Mexican Standard NOM-093-SSA1-199, so the consumption of this crop is considered acceptable.

**Keywords:** greywater, hydroponics, salinity, pathogenic microorganism.

---

Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

<sup>1</sup>Autor de tesis <sup>2</sup> Director de tesis

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

### **1.1 Estado actual del agua, aguas grises en la agricultura de traspatio y seguridad alimentaria**

Uno de los desafíos a los que nos enfrentamos en la actualidad es la escasez de agua potable, el cual es un insumo de vital importancia en la provisión de alimento, los requerimientos personales y domésticos, así como en la producción de la energía y la industria. A medida que la población crece, aumentan las necesidades de este recurso finito e invaluable. En la actualidad, se estima que hay 3.600 millones de personas (casi la mitad de la población mundial) que viven en áreas con riesgo de sufrir escasez de agua al menos un mes al año, y esta población podría llegar a alcanzar entre 4.800 y 5.700 millones en 2050 (WWAP 2018) (Figura 1) .Se considera que una zona vive en estrés hídrico cuando el suministro anual decae por debajo de los 1,700 m<sup>3</sup> por persona, si es de menos de 1,000 m<sup>3</sup> se habla de escasez de agua y si hablamos de menos de 500 m<sup>3</sup> será una escasez absoluta; la escasez se define como la suma de impactos que proveen todos los usuarios afectando el suministro o la calidad del agua, llevando a no poder afrontar la demanda de los sectores involucrados incluido el medioambiental (ONU 2014).

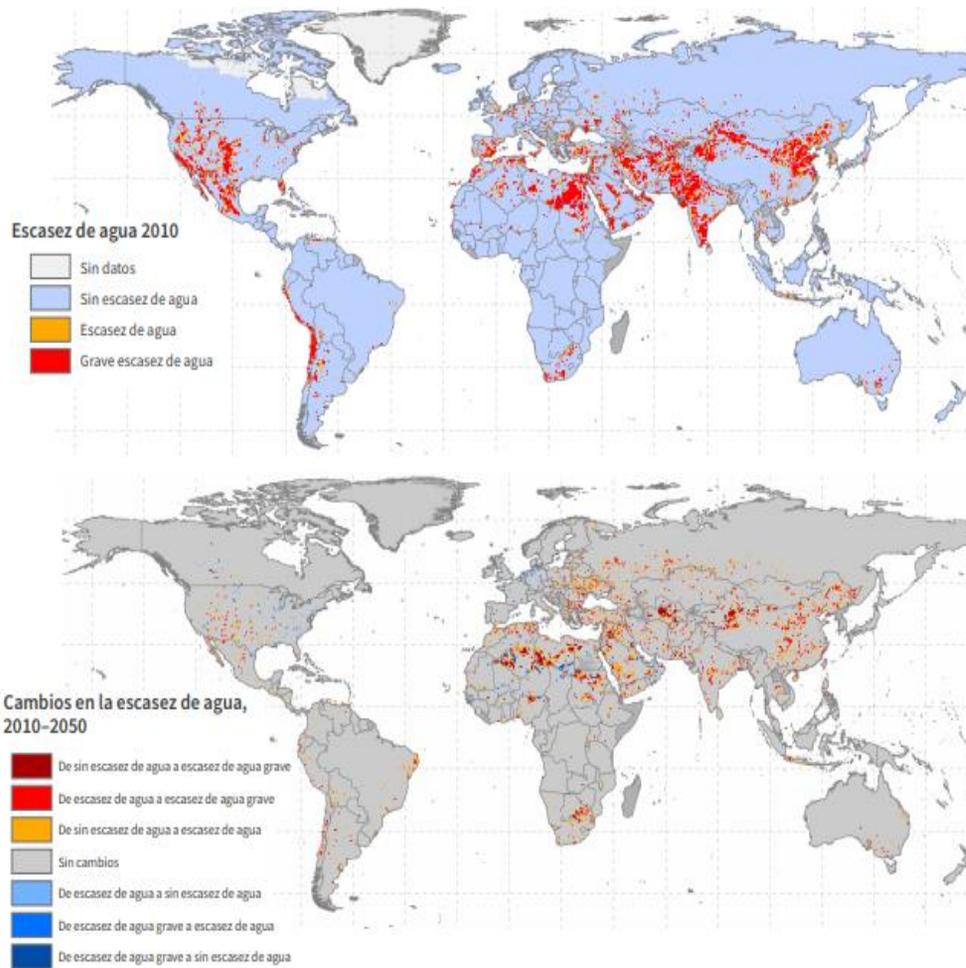


Figura 1. Water scarcity  
 Middle of the Road Scenario  
 for each grid cell (0.5o grid or ~ 50km by 50km).  
 Burek et al. (2016, fig. 4-39, pág.65).

La Agricultura es uno de los sectores más sensibles a la escasez de agua, algunas veces se le considera un “usuario residual”, por ello es importante enfatizar que al final del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70% de toda el agua utilizada en el mundo y se estima que el agua destinada al riego aumentará un 14% para 2030 (FAO 2010), es preciso señalar que es el sector que tiene más posibilidad de ajuste, pero sólo si trabajamos para mejorar el uso integral del agua en la agricultura, seremos capaces de superar los

grandes desafíos a los que se enfrentará la humanidad en los próximos 50 años por causa de la escasez de agua dulce.

Dicho de otra manera, seguir haciendo lo de siempre no es una opción viable. Para poder evitar crisis tanto transitorias como a largo plazo, es necesario hacer cambios reales en la forma en la que se regula y usa el agua. (FAO 2013).

En la Agenda del Agua 2030 se trabaja en megatendencias, como el cambio climático y los impactos en la producción de alimentos y los ecosistemas. En cuanto a la reducción de la demanda del sector agrícola, algunas de las propuestas claves son: el uso eficiente e integral del agua, la planeación y la normatividad del uso, la capacitación y la educación en los distintos niveles, así como su resiliencia, aportando con esto a las problemáticas propuestas. Las acciones deben ser individuales o por grupos con acciones enfocadas en el agua y la adaptación al cambio climático.

Hoy en día debemos dejar simplemente de usar y desechar el agua al drenaje; se deben recolectar y explotar las aguas residuales, es claro que debe de existir una adecuada gestión, así como mitigar los riesgos ambientales e infecciosos del uso de estas.

Las aguas grises se definen como aquel efluente que proviene del lavado de manos, duchas, lavado de ropa, lavadoras y en algunos casos se considera el agua que proviene de la tarja de las cocinas; siempre se excluye los urinarios e inodoros, el principal componente de las aguas grises son los detergentes y los productos de limpieza (Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R & Judd, S. 2004). La idea de la reutilización de las aguas grises otorga la posibilidad de retornar al proceso productivo, en particular en la producción agrícola a nivel doméstico, la cual debe de estar acondicionada apropiadamente para su uso.

Este hecho tiene un efecto benéfico desde el punto de vista del consumo de agua potable. Al reusar el agua gris, las necesidades de entrada al proceso disminuyen y, por lo tanto, también la cantidad descargada. Derivándose una cadena de ahorros: primero, por consumir menos agua del servicio municipal;

segundo, disminuir la descarga de aguas grises al drenaje municipal; tercero, al tener menos aguas servidas al drenaje se acortan los gastos energéticos y económicos que son necesarios para su transportación y tratamiento.

El uso de estas aguas se ha intensificado debido al volumen vasto que se genera, aproximadamente un hogar típico produce de 200 a 300 litros por día; otra razón es que se encuentran menos contaminadas que las aguas negras y con un tratamiento simple, pueden utilizarse donde los requerimientos de la calidad sean menores; aunque de acuerdo con Jefferson et.al 2004 la calidad de estas aguas depende de cada sitio, es más específica y difícil de predeterminar o controlar, excepto por el uso de algunos productos domésticos recomendados cuando se usan aguas grises. Sin embargo, es vital que se estudie y se evalúe a fondo la reutilización de estas aguas, su contenido y los posibles riesgos a la salud y al medio ambiente; Finley S., Barrington S., & Lyew D. (2009) reportan que en las aguas grises no hay presencia de metales pesados, pero tanto los coliformes fecales como los estreptococos fecales estuvieron presentes en niveles altos, con un promedio de  $4 \times 10^5$  /100 ml y 2,000 / 100 ml.

En paralelo a la escasez de agua, se presenta la inseguridad alimentaria; la cual se establece cuando las personas no cuentan en todo momento con el acceso físico, social y económico a suficientes alimentos, los cuales además deben ser: inocuos, nutritivos y cubrir sus necesidades energéticas (FAO 2011). Una de las opciones que se propone hoy en día para mitigar la inseguridad alimentaria, es la implementación de la agricultura de traspatio, periurbana o familiar, con la finalidad de favorecer la economía a nivel familiar y local donde sea implementada. En este sentido se ha desarrollado intensamente en las últimas décadas el uso de la hidroponía. La hidroponía es un método que se basa en sustituir el suelo por sustratos (aunque no es necesario que estén presentes), algunas de sus ventajas son: aprovechamiento

de espacios, es un sistema limpio, ahorro en agua y en nutrientes que se utilizan, reduce costos de producción, no depende de los fenómenos meteorológicos, se puede cultivar en ciudades o en lugares donde la agricultura normal es complicada y así contribuye de manera significativa a la conservación de los recursos naturales.

La siguiente investigación tiene como propósito aportar una alternativa de uso de aguas grises de lavadora en la agricultura de traspatio en el riego de un cultivo de consumo directo, que se espera sean inocuos, bajo la técnica hidropónica de sustrato, reusando el 70% de agua producida por la lavadora en el riego de cultivo. Para esto se construyó un sistema de pretratamiento y de almacenamiento que permita tener la disponibilidad diaria de las aguas necesarias para el regado del cultivo.

## **1.2 Justificación de la investigación**

En la actualidad estamos viviendo una disminución de los recursos hídricos que resulta alarmante, el crecimiento exponencial de la población y sus requerimientos han llevado a una sobreexplotación de los acuíferos. Dado que la agricultura consume aproximadamente el 70% del agua utilizada en total, resulta primordial que se investiguen alternativas para cubrir esta demanda. En paralelo a la escasez de agua se encuentra la inseguridad alimentaria, aproximadamente más de 815 millones de personas padecen hambre y se prevé que esta cifra aumente en un 50 % para el 2050.

El reúso de las aguas grises domésticas, en específico el efluente de la lavadora para el riego de alimentos en la agricultura de traspatio; es una alternativa que alivia la sobreutilización de los recursos hídricos, reduce las

aguas servidas al drenaje y fortalece la economía familiar; contribuyendo a la seguridad alimentaria.

El uso de lechuga (*Lactuca Sativa L.*) es adecuado por diversos factores, entre los que se encuentran, un rápido crecimiento, alcanza su madurez en 45 días, su sensibilidad a la salinidad y por ser una hortaliza de consumo fresco; su cultivo en agricultura de traspatio es común, se implementa en un sistema de hidroponía en técnica de sustrato, debido a que su manejo es relativamente sencillo.

### **1.3 Hipótesis**

A través de la aplicación de un sistema de aprovechamiento de aguas grises domésticas provenientes de lavadora; se obtienen cultivos hidropónicos inocuos, se realiza un uso eficiente del agua en la agricultura de traspatio, pudiéndose escalar a las dimensiones requeridas.

### **1.4 Objetivo**

Contribuir al uso integral del agua; utilizando agua gris doméstica para riego, aplicando criterios: químico, microbiológico y agronómicos; caracterizando química y microbiológicamente un cultivo, esto para evaluar el impacto del uso de este tipo de aguas en la producción de alimentos a bajo costo.

## **1.5 Organización de la tesis**

Esta tesis está organizada en cinco capítulos, incluyendo el presente; en el capítulo dos se presenta la revisión de literatura, en el capítulo tres la investigación realizada en forma de artículo científico, conservando la estructura del escrito enviado a una revista arbitrada; en el capítulo cuatro algunas dificultades que se presentaron en la investigación así como recomendaciones para futuros trabajos y en el capítulo final se presentan anexos.

## CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Estado actual del agua

El agua es el recurso más valioso e irremplazable en este planeta, sin este no existiría la vida; el agua no solo es esencial en las necesidades humanas básicas, juega un papel crítico en los sectores económicos claves, estos van desde la agricultura, el procesamiento de alimentos, la producción de petróleo, gas y electricidad. El agua alimenta la economía y cuanto más crece la economía, mayor es la demanda de agua.

La preocupación actual en la escasez de agua recae en el hecho de que se proyecta un crecimiento en la población de aproximadamente 9,500 millones de personas para el año 2050; este crecimiento aumenta la demanda de agua, para la agricultura será del orden de 5,200 kilómetros cúbicos anuales adicionales, sólo para satisfacer la necesidad de producción de alimentos. Con este crecimiento en la demanda agrícola se ejercerá una enorme presión sobre los suministros de agua existentes, dejando poco apoyo para el funcionamiento natural de los ecosistemas y otros servicios esenciales.

Más de 2.000 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más del doble no cuentan con acceso a servicios de saneamiento seguro. Debido al rápido crecimiento de la población mundial, se prevé que la demanda de agua aumente en casi un tercio para el año 2050, se calcula que la población mundial aumente de los 7.700 millones registrados en el 2017 a entre 9.400 y 10.200 millones para el año 2050 (WWAP 2018). La demanda mundial de agua contemporánea se ha estimado en alrededor de 4.600 Km<sup>3</sup>/año y se prevé que aumente entre un 20% y un 30%, es decir, entre 5.500 y 6.000 Km<sup>3</sup>/año para el 2050 han pronosticado que “por primera vez en la historia mundial”, el incremento absoluto de la demanda de agua no agrícola excederá el

incremento de la demanda agrícola, lo que provocará una caída de la participación de la agricultura en el consumo total de agua en los países en desarrollo del 86% en 1995 al 76% en 2025.(WWAP 2018)

La cantidad de agua disponible para una nación determinará su capacidad industrial y la calidad de vida que disfruten los ciudadanos. Las naciones prósperas serán las que cuenten con suficiente agua para la producción de alimentos, ciudades e industria y además garanticen que cada uno de ellos obtenga la cantidad de agua que requieren (Solomon, 2010).

El agua debe estar en la agenda política global no solo para satisfacer las necesidades alimenticias, sino también para abordar el desafío crítico de que el desarrollo se haga de forma segura y sostenible sin comprometer los recursos hídricos, los cuales son la base en la seguridad alimentaria y energética, así como en el desarrollo social y económico a largo plazo. El desafío de la seguridad hídrica no debe abordarse solo como un ejercicio de resolución de problemas: se debe redefinir y reestructurar la relación de la humanidad y el agua, esto exige que la sociedad viva en armonía con el ciclo natural del agua (The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue, 2012).

Conforme la escasez de agua comience a restringir la producción agrícola, no sólo se afectará el volumen de alimentos y ganado, sino que las comunidades que dependen de estas actividades económicas también enfrentarán nuevos retos y serias dificultades, este problema se hace extensivo a los consumidores finales que en su mayoría viven en ciudades y requieren alimentos a costos accesibles.

Es así como el mundo se enfrenta al reto del desarrollo de garantizar que se satisfaga la producción de alimentos mientras que los recursos hídricos y el medio ambiente se utilizan de manera más sostenible, sin un costo para el bienestar económico y social del gran número de pobres rurales empleados en

la agricultura, y del hecho con el objetivo de mejorando su bienestar (The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue, 2012).

## **2.2 Inseguridad alimentaria**

En paralelo a la escasez del agua debemos de considerar la inseguridad alimentaria. La FAO considera que existe seguridad alimentaria cuando las personas en todo momento tienen acceso físico, social y económico a alimentos que sean: suficientes, inocuos y nutritivos, los cuales satisfagan sus necesidades energéticas diarias y les permitan llevar una vida activa y sana. Se debe saber que el crecimiento económico por sí solo no solucionará el problema de la seguridad alimentaria, debe de combinarse el aumento de ingresos en las inversiones de salud, agua y educación. Es así como la inseguridad alimentaria se presenta cuando no se cuenta con acceso físico, social o económico suficiente a los alimentos (FAO 2011).

A su vez, Díaz C., Sánchez L. & Díaz B. (2016) mencionan dos posturas en torno a la inseguridad alimentaria. En la primera se centra a la disponibilidad de alimentos, a la oferta y se toma como la variable más importante para explicar la inseguridad alimentaria. La segunda se refiere al ingreso como la variable sustancial para explicarla. Al igual clasifican a los hogares en tres categorías de seguridad alimentaria, la inseguridad alimentaria leve, en la que la preocupación es el acceso a los alimentos y se sacrifica la calidad de ellos. Cuando se habla de inseguridad alimentaria moderada, se sacrifica no solo la calidad, además se restringen la cantidad de alimentos consumidos. Al hablar de inseguridad alimentaria severa, además de las percepciones anteriores, hay experiencias de hambre en adultos y niños.

El Banco Mundial (2005) sugiere que los problemas de pobreza e inseguridad alimentaria deben de considerarse prioritarios, por lo cual plantea una serie de recomendaciones para su combate, entre las que se encuentran: i) acceso

universal a la educación, ii) ampliar las redes de protección social, iii) equidad de género, iv) creación de nuevas fuentes de empleo, v) aumento de los problemas de nutrición y vi) inversión en el sector agrícola (Díaz C., et al., 2016).

Es preciso mencionar que alimentar de forma adecuada a la población mundial no es solamente el producir alimentos, si no producir alimentos de calidad los cuales contribuyan a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.

### **2.3 Aguas grises**

Bajo el contexto de la escasez de agua y la inseguridad alimentaria se plantean diversas alternativas, algunas de ellas son el uso de aguas residuales o aguas salinas en la producción de alimentos.

El agua gris es aquel efluente que surge de las operaciones domésticas de lavado, entre las que se encuentran el agua de lavamanos, lavadoras y en algunas ocasiones se considera los fregaderos de cocina; específicamente se excluyen las aguas negras del inodoro, bidé o urinario (Jefferson B., Laine A., Parsons S., Stephenson T., Judd S., 1999). Las aguas grises resultan atractivas para su reutilización debido a que se genera un gran volumen y su contaminación es baja, por el contrario de las aguas negras que su generación es relativamente baja y se encuentran altamente contaminadas; los usos que se le dan a las aguas grises son para el riego en jardines y para la descarga de los inodoros (Neal J., 1996).

Sawadogo B., Sou M., Hijikata N., Sangare D., Maiga A. & Funamizu N. (2014). Mencionan que en general, las aguas grises son el resultado del uso de detergentes, aceites vegetales, jabones, agua y otros residuos de cocina y lavado. En su mayoría contienen niveles elevados de compuestos entre los que se encuentran los surfactantes, boro, aceite y sal; así como sólidos en suspensión, nutrientes, materia orgánica y patógenos

Una clasificación adicional de las aguas grises es aquella en la que el efluente que proviene de los lavamanos, duchas, bañeras y las fuentes de las lavadoras de ropa se les denomina aguas grises claras (Friedler y Hadari 2006). Y aquellas que incluyen más desechos contaminados de instalaciones de lavandería, lavaplatos y, en algunos casos, fregaderos de cocina, se les denomina aguas grises oscuras (Birks and Hills 2007).

Como se mencionó con anterioridad el volumen de las aguas grises es alto aproximadamente 200 a 300 litros (0.2 a 0.3 m<sup>3</sup>) por día en un hogar típico. El flujo de las aguas grises es alrededor del 65% del total de aguas residuales que se genera y dentro de estas el 50% son aguas grises claras (Ghaitidak D. & Yadav K., 2013).

Radin M., Mohd H., Anda M. & Dallas S. (2013) Mencionan que la calidad de las aguas grises depende de cada sitio de estudio, de la cantidad de ocupantes, la edad y sus hábitos y por eso es difícil predeterminar o controlar sus características, ya que estas se deben a diversos factores entre los que se encuentran: la calidad de agua potable del lugar y los productos domésticos que se utilizan; una alternativa es restringir la aplicación de algunos productos de limpieza específicos cuando se quieren utilizar las aguas grises.

Shamadabi N., Bakhtiari H., Kochakian N. & Farahani M. (2015) Hacen mención de algunos lugares donde se instalan de forma habitual sistemas de reutilización de aguas grises entre los que se encuentran: Alemania, en Australia se ofrecen subsidios para su instalación, Tokio hace obligatorio el reciclaje de aguas grises, esto cuando los edificios cuentan con un área superior a los 30,000 m<sup>2</sup> o una demanda potencial de más de 100 m<sup>3</sup>/ día y Chipre al igual ofrece un subsidio para el uso de aguas grises en el lavado de inodoros y el riego de jardines.

Se encontró que las aguas grises son deficientes en metales traza como los son: hierro, manganeso, cobre, aluminio, zinc y no se encontró cobalto y molibdeno Jefferson B., Palmer A., Jeffrey P., Stuetz R. & Judd S. 2004

Jefferson B., et al. (2004) Mencionan que las principales características del agua gris se pueden enumerar como sigue:

1. Concentración orgánica variable, que va desde el equivalente a un efluente municipal de mediana intensidad.
2. Al índice de DQO y DBO.
3. Desequilibrio de macro y micronutrientes.
4. Baja relación de sólidos suspendidos en turbidez, las partículas tienen un tamaño aproximado de 10 – 100  $\mu\text{m}$ .
5. Concentración de 3 log de coliformes totales y algunos otros organismos patógenos conocidos.

Algunas de las sales presentes en las aguas grises pueden ser beneficiosas para las plantas, particularmente los nutrientes, aunque se requiere una concentración equilibrada de nutrientes para evitar la deficiencia o la toxicidad en las plantas (Misra R., Patel J. & Baxi V., 2009)

Deben de considerarse para la calidad de agua de riego dos criterios: la calidad química y la calidad agronómica. La calidad química se puede definir como la cantidad de sales y las proporciones de iones que se encuentran en solución, algunos de los iones que comúnmente se solubilizan son:  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , la forma de caracterizar es realizando las mediciones de pH, CE , la cantidad de boro, así como los iones presentes, para esto es necesario tomara una muestra; la forma de muestrear depende la naturaleza de efluente del agua, cabe destacar que este criterio no puede ser definitivo para decidir el uso del agua para riego (Aceves 2011).

La calidad agronómica del agua está dada por diversos factores entre los que se encuentran: la interacción, la cantidad y el tipo de sales que se encuentran en solución, el cultivo a regar, el suelo por regar, las condiciones climatológicas, el método de riego, las condiciones de drenaje, las prácticas de manejo del agua, suelo y planta. No debe de clasificarse el agua de riego con base en solo uno de estos factores, esto puede llevar a evaluaciones incorrectas.

La calidad Química es la cantidad y tipo de sales en solución. Como una primera aproximación puede tomarse estas variables como parte de la decisión de usar el agua para riego, aunque no debe ser el factor definitivo:

1. Cultivos por regar. Es uno de los factores más importantes a considerar, se debe evaluar la tolerancia al ensalitramiento de los cultivos a regar, esto es la concentración de sales, sodio o elementos tóxicos en la solución, lo cual puede disminuir los rendimientos de cosecha.
2. Suelos por regar. El comportamiento de los suelos depende las condiciones iniciales, así como del contenido y tipo de sales contenidas en el agua. Para esto es importante saber si es un suelo arenoso o arcilloso.
3. Condiciones climatológicas. Los dos factores principales que se consideran son la evaporación y precipitación. La lámina de riego a aplicar depende de la evapotranspiración la cual afecta el régimen de riego. La lluvia uniforme en el ciclo de cultivo puede diluir y así evitar la acumulación de sales en el suelo.
4. Métodos de riego. La forma en que se riega influye de forma determinante en la acumulación de sales en suelo y plantas. Si se cuenta con mala calidad química y/o concentraciones altas de sales disueltas es necesario adecuar el riego.
5. Condiciones de drenaje. Debido a que el agua es el principal vehículo de las sales, es necesario que se cuente con un buen drenaje para que no

se eleve el nivel freático y por capilaridad y evaporación se ensalitre las capas superiores del suelo.

6. Prácticas de manejo. Es vital que se estudien con detenimiento los cinco factores anteriores, así como sus interacciones, con esta información se pueden seleccionar las mejores prácticas de manejo que eviten o disminuyan el ensalitramiento sobre los cultivos.

A continuación se muestra el Cuadro 1, en el cual se enlistan los criterios e índices para clasificar las aguas desde el punto de vista de su calidad química.

Cuadro 1. Criterios e índices para clasificar agua.

<b>Criterios</b>	<b>Índices</b>	<b>Abreviaturas</b>
Contenido de sales solubles	Conductividad Eléctrica	CE
	Salinidad efectiva	SE
Efecto probable del sodio sobre las características físicas	Salinidad potencial	SP
	Relación de adsorción de sodio	RAS
	Carbonato de sodio residual	CSR
Contenido de elementos tóxicos para las plantas	Contenido de Boro	B <sup>3+</sup>
	Contenido de Cloruros	Cl <sup>-</sup>
	Elementos tóxicos	Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , As <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup> y Pb

Conductividad eléctrica (CE). Este índice mide la cantidad de sales disueltas midiendo la resistencia eléctrica; se usa con propósitos de diagnóstico y clasificación. Adicionalmente existen relaciones empíricas como la Presión Osmótica (PO), la cantidad de sales expresado en ppm y el contenido de sales en mili equivalentes por litro (me/lit).

Salinidad Efectiva (SE). Este índice propuesto por Doneen en 1959, se utiliza para restar de la salinidad total, los carbonatos y sulfatos de calcio, la cual se determina con alguna de las siguientes fórmulas:

$$\text{Si } Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-} + SO_4^{2-});$$

entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-} + SO_4^{2-}).$$

$$\text{Si } Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-} + SO_4^{2-}); \text{ pero: } Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-})$$

entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - Ca^{2+}.$$

$$\text{Si } Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-}); \text{ pero: } (Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-})$$

entonces:

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-}).$$

$$\text{Si } (Ca^{2+} + Mg^{2+}) < (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-});$$

entonces

$$SE = \text{Suma de Cationes} - (Ca^{2+} + Mg^{2+}).$$

Todos los iones deben expresarse en me/lit.

Aquí se supone la precipitación total de algunos compuestos, lo cual puede o no puede pasar. Los límites se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Límites para SE y SP

Calidad	Valor
Buena	< 3
Condicionada	3 -15
No recomendada	<15

#### Salinidad Potencial (SP)

Este índice es útil para determinar la cantidad de  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ , que pueden afectar a los cultivos. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$SP = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-}$$

Al igual que en la SE los límites se presentan en el Cuadro 2.

#### Relación de adsorción de sodio (RAS)

Este índice mide la concentración de sodio y su posible efecto. Se calcula de la siguiente manera:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Está relacionada de manera directa con el PSI, así que si crece el valor de RAS lo hará de forma proporcional el PSI.

### Carbonato de sodio residual (CSR)

Propuesto por Eaton en 1950 y se calcula con la siguiente fórmula:

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}); \text{ concentraciones en me/lit.}$$

Mediante la formulación anterior se pueden determinar el carbonato de sodio que quedará en solución después de que se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio.

Los límites se expresan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Límites de CSR

Calidad	Valor
Buena	< 1.25
Condicionada	1.25 – 2.5
No recomendada	> 2.5

### Contenido de Boro

La tolerancia del boro puede variar debido a que el suelo fija el boro por efecto de la materia orgánica y minerales con calcio, a continuación, en el Cuadro 4 se expresan los límites recomendados.

Cuadro 4. Límites de  $B^-$

Calidad	Valor
Buena	< 0.3
Condicionada	0.3 – 2
No recomendada	>2

### Contenido de Cloruros

El ion cloruro es tóxico para los árboles frutales y cítricos, los límites recomendados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Límites de  $Cl^-$

Calidad	Valor
Buena	< 1
Condicionada	1 – 5
No recomendada	> 5

Adicionalmente a esto cuando se habla de aguas residuales hay que considerar otro punto de vista, el microbiológico, el peligro que existe de contaminación por los distintos agentes patógenos, transmisores de enfermedades para animales y humanos.

En el laboratorio de RIVERSIDE U.S. se proponen dos criterios para el uso de agua de riego y el peligro que existe para el suelo ya sea de salinidad, por el parámetro de conductividad eléctrica (C.E.) los cuales se presentan en el Cuadro 6, así como de sodificación en función de R.A.S que se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Clases de agua dependiendo del valor de C.E.

Clase	Peligro de salinización	C.E. (mS/cm 25°C)	Contenido de sales totales (g /L)
C1	Bajo	< 259	< 0.15
C2	Moderado	250 – 750	0.15 - 0.50
C3	Medio	750 – 2250	0.50 - 1.15
C4	Alto	2250 - 4000	1.15 - 2.50
C5	Muy alto	4000 - 6000	2.50 - 3.50
C6	Excesivo	> 6000	> 3.50

Cuadro 7. Clases de agua dependiendo del valor de R.A.S

Clase	Peligrosidad sódica	R.A.S dependiendo la clase de peligro de salinización
S1	Baja	0 - 10 o 0 – 2
S2	Media	10 -18 o 2 – 6
S3	Alta	18 -26 o 6 -10
S4	Muy alta	26 -10

A continuación en el Cuadro 8 se detallan la calidad de aguas de riego dependiendo la conductividad eléctrica:

Cuadro 8. Calidad de agua dependiendo la clase de salinidad

Clase	Salinidad	Cultivos de uso	Tipos de suelo en que puede usarse	Riegos de lavados
C1	Baja	Casi cualquiera	Casi cualquiera	En suelos muy poco permeables
C2	Moderada	Casi cualquiera	Buena permeabilidad	Ocasionalmente
C3	Media	Tolerantes a salinidad	Buena a moderada permeabilidad	Frecuentes
C4	Alta	Tolerantes a salinidad	Buena permeabilidad	Frecuentes
C5	Muy alta, no apta para riego	Muy tolerantes a salinidad	Alta permeabilidad	Muy frecuentes
C6	Extrema, no apta para riego	Muy tolerantes a salinidad	Muy alta permeabilidad	Muy frecuentes

A continuación en el Cuadro 9 se detallan la calidad de aguas y el peligro de sodicidad para el suelo dependiendo la R.A.S:

Cuadro 9. Calidad de agua dependiendo de la clase de sodicidad

Clase	Peligro de sodificación	Tipo de suelo en que puede usarse	Medida correctiva
S1	Bajo	Casi todos	Ninguna
S2	Mediano	Textura gruesa o buena permeabilidad	Si el suelo es de textura fina o mal drenaje puede aplicarse yeso
S3	Alto	Casi ninguno	Mejorarse el drenaje, lixiviar y aplicar yeso
S4	Muy alto, aguas inadecuadas para riego salvo que se cuente con muy baja salinidad	Casi ninguno	Aplicación de calcio proveniente de los carbonatos de calcio o yeso.

Las aguas grises se han utilizado en varios estudios científicos en los cuales hay distintos resultados, entre los que destacan:

Radin M., et al. (2013) Reportan que los valores de la calidad de aguas grises en encuentra dentro del amplio rango reportado por la literatura, sin embargo, los valores de DBO, SST y pH. En lo que se refiere a la salinidad, la SAR y el contenido orgánico del suelo aumenta en función del tiempo y tuvo un impacto negativo en el crecimiento de la planta. Concluyen que el movimiento de nutrientes y el impacto de las aguas grises es difícil de predecir esto debido a la influencia de la dinámica y actividades del suelo.

Shamabadi N., et al. (2015) Proponen dos opciones para el tratamiento de las aguas grises. El primero, la aplicación de un filtro de goteo utilizando medios plásticos; el segundo, la aplicación de un filtro de goteo utilizando agregados de Lika.

Lubbe E., Rodda N. & Sershen (2016). Encontraron que en las plántulas regadas con aguas grises se presentó una disminución en el crecimiento el cual se atribuye a una reducción en la capacidad de recolección de luz (es decir, contenido reducido de clorofila en la hoja) y / o disponibilidad de nutrientes. A la par de esta disminución se da un aumento de CE y de pH del suelo (en comparación con el tratamiento de agua de grifo). Las plántulas más sensibles fueron las de *S. nigrum* que *A. dubius*, esto por una mayor pérdida de agua por transpiración. Se recomienda la lixiviación de sales acumuladas y de surfactantes alternando el uso de agua potable.

Sawadogo B., et al. (2014) Reportan que el uso de agua con altas concentraciones de detergente no es bueno para la aplicación del riego esto al tener un pH muy alcalino y alta conductividad eléctrica, afecta de forma negativa el crecimiento y la salud de las plantas. En particular las lechugas son altamente sensibles al irrigarse con aguas grises; después del riego el suelo tiene un aumento significativo de pH y de la CE, esto a largo plazo puede aumentar la salinidad del suelo y provocar que sea desfavorable para el crecimiento de los cultivos.

Faruqui N. & Al-Jayyousi (2002) Concluyeron que el impacto ambiental del uso de aguas grises para riego fue insignificante; pero, si se aumenta el volumen o se utilizan suelos alcalinos podría ser significativo. Se recomienda que se alterne el uso de agua potable y a utilizar cultivos tolerantes como lo son las aceitunas y los pistachos. En referencia a los impactos negativos a la salud se presentó poca evidencia; en la calidad de suelo y alimentos cultivados se observó un impacto mínimo. La última recomendación es que la población reduzca el uso de detergentes, lejía o jabón.

Misra R., et al, (2010) Reportan que el riego con aguas grises no afectó el

crecimiento de la planta. En algunas ocasiones, la retención de agua en el suelo se redujo al regar con aguas grises o soluciones de surfactante. La biomasa vegetal y el área foliar tuvo mejores resultados cuando se regó con agua gris o soluciones de alta concentración de surfactante. En comparación con las plantas irrigadas con agua de grifo, las plantas irrigadas con aguas grises presentaron un 6%  $B^{+3}$  adicional, pero una cantidad sustancialmente mayor de Na (83%) y Fe (86%).

Al-Hamaiedeh H. & Bino M. (2009) Concluyen que la producción de agua gris fue de 30 L / persona, así como que la calidad de agua gris cumple con la norma jordana para riego de cultivos forrajeros y cultivos arbóreos, pero no cumple el estándar de hortalizas cocidas. En el riego de olivos y hortalizas no se mostró ningún efecto adverso en las propiedades químicas tanto en frutos y hojas. Se recomienda la lixiviación de sales y materia orgánica presente en el suelo con riego de agua potable.

Finley S., et al. (2009). En sus resultados muestra que las aguas grises que se utilizaron contienen niveles muy bajos de  $N^{2+}$ ,  $P^{3+}$  y  $K^{+}$ , y metales pesados; pero en lo referente a bacterias indicadores que sugieren la presencia de organismos patógenos los niveles fueron muy altos, esto representa un riesgo a la salud de las personas que están en contacto con él. Concluyen que, aunque en el agua se encontraron niveles altos de bacterias no está relacionado con la contaminación en cultivos alimenticios al utilizar el riego a nivel del suelo, siempre que no se rocíen o el agua se ponga en contacto con las hojas de la hortaliza.

Pidou M., Avery L., Stephenson T., Jeffrey P., Parsons S., Liu S., Memon F. & Jefferson B. (2008) En su trabajo de investigación probaron distintos métodos para los tratamientos de agua gris, encontrando que las soluciones MIEX® y la coagulación son soluciones de tratamiento adecuadas para fuentes de aguas grises de baja concentración. Pero no encontraron el nivel requerido de tratamiento para niveles de mediana a alta resistencia; las soluciones químicas que puede utilizarse son limitadas debido a la naturaleza recalcitrante de una

proporción en las aguas grises. Lo más adecuado, aunque limitadas son los coagulantes y las resinas de intercambio iónico.

Al-Gheethi A., Radin R., Efaq A. & Amir M. (2007) Reportan que las aguas grises contienen cargas microbianas más bajas que las residuales, pero aun así existe un riesgo potencial para la salud, por eso los procesos efectivos de desinfección deben de ir en camino de desviar las células microbianas en lugar de sólo desactivarlas. Debe de evaluarse la viabilidad de las células microbianas en las aguas grises antes de su reutilización.

Jakson S., Rodda N. & Salukazana L. (2006) Concluyen que en la parte en la que se evalúa el proyecto parece que la reutilización de las aguas grises puede ser beneficiosa tanto nutrimental como económicamente, aunque debe de contemplarse el posible riesgo ambiental. Se examinaron externa como internamente para los microorganismos seleccionados y se detectaron muy pocos E. coli, se continuará trabajando para una mejor identificación de los organismos coliformes detectados.

Laaffat J., Aziz F., Ouazzani N. & Mandi L. (2016). Reportan las mediciones de las características fisicoquímicas y microbiológicas de aguas grises crudas que se produjeron en los lavaderos de una escuela, las cuales se hicieron pasar por un reactor HSSFCW para después usarse en el riego de césped. Las aguas grises mostraron resultados variables en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, pero después de procesarse en el reactor se pudieron regular. El uso de aguas grises muestra un mejor rendimiento en el crecimiento del césped, esto debido a los nutrientes contenidos en las mismas. Con una dosis de 50 mWs/ cm<sup>2</sup> es suficiente para cumplir con los estándares de calidad microbiana.

Pinto U., Maheshwari B. & Greal H. (2009) Encontraron en su investigación que para la remolacha plateada con riego de aguas grises al 100% no se encontraron efectos significativos en la biomasa de la planta, así como para el contenido total de N<sup>2+</sup> y P<sup>3+</sup> en el suelo después de la cosecha de la planta. Se reportó un aumento significativo en el pH y CE en el suelo cuando se regó con

100% de agua gris. Se recomienda alternar el riego con agua potable para reducir los riesgos a la salud asociados con la reutilización de las aguas grises.

## Referencias

- Aceves Navarro E., (2011), El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, Control, Combate y Adaptación) (2ª edición). Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.
- Al Gheethi, A.A., Mohamed, R.M., Efaq, A. N & Amir, H.K. (2016). Reduction of microbial risk associated with greywater utilized for irrigation. *Water & Health*, 14(3), 379–398.
- Al-Hamaiedeh, H. & M. Bino, (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants, *Desalination*: 256 (1-3), 115-119.
- Arana M.O. (2018). Apuntes del curso de “Salinidad”. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo; México.
- Bigas, H. (Ed.), (2012). *The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue*. Papers for the InterAction Council, 2011-2012. Hamilton, Canada: UNU-INWEH, 13-72.
- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). *Ambient Water Quality Guidelines for Boron*. (1981). Disponible en línea: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/wqgs-wqos/approved-wqgs/boron/boron-tech-appnx.pdf> (acceso 23 de Mayo 2018).
- Díaz, C.M., Sánchez, L.M., & Díaz, B.A. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVI (51), 459-483.
- FAO (2011); *La Seguridad Alimentaria: información para la toma de decisiones. Guía práctica*; Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>, (acceso 10 Marzo 2018).
- Faruqui N. & Al-Jayyousi O. (2009) *Greywater Reuse in Urban Agriculture for Poverty Alleviation*, *Water International*, 27:3, 387-394, DOI: 10.1080/02508060208687018

- Finley, S., Barrington, S. & Lyew, D., (2009). Reuse of domestic greywater for irrigation of food crops. *Water Air Soil Pollut.* 199, 235–245.
- Fonseca, J., Fallon, S.D., Sanchez, C. & Nolte, K.D. (2011). *Escherichia coli* survival in lettuce fields following its introduction through different irrigation systems. *Journal of applied microbiology.* 110 (4). DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.04942.x.
- Hurst, Christon J., Ronald L., Jay L., Mills D., Stetzenbach A & D.Linda. (2007) *Manual of Environmental Microbiology* (3<sup>a</sup> edición) 29.7 Summary. American Society of Microbiology (ASM). 365-370.
- Jackson S., Rodda N., & Salukazana L. (2006) Microbiological assessment of food crops irrigated with domestic greywater. *Water SA* 32 (5) 700–704.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R & Judd, S.(2004). Grey water characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50 (2), 157–164.
- Laaffat, J., Aziz, F., Ouazzani, N. & Mandi, Laila. (2017). Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities. *Saudi Journal of Biological Sciences.* DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.01.006.
- Li, F., Wichmann K. & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment.* 407(11), DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.02.004, 3439-3449.
- Lubbe, E., Rodda, N. & Sershen. (2016). Effects of greywater irrigation on germination, growth and photosynthetic characteristics in selected African leafy vegetables. *Journal Home.* 42 (2), DOI: 10.4314/wsa.v42i2.04.
- Misra, R. K. and Patel, Jishiv H. and Baxi, Vijay (2010) Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *Journal of Hydrology*, 386 (1-4). 95-102.

- Mohamed, R.M.S.R., Kassim, A.H.M., Anda, M. et al. (2013). A monitoring of environmental effects from household greywater reuse for garden irrigation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185 (10). DOI: 10.1007/s10661-013-3189-0. 8473–8488.
- Norma Mexicana (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015 Disponible en línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf> (acceso 23 de Mayo 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1997). NOM-001-ECOL-1997. Disponible en línea: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997) (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1997). NOM-003-ECOL-1997. Disponible en línea: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf> (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1995). NOM-110-SSA1-1994. Disponible en línea: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995) (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Pinto, U., Maheshwari, B., & Grewal, H.S. (2010). Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. *Resources, Conservation and Recycling*. 54. 429-435. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.09.007.
- Sawadogo, B., Sou, M., Hijikata, N., Sangaré, D., Maiga, A.H., & Funamizu, N. (2014). Effect of Detergents from Greywater on Irrigated Plants: Case of Okra (*Abelmoschus esculentus*) and Lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Arid Land Studies*. 24-1, 117-120.
- Shamabadia, N., Bakhtiari, H., Kochakianc, N. & Farahan M. (2015). The Investigation and Designing of an Onsite Grey Water Treatment Systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. *Energy Procedia*. 74, DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.7801337-1346.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos/ONU-Agua).(2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.



## CAPÍTULO 3. ARTÍCULO ENVIADO

### RIEGO CON AGUA GRIS DOMÉSTICA PARA UN CULTIVO

### HIDROPÓNICO DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA L.*)<sup>1</sup>

### IRRIGATION WITH DOMESTIC GREYWATER OF A

### HYDROPONICALLY-GROWN LETTUCE (*LACTUCA SATIVA L.*)<sup>1</sup>

#### 3.1 Resumen

A medida que la población crece, las necesidades de agua potable aumentan de forma exponencial al igual que la necesidad de alimento; es por esto que se estudian nuevas formas de mitigar esta necesidad apremiante que sufre la población mundial. Por este motivo se desarrolla esta investigación donde se utilizan las aguas grises como alternativa para el riego en un cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa L.*) El estudio se llevó a cabo en un domicilio particular por nueve semanas, en las cuales se evaluaron las distintas características del agua de riego. El cultivo se realizó en 54 bolsas de una mezcla de sustrato donde la mayor parte fue zeolita, se utilizaron dos tratamientos, un testigo de agua potable y agua gris de lavadora que se hizo pasar por un filtro donde se retiraron partículas grandes, el riego se realizó a nivel de suelo sin tocar la parte comestible del cultivo.

---

<sup>1</sup> Cynthia Serna Abascal; Vicente Ángeles Montiel; Omar E. Arana Muñoz; Teresa M. Hernández Mendoza. Enviado a la revista de Ingeniería Agrícola y Biosistemas.

En el criterio agronómico y químico el agua gris cumplió con los índices para ser una buena agua de riego, sin embargo, en el criterio microbiológico se obtuvieron resultados elevados de coliformes fecales y coliformes totales, en promedio  $4.7 \times 10^3$  NMP/100 ml y  $2.1 \times 10^3$  NMP/100 ml respectivamente, lo cual puede sugerir un riesgo al utilizarse para el riego de cultivos crudos; a pesar de estos altos niveles los resultados tras analizar el cultivo de lechuga para microorganismos patógenos sólo se encontraron coliformes totales en un nivel bajo, siendo el más alto de 6.67 NMP/g de masa seca, los coliformes fecales (E.coli) no se detectaron; estadísticamente no hay diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre aquellas lechugas regadas con agua gris y agua potable; además de darse cumplimiento a los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-199, así que el consumo de este cultivo se considera apto.

**Palabras clave:** agua gris, cultivo hidropónico, salinidad, microorganismos patógenos.

### 3.2 Abstract

As the population grows, the need for drinking water increases exponentially as does the need for food; this is why new ways to mitigate this pressing worldwide need are being studied. For this reason, domestic greywater was used in this research as an alternative for irrigation in hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). The study took place at a private home for nine weeks, during which time the different characteristics of the greywater used for irrigation were evaluated. The culture was carried out in 54 bags containing a mixture of substrate where the greater part was zeolite. Two treatments were used: tap water as a control and greywater from a washing machine that passed through a trap filter where large particles were removed. Watering was done at soil level without touching the edible part of the crop. In the agronomic and chemical criterion, the greywater satisfied the standards to be a good irrigation water; however, in the microbiological criterion, high fecal coliform and total coliform results were obtained, averaging  $4.7 \times 10^3$  MPN/100 ml and  $2.1 \times 10^3$  MPN/100 ml respectively, which may suggest a risk when used for irrigating green crops; despite these high levels, the results after analyzing the lettuce crop for pathogenic microorganisms only found total coliforms in a low level, with the highest being 6.67 MPN/g of dry mass. Fecal coliforms (*E.coli*) were not detected; statistically there are no highly significant differences ( $\alpha = 0.01$ ) between those lettuces irrigated with greywater and the ones irrigated with tap water. The former also satisfy the limits established by Official Mexican Standard NOM-093-SSA1-199, so the consumption of this crop is considered acceptable.

**Key words:** greywater, salinity, hydroponics, pathogenic microorganism

### 3.3 Introducción

Uno de los desafíos a los que nos enfrentamos en la actualidad es la escasez de agua potable, el crecimiento de la demanda agrícola de agua ejercerá una enorme presión sobre los suministros de agua existentes en muchas partes del mundo, dejando muy poco para apoyar el funcionamiento natural de los ecosistemas u otros servicios ecosistémicos esenciales. Se necesitarán 5,200 kilómetros cúbicos anuales adicionales solo para la agricultura en 2050, actualmente la agricultura y la producción de alimentos consume el 70% de los recursos hídricos mundiales (Bigas, H. (2012)). Una de las opciones factibles en este contexto es el uso de agua gris; Al Gheethi, A.A., Mohamed, R.M., Efaq, A.N & Amir, H.K.. (2016) definen el agua gris como aquel efluente que proviene de duchas, lavamanos, lavado de ropa, lavadoras y en algunos casos se considera aquella producto de la cocina, siempre se excluyen las aguas negras de los inodoros y urinarios; los jabones y detergentes son el principal componente de estas aguas. La idea de reutilizar este tipo de aguas surge al contar con un volumen vasto y aunque la calidad es menor que la del agua potable, se encuentra menos contaminada que las aguas negras, por lo cual requiere un menor tratamiento para su uso. En paralelo a la escasez de agua se tiene la inseguridad alimentaria, la cual sufren cientos de millones de familias, se establece que esta existe cuando las personas no tienen acceso físico, social o económico suficiente a los alimentos (FAO (2011)); esta debe explicarse desde varios factores determinantes: insuficiente oferta de alimentos, la cual no logra cubrir la demanda exponencial, crecimiento económico y del empleo formal insuficientes, los niveles de ingreso reducidos, aumentos elevados en los precios de los alimentos, pobreza y salud, entre otros (Díaz, C.M., Sánchez, L.M., & Díaz, B.A. (2016)).

Algunos autores como lo son Al Gheethi, A.A., Mohamed, R.M., Efaq, A.N & Amir, H.K. (2016) exponen que el uso de aguas grises sin un tratamiento adecuado es peligroso para los seres humanos y puede traer consigo un gran impacto ambiental, uno de los principales riesgos a la salud, son las infecciones

bacterianas al consumir cultivos crudos que han sido regados con aguas grises, los principales indicadores que se encuentran son: coliformes, E. coli y enterococos; sin embargo informes sugieren que los riesgos para la salud pública, derivados de la contaminación patógena de los cultivos de alimentos regados con aguas grises son relativamente pequeños (Misra, R. K. and Patel, Jishiv H. and Baxi, Vijay (2010), Finley, S., Barrington, S. & Lyew, D., (2009) ) así que puede inferirse que no es un factor de riesgo, siempre y cuando no se ponga en contacto directo con la parte comestible de las plantas, al ser regadas con rocío o surcos, al afirmarse que los sistemas vasculares son estériles (Fonseca, J., Fallon, S.D., Sanchez, C. & Nolte, K.D.. (2011)). Análisis hechos por Li, F., Wichmann K. & Otterpohl, R. (2009) acerca de las características del agua gris por diferentes categorías también muestran que las aguas grises del baño y la lavandería están menos contaminadas por los microorganismos en comparación con las otras corrientes de aguas grises, así que su uso sugiere un menor riesgo .El impacto ambiental que se genera al regar de manera excesiva con aguas grises se ha estudiado ampliamente (Mohamed, R.M.S.R., Kassim, A.H.M., Anda, M. et al. (2013); Sawadogo, B., Sou, M., Hijikata, N., Sangaré, D., Maiga, A.H., & Funamizu, N. (2014); Shamabadia, N., Bakhtiari, H., Kochakianc, N. & Farahan M. (2015); Lubbe, E., Rodda, N. & Sershen. (2016)), algunos de los resultados importantes son; problemas graves en el suelo, derivados de un aumento significativo en el pH y la Conductividad eléctrica (CE); ocasionado por las sales que entran en el suelo a través del riego. Al concentrarse estas, se aumenta el potencial osmótico del suelo, se altera de forma negativa la estructura y textura, se eleva la salinidad, la SAR y la bioactividad, afectando la absorción de agua a los cultivos, estos factores ocasionan suelos hidrofóbicos y como consecuencia no serán aptos para la actividad agrícola.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar química, microbiológicamente y desde un criterio agronómico, el uso del efluente de agua gris proveniente de una lavadora doméstica, para su aplicación en el riego de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en un sistema hidropónico en técnica de sustrato, con el fin de aportar una solución para mitigar la inseguridad alimentaria y contribuir al uso integral del agua.

### 3.4 Materiales y Métodos

#### 3.4.1 Lugar del estudio

El estudio se llevó a cabo en los meses de febrero a mayo; en la parte más alta de una casa habitación, ubicada en Ejido de Chiconcuac, con coordenadas N 19° 31' 35.159", O 98° 53' 11.191", 2246 msnm, Chiconcuac, Estado de México. Se mantuvo bajo exposición directa al sol, la temperatura media día/noche fue de 28/09°C, el cultivo se cubrió con una lona en presencia de precipitaciones pluviales.

#### 3.4.2 Materiales experimentales

Se utilizaron 54 bolsas de cultivo, las cuales se llenaron cada una con 4l de sustrato de una mezcla de: 45% Zeolita (Clinoptilolita), 35% Perlita, 15% Vermicomposta y 5% Tezontle ; las características del sustrato que se utilizó se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del sustrato

Parámetro	Valor
pH	8
Conductividad eléctrica , CE (mS/cm)	1.9
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	ND
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	488
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	ND
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	514
Ca <sup>2-</sup> (mg/l)	56
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	70.50
Na <sup>+</sup> (mg/l)	145
K <sup>+</sup> (mg/l)	144.3
ND (No Detectado)	

Se utilizaron dos diferentes calidades de agua, agua potable (AP) colectada del grifo sin alteraciones y un efluente de agua gris (AG) que se hizo pasar por un tanque de filtrado. En el efluente de AG sólo se consideró una lavadora, que corresponde a dos adultos y dos niños, el lavado no incluyó pañales, no se hizo uso de suavizante; las características de AP, AG y agua gris después del filtro (AG<sub>1</sub>) se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del agua

Parámetro	Agua Gris (AG)	Agua gris después del filtro (AG <sub>1</sub> )	Agua Potable del grifo Chiconcuac Estado de México
pH	7.3-7.5	7.2-7.3	7.1-7.3
CE (mS/cm)	0.304-0.313	0.290-0.303	0.252-0.278
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	ND	ND	ND
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	165-171	153-159	128-153
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	6.8-10.3	6.7-10.3	10.3-20.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	9.0-9.6	8.6-9.12	5.3-6.24
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	14.4-32	11.4-12.8	14-14.8
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	9.7-11	12.2-12.9	9.8-10.2
Na <sup>+</sup> (mg/l)	28.1-30	21.6-25.3	19.3-21.6
K <sup>+</sup> (mg/l)	9.8-12	11.3-13.3	8.6-10.92
B <sup>-</sup> (mg/l)	0.9	1.0	0.28
CT (NMP/100 ml)	1800-2000	21049-21080	ND
CF (NMP/100 ml)	575-590	46556-46672	ND

ND (No Detectado), C.E (Conductividad Eléctrica), CT (Coliformes Totales), CF (Coliformes Fecales)

Para la elección del detergente a utilizar, se realizó una caracterización de diferentes tipos de detergentes, las características de ellos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3.. Características de los detergentes

Parámetro	Blancatel®	Aurrera®	Roma®	Great Value®	Ariel®
Tipo de detergente	Polvo	Polvo	Polvo	Líquido	Líquido
pH	9.56	10.28	10.1	8.69	7.86
CE (mS/cm)	2.63	2.07	2.78	0.17	0.06
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	937.44	1250	398	1.44	ND
Na <sup>+</sup> (mg/l)	450.11	622.15	633	290	12.88

ND, No Detectado

Debido a sus características se utilizó detergente Ariel líquido concentrado (Procter & Gamble Manufacturas S. De R.L. De C.V., México), las cantidades utilizadas fueron las que el fabricante recomendó.

Como cultivo se seleccionó Lechuga (*Lactuca Sativa L*, variedad *Black Seed Simpson*) por su corto ciclo de vida, su sensibilidad a la salinidad y por ser una hortaliza con contacto cercano al suelo.

### 3.4.3 Pretratamiento de agua gris

Se separó el efluente de AG por cada ciclo de lavado, el 50% se drenó y el otro 50% se hizo pasar por un tanque que funcionó como filtro desarenador (Figura 1), a la salida de este se condujo a un almacenamiento, donde se recirculó permitiendo la aireación, el retiro de espumas y la mezcla de las aguas; el ciclo de recirculación y mezclado fue de veinticuatro horas, ocho horas se mantuvo

en reposo, posterior a esto se recirculó con intervalos de una hora de recirculación por una hora de reposo.

Se utilizaron los ciclos de lavado y enjuague para asegurar la homogeneidad de AG, se realizaron dos lavados de distintos tipos de ropa y se mezclaron, el filtro y el tanque de almacenamiento se drenó y se enjuagó cada tercer día por la alta degradación de este tipo de aguas.

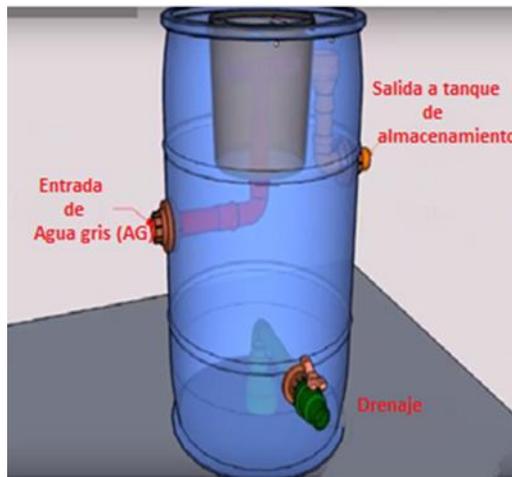


Figura 1. Pretratamiento

#### 3.4.4 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental contenía nueve lechugas, las cuales se acomodaron en forma aleatoria con 20 cm de distancia entre ellas, sobre bancales de madera, se aplicaron dos tratamientos: T1 (riego con AP) y T2 (riego con AG<sub>1</sub>).

Durante el experimento, se tomaron muestras de AP, AG y AG<sub>1</sub> semanalmente y se caracterizaron para cationes, aniones, pH, CE, boro y organismos indicadores (coliformes fecales y coliformes totales).

Cuando las lechugas llegaron a su etapa de madurez se cosecharon en seis lotes sucesivos, las muestras de 100 g se tomaron de forma aséptica y se analizaron de inmediato para organismos indicadores (coliformes fecales y coliformes totales), del mismo modo se tomaron 50 g para analizar presencia de Boro.

#### 3.4.5 Riego

Después del trasplante, se permitió que el cultivo se aclimatara, por lo que se continuó con el riego por un periodo de siete días con una solución de AP y Ultrasol® Desarrollo (1g por cada litro), este riego era el que ya se le estaba aplicando a las plántulas, con esto se pretende minimizar el estrés en ellas, esto debido al trasplante, al cambio brusco de temperatura así como por el cambio de agua utilizada para el riego (Navarro, G.M. (2014), Vázquez Y. J., Peña V. C., Trejo C., Villegas B.A., Benedicto V. S. & Sánchez G. P. (2015)).

Posterior a esto y por un tiempo de treinta y cinco días se prepararon dos soluciones de riego, en ambos casos se disolvió 1 g de Ultrasol® Crecimiento o Producción por cada litro de AP y AG<sub>1</sub>, el tipo de solución nutritiva se fue cambiando conforme los requerimientos de la planta, al encontrarse en fase de roseta, se utilizó solución de crecimiento ya que es donde se presenta una alta demanda de Nitrógeno y así se propicia una mayor producción de biomasa verde de la hortaliza y se da un adecuado reservorio de nutrientes., Y en la

etapa de formación de cabeza se utiliza producción que da mayor aporte de Potasio para el aumento de tamaño y mejora de color en la hortaliza antes de su cosecha.

Los últimos siete días antes de la cosecha se regaron con una solución de Ultrasol® Producción 1g por cada litro de AP.

En todos los casos las soluciones se prepararon antes del riego, para mantener la repetibilidad y la consistencia; el riego se realizó de forma manual a nivel de suelo, al centro de la bolsa de cultivo, lentamente cuidando que no se tuviera contacto con las hojas de la hortaliza (Figura 2).

Las plantas se regaron dos veces al día a la misma hora, todos los días de la semana, la cantidad de agua por riego varió con el tiempo y la etapa fenológica del cultivo así como las necesidades de esta, el volumen se mantuvo en un intervalo de 200 a 310 ml por evento, esta cantidad se aplicó conforme a las recomendaciones bibliográficas Finley (2008) posterior a esto se utilizó un tensiómetro para medir la humedad en el suelo, buscando conservar un valor de 60 a 80%, variando con esto el volumen utilizado para el riego.



Figura 2. Riego a nivel de suelo

### 3.4.6 Mediciones

El pH se determinó con el medidor Corning Pinnacle 540 ph meter® y la conductividad eléctrica con Corning Pinnacle Conductivity Meter Model 541®, estas mediciones se realizaron en las distintas muestras de agua, con electrodos de los aparatos ya antes mencionados los cuales se calibraron de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Las determinaciones analíticas de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  se hizo una determinación volumétrica; para  $\text{SO}_4^{2-}$  se utilizó el espectrofotómetro Hach DR/4000U 4000U® y se calibró de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Para la determinación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se realizó por fotometría de llama utilizando un flamómetro Sherwood Corning 410 Flame Photometer® el cual se calibró de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

En lo referente a los análisis de Boro (B) presente en el agua, se llevó a cabo por medio de fotolorimetría con Azometina-H. La muestra de lechuga se digesto con mezcla diacida y se determinó con fotolorimetría con Azometina-H.

Para determinar el peso fresco de las lechugas, se procedió a transpórtalas al laboratorio, cosechar, cortando raíces y pesar de inmediato en una balanza Ohaus® SP601 AM; posterior a esto se dispusieron en bolsas de papel con orificios que permitían la difusión del calor y se llevaron a una estufa por  $72 \pm 2$  h; después de que transcurrió este tiempo se sacaron de la estufa y se dejaron llegar a temperatura ambiente para proceder a pesarse.

Para coliformes totales y coliformes fecales, la determinación analítica para las muestras de agua se realizó de acuerdo con la metodología y medios de cultivo indicados en la NMX-AA-042-SCFI-2015 relativa al "Análisis de agua", con los medios de cultivo: Caldo lactosa, Caldo lactosa bilis verde brillante y Caldo EC con tiempo de incubación de 24 y 48 h a 35-37° C y 44±0.5° C para las pruebas presuntiva y confirmativa, respectivamente. Para el cálculo del NMP se utilizó la fórmula contenida en la página 15, la cual indica que debe ser empleada cuando la combinación de resultados obtenidos no se encuentre en tablas. Y para su interpretación, las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-ECOL-1997 y NOM-003-ECOL-1997. Es importante mencionar que el grupo de microorganismos coliformes (totales, fecales y E. coli) continúan siendo el indicador de elección que manifiesta contaminación fecal reciente o condiciones higiénicas inadecuadas.

Para el cultivo de lechuga Se prepararon diluciones de las muestras de acuerdo con las especificaciones de la NOM-110-SSA1-1994, relativa a la preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. La determinación analítica para las muestras de lechuga se realizó de acuerdo con la metodología y medios de cultivo indicados en la NOM-112-SSA1-1994, relativa a la determinación de bacterias coliformes. técnica del número más probable, con los medios de cultivo: Caldo lactosa y Caldo EC con tiempo de incubación de 24 y 48 h a 35-37° C y 44±0.5° C para las pruebas presuntiva y confirmativa, respectivamente. Para el cálculo del NMP se utilizaron las tablas de los lineamientos establecidos en la antes citada norma y para su interpretación, la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. Es importante mencionar que el grupo de microorganismos coliformes (totales, fecales y E. coli) continúan siendo el indicador de elección que manifiesta contaminación fecal reciente o condiciones higiénicas inadecuadas.

Las poblaciones de bacterias indicadoras en la superficie del cultivo se compararon mediante un ANOVA, de un solo factor, el factor único fue para determinar el efecto del agua de riego; esto se realizó en el programa estadístico XLSTAT®2018.

### **3.5 Resultados y Discusión**

#### **3.5.1 Características de los detergentes**

Como se observa en el Cuadro 3, el detergente Ariel líquido concentrado®, mostró las características adecuadas para su uso en este experimento, debido a su baja C.E, así como la poca presencia de  $\text{Na}^+$  y la ausencia de  $\text{SO}_4^{2-}$  en el, por lo tanto la aportación de sales será baja, lo cual no tiene afectaciones adversas a la planta por la tolerancia de sales al cultivo, lo que permite el desarrollo sin afectar su división celular, la plasticidad de sus paredes celulares y su rendimiento (Aceves 2011).

#### **3.5.2 Calidad de las aguas grises**

En el Cuadro 4 se presenta un comparativo entre las aguas grises del estudio y los de otras investigaciones relativas a aguas grises, se observa que el parámetro de pH hay diferencias significativas con Sawadogo et al. (2014), mientras que con Finley et al. (2008) se mantienen valores parecidos. En el parámetro de C.E. los análisis de Sawadogo et al. (2014) sus valores oscilan con diferencias significativas, mientras los valores encontrados en el presente estudio se mantienen estables, con esas oscilaciones se evidencia que la cantidad de sales en su valor más alto es muy elevada, lo que puede traer dificultades al momento del crecimiento del cultivo. En los valores de indicadores de SAR, con la investigación de Finley et al (2008), no se presentan

diferencias significativas ya que aún están en una relación baja de acuerdo a las Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). En los valores reportados de CF y CFT no se puede realizar un comparativo debido a que se encuentran en diferentes unidades, las cuales no presentan algún factor de conversión para su homologación. En lo que se refiere a los demás valores, en el estudio de Finley et al (2008) y la investigación que se realizó se mantienen valores similares.

Cuadro 4. Resultados de diversos estudios

Parámetro	Agua gris experimental <sup>a</sup> México Lavadora	Finley et al. (2008) Canada Ducha y lavadora	Sawadago et al. (2014) Japón Concentración baja (0.1 g de detergente) Concentración alta (5 g de detergente)
pH	7.2-7.5	6.7-7.9	9.1-10.2
C.E (mS/cm)	0.304-0.313	NM	0.159-4.870
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	ND	NM	NM
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	165-171	NM	NM
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	6.8-10.3	NM	NM
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	9.0-9.12	NM	NM
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	14.4-32	28-44	NM
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	9.7-12.9	8.0-10.1	NM
Na <sup>+</sup> (mg/l)	28-30	18-27	NM
K <sup>+</sup> (mg/l)	9.8-13.3	0.6-4.4	NM
B <sup>-</sup> (mg/l)	1.0	NM	NM
SAR	1.01-1.46	4.2-5.8	NM
CT	1.8X10 <sup>3</sup> -2.1X10 <sup>3</sup> *	NM	NM
CF	575-46672*	2.2X10 <sup>4</sup> -1.4X10 <sup>6</sup> **	NM

C.E(Conductividad Eléctrica), CT (Coliformes Totales), CF (Coliformes Fecales), ND (No Detectado), NM (No Medido), \*(NMP/100 ml), \*\*(UFC/100 ml), <sup>a</sup>mezcla de aguas grises antes y después de filtro

Los niveles de C.E., SAR,  $\text{Na}^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  y que se encontraron fueron bajos lo cual se atribuye al tipo de detergente que se utilizó, ya que al observar el agua potable se mantiene sin diferencias significativas. En cuanto a la cantidad de CFT y CF se observa que después del filtro, se elevaron exponencialmente debido al almacenamiento, que aunque se dé por un día aumenta el crecimiento de bacterias en el agua gris y al no detectarse estos en el agua potable, se presume que la contaminación se dio por la ropa que se lavó, lo cual se incrementan al contarse con niños pequeños (Finley et al., 2008), es por esto que para este uso debe de regarse con aguas grises frescas para minimizar los niveles de contaminación del agua. Al hablarse de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  la concentración que se encontró se pueden asociar al agua potable a la acumulación de estos, en tuberías y accesorios en la casa y en el traslado del pozo de distribución.

### 3.5.3 Calidad agronómica de las aguas grises

Los parámetros de la calidad agronómica del agua gris para su uso en riego, se muestran en el Cuadro 5, los resultados de los parámetros de SP, CSR, SE,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{B}^-$  muestran que la calidad de uso para riego es buena, esto de acuerdo con lo establecido por Aceves (2011). En referencia a la RAS, se muestra en la Figura 3 que de acuerdo a las Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), el lugar que ocupa nuestra agua de riego por los parámetros de C.E. lo colocan en un nivel C2, el cual se considera en el límite inferior de ser media y en RAS como S1 siendo baja, en conjunto se demuestra que es una calidad buena para el uso en el riego de cultivos aun cuando presenten cierta sensibilidad a la salinidad. El parámetro de B, si puede causarnos algunas dificultades en cultivos sensibles a este, ya que se encuentra en un nivel de Condicionada, lo cual indica que algunos cultivos pueden llegar a presentar intoxicación por el mismo, la lechuga se considera un cultivo semitolerante con límites de 2 - 4 mg/L (BRITISH

COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES) por lo que no existieron problemas de toxicidad en el mismo. Es importante mencionar que, si se tienen suelos arcillosos y se presenta una baja permeabilidad, por lo tanto, un mal drenaje, se tendrán encharcamientos en el suelo o sustrato y esto generará la acumulación de sales, así como la proliferación de bacterias, lo cual debe tomarse en cuenta si se tiene riego de aguas residuales (grises o negras), también es importante considerar la forma de riego y las condiciones meteorológicas bajo las que se encuentre el cultivo.

Cuadro 5. Índices de calidad agronómica del agua gris

Parámetro	AG	AG1	Calidad del agua
C.E	0.304-0.313	0.290-0.303	C2
RAS	1.35-1.45	1.01-1.15	S1
SP	0.28-0.38	0.29-0.38	Buena
CSR	1.1-1.12	0.86-0.94	Buena
SE	1.46-1.58	1.27-1.39	Buena
Cl <sup>-</sup>	0.19-0.28	0.19-0.29	Buena
B <sup>-</sup>	0.9	1.0	Condicionada

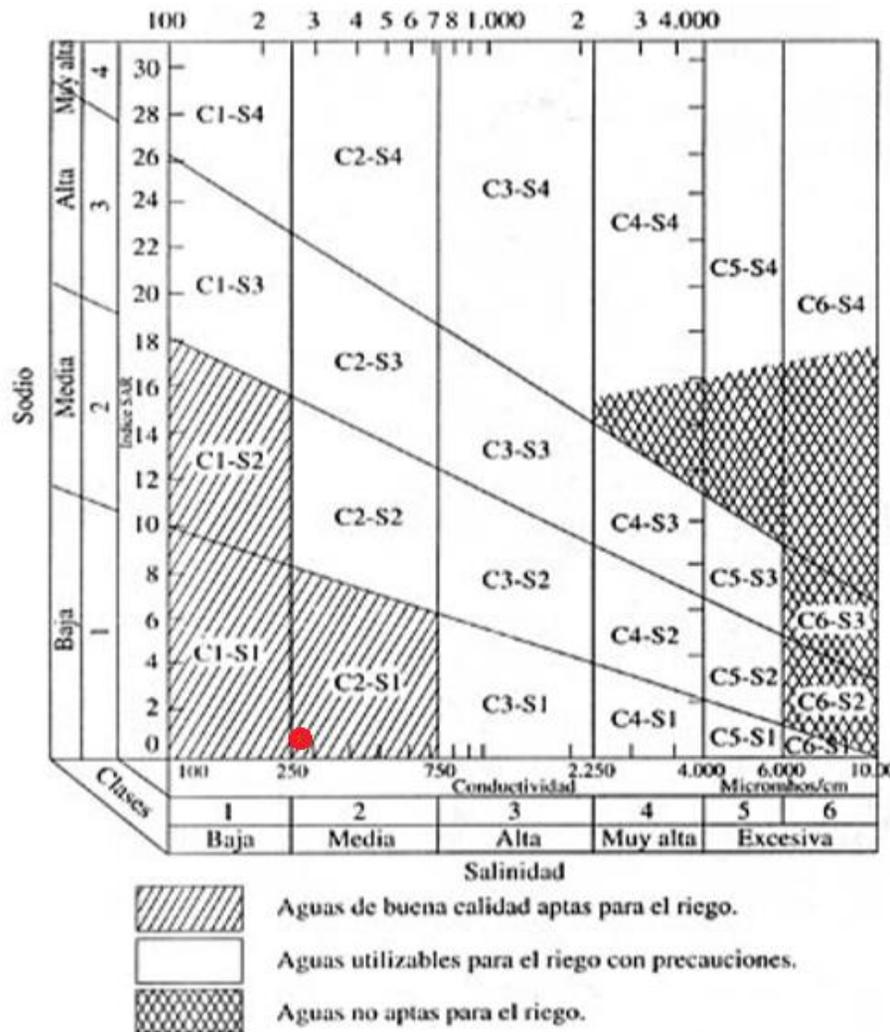


Figura 3. Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego (1954)

### 3.5.4 Efecto del riego con aguas grises en el cultivo

Todas las plantas crecieron bien, con una coloración verde característica de la lechuga, las plantas se observan saludables y de buen tamaño (Figura 4). En el parámetro de peso fresco después del análisis estadístico ANOVA de un solo factor, no se observó ninguna diferencia estadística altamente significativa ( $\alpha = 0.01$ ) entre las que se regaron con agua potable (Testigo) y las que fueron regadas con aguas grises (Figura 5).



Figura 4. Lechuga antes de la cosecha

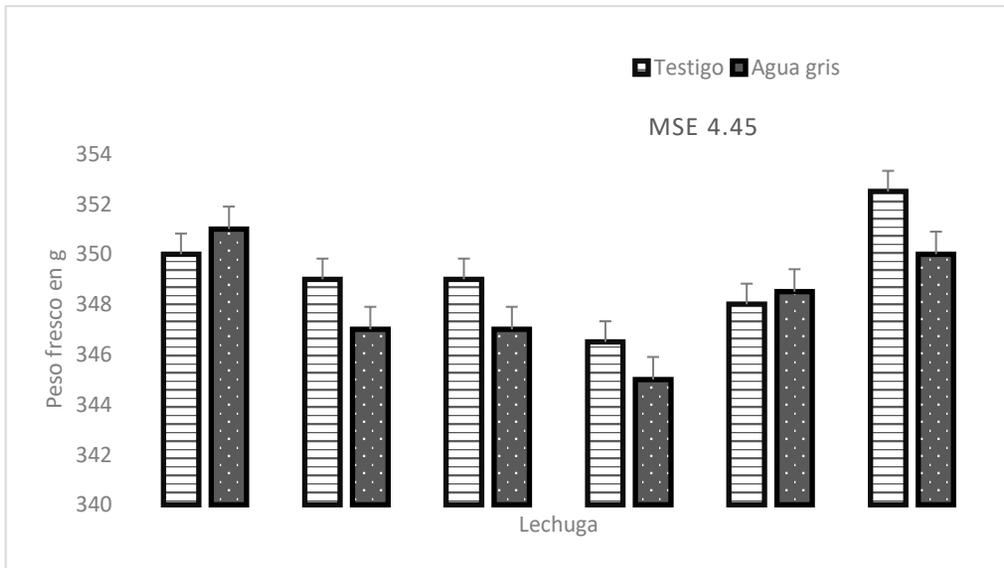


Figura 5. Peso fresco en g de lechuga, donde la barra indica la desviación estándar.

En peso seco después de el análisis estadístico ANOVA de un solo factor , no se obtuvieron diferencias estadísticas altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) (Figura 6), entre las regadas con AP a las que se regaron con  $AG_1$ .

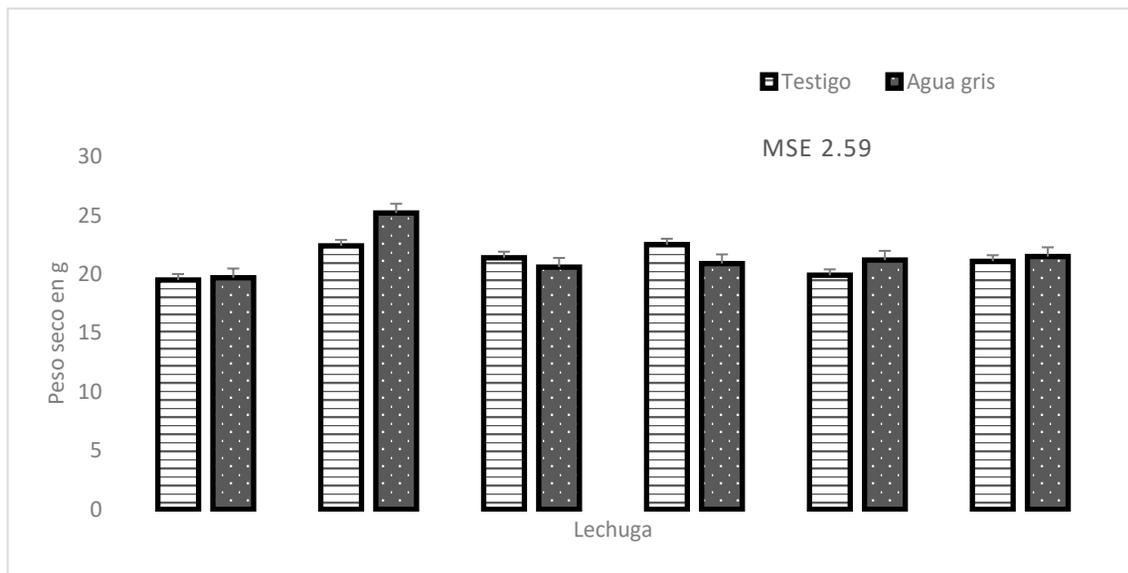


Figura 6. Peso seco en g de lechuga, donde la barra indica la desviación estándar.

Los resultados obtenidos de peso fresco y seco no presentaron variación significativa, esto se puede explicar debido a que las aguas grises contienen niveles muy bajos de nutrientes, así como de metales pesados (los cuales pudieran afectar al cultivo), por lo tanto, la única fuente de nutrientes que tuvieron ambos, fue la solución nutritiva que se aplicó en cada etapa fenológica, siendo la misma para ambos tratamientos.

En el indicador de Boro observamos que si hay diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ), entre las que se regaron con AP y las que se regaron con  $AG_1$  , esto puede observar en la Figura 7, cabe señalar que las concentraciones de B en las lechugas regadas con agua gris casi aumentaron al doble su valor versus

las que fueron regadas con AP, esta es la concentración más alta que puede encontrarse en la lechuga ya que la acumulación siempre es más alta en hojas que en raíces, pero no presenta toxicidad para el cultivo.

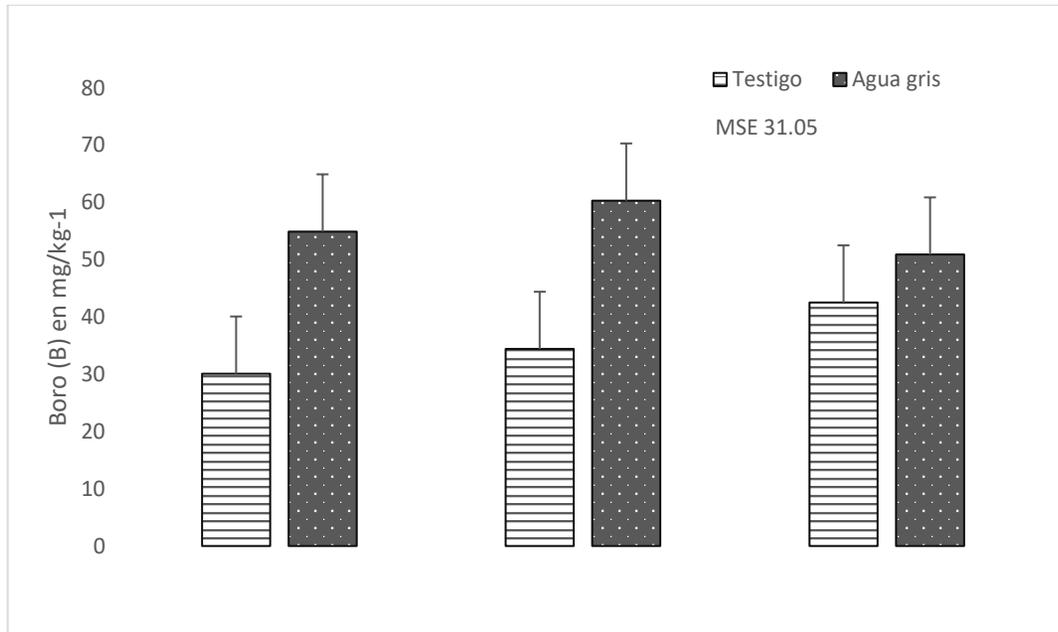


Figura 7. Contenido de B presente en hojas de lechuga, donde la barra indica la desviación estándar.

Para presencia de CF (Coliformes Fecales) en lechuga, no se detectaron en los análisis en ninguna de las dos muestras, ni en aquellas que fueron regados con AP ni en aquellas regadas con  $AG_1$ . Para Coliformes Totales (CT) si existieron conteos microbiológicos; y al realizar el análisis estadístico ANOVA de un solo factor, no se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) (Figura 8) esto cuando se regaron con AP o  $AG_1$ . Se esperaba que pudieran existir niveles altos de contaminación microbiológica en los parámetros de CF y CT en el cultivo, esto debido a los altos conteos de contaminación que se encontraron en la corriente del agua gris con la que fueron regados, ya que los CF reflejan transmisión bacteriana por agua de riego, pero no fue así, esto

se puede atribuir a que la contaminación se mantuvo a nivel de sustrato, se pudo crear una amortiguación por parte de este, esta idea se refuerza al saber que las aguas grises no entraron en contacto con la parte comestible de las lechugas, siempre se mantuvo el riego a nivel de suelo, sólo se pusieron en contacto con el sistema vascular el cual se puede considerar estéril . Los conteos de CT que se obtuvieron pudieron llegar al cultivo por estreptococos aerotransportados o aquellos que existen en vida libre.

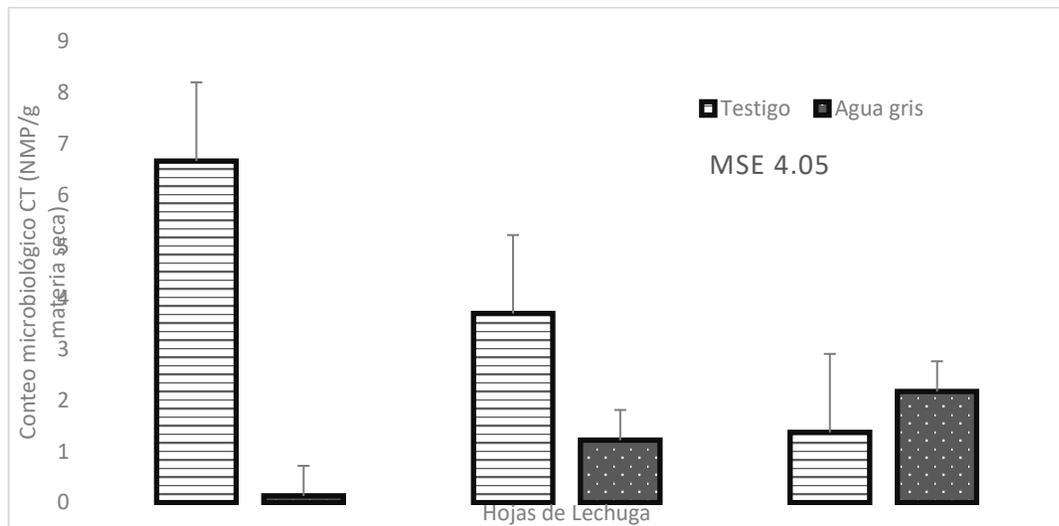


Figura 8. Conteo microbiológico de CT (Coliformes Totales) presente en hojas de lechuga, donde la barra indica la desviación estándar.

### 3.5.5 Riesgos asociados con el consumo de cultivo de lechuga regada con agua gris

Los riesgos que se tienen al consumir productos irrigados con aguas grises son difíciles de evaluar, esto debido a la falta de normas y estándares nacionales e internacionales tanto para las aguas grises como para los alimentos que son regadas con ellos. En México contamos con normas con las cuales podemos establecer límites para el consumo de lechuga cruda, la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-199, indica que el límite de coliformes fecales es de < 3 NMP/g, en este estudio no se detectaron coliformes fecales ni E.Coli en ninguna

de las pruebas así que se da cumplimiento. De acuerdo con Hurst C., (2007) se puede realizar un análisis de riesgo básico con ayuda de los datos de probabilidad de infección y de enfermedad, dependiendo de la fuente de contaminación (Bacteria). Se toman los valores globales para las bacterias y se realiza una suposición de consumo 20 g / día (3 hojas de lechuga). En el Cuadro 6 se muestra el riesgo de análisis básico donde se usa el promedio encontrado en los conteos microbiológicos de coliformes totales, se puede ver que no hay riesgos importantes al regar con agua gris.

Cuadro 6. Análisis de riesgo al consumir lechugas regadas con agua gris

	Lechuga regada con agua potable (AP)	Lechuga regada con agua gris (AG <sub>1</sub> )
Bacterias (NMP/g de cultivo en masa seca)	3.91	1.17
Consumo de masa seca (g/día)	20	20
Días de consumo al año	52	52
Probabilidad de infección <sup>o</sup>	0.00001	0.00001
Probabilidad de enfermedad <sup>o</sup>	0.4928	0.4928
Riesgo de enfermedad, estimado al año	0.020	0.006
Comparativo de riesgo	70% más alto que con agua gris	

<sup>o</sup>HURST(2007)

### 3.6 Conclusiones

El objetivo de este trabajo era evaluar el uso de agua gris dentro de un cultivo hidropónico en técnica de sustrato bajo los criterios microbiológicos, químicos y agronómicos. El uso de aguas grises domésticas provenientes de lavadora para el riego de lechuga se considera seguro, al no contar con diferencias significativas ( $\alpha = 0.01$ ) en el riego con agua potable y agua gris así como el cumplimiento de los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-

093-SSA1-199 y un riesgo de análisis básico de enfermedad anual de 0.006 al consumir lechuga irrigada con agua gris; debe decirse que esto será válido si se siguen los métodos establecidos, en particular el riego a nivel de suelo (no poner en contacto el agua gris de riego con la parte comestible de lechuga) y el uso de un detergente con baja C.E y pH que no sea alcalino.

El agua gris resultante es apta para el riego desde los índices agronómicos y químicos; pese a que no cumple el criterio microbiológico, este parámetro no tiene correlación con la contaminación en el cultivo. Con este tipo de trabajos se contribuye al combate de la inseguridad alimentaria, produciendo alimentos inocuos, de calidad y a bajo costo, sin la necesidad de contar con grandes extensiones territoriales y de sobreexplotar las recargas de agua potable, destinando estas a usos que requieren mayor calidad.

En México no existe regulación de las aguas grises ni de su posible masificación a unidades departamentales, o incluso a comunidades, como se realiza en otros países como Alemania, Japón, etc., es fundamental que se comience a trabajar sobre estas prácticas. Es importante recalcar que, para el consumo de lechuga, se recomienda el lavado y el desinfectado como se acostumbra.

### 3.7 Referencias

- Aceves Navarro E., (2011), El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, Control, Combate y Adaptación) (2ª edición). Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.
- Al Gheethi, A.A., Mohamed, R.M., Efaq, A.N & Amir, H.K.. (2016). Reduction of microbial risk associated with greywater utilized for irrigation. *Water & Health*, 14(3), 379–398.
- Al-Hamaiedeh, H. & M. Bino, (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants, *Desalination*: 256 (1-3), 115-119.
- Bigas, H. (Ed.), (2012). *The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue. Papers for the InterAction Council, 2011-2012*. Hamilton, Canada: UNU-INWEH, 13- 72.
- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). *Ambient Water Quality Guidelines for Boron*. (1981). Disponible en línea: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/wqgs-wqos/approved-wqgs/boron/boron-tech-appnx.pdf> (acceso 23 de Mayo 2018).
- Díaz, C.M., Sánchez, L.M., & Díaz, B.A. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVI (51), 459-483.
- FAO (2011); *La Seguridad Alimentaria: información para la toma de decisiones. Guía práctica*; Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>, (acceso 10 Marzo 2018).
- Faruqui N. & Al-Jayyousi O. (2009) Greywater Reuse in Urban Agriculture for Poverty Alleviation, *Water International*, 27:3, 387-394, DOI: 10.1080/02508060208687018
- Finley, S., Barrington, S. & Lyew, D., (2009). Reuse of domestic greywater for irrigation of food crops. *Water Air Soil Pollut.* 199, 235–245.

- Fonseca, J., Fallon, S.D., Sánchez, C. & Nolte, K.D., (2011). *Escherichia coli* survival in lettuce fields following its introduction through different irrigation systems. *Journal of applied microbiology*. 110 (4). DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.04942.x.
- Hurst, Christon J., Ronald L., Jay L., Mills D., Stetzenbach A & D.Linda. (2007) *Manual of Environmental Microbiology* (3<sup>a</sup> edición) 29.7 Summary. American Society of Microbiology (ASM). 365-370.
- Jackson S., Rodda N., & Salukazana L. (2006) Microbiological assessment of food crops irrigated with domestic greywater. *Water SA* 32 (5) 700–704.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R & Judd, S.(2004). Grey water characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50 (2), 157–164.
- Laaffat, J., Aziz, F., Ouazzani, N. & Mandi, Laila. (2017). Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities. *Saudi Journal of Biological Sciences*. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.01.006.
- Li, F., Wichmann K. & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*. 407(11), DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.02.004, 3439- 3449.
- Lubbe, E., Rodda, N. & Sershen. (2016). Effects of greywater irrigation on germination, growth and photosynthetic characteristics in selected African leafy vegetables. *Journal Home*. 42 (2), DOI: 10.4314/wsa.v42i2.04.
- Misra, R. K. and Patel, Jishiv H. and Baxi, Vijay (2010) Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *Journal of Hydrology*, 386 (1-4). 95-102.
- Mohamed, R.M.S.R., Kassim, A.H.M., Anda, M. et al. (2013). A monitoring of environmental effects from household greywater reuse for garden irrigation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185 (10). DOI: 10.1007/s10661-013-3189-0. 8473–8488.

- Navarro, G. M. (2014). Manejo del Estrés por Temperatura en Cultivos Hortícolas. Curso de capacitación Intagri. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Diciembre 2014. Bras, M. L.; Clément, M. V.; Pervaiz, S.; Brenner, C. 2005. Reactive Oxygen Species and the Mitochondrial Signaling Pathway of Cell Death. Review. *Histology and Histopathology*, 20: 205-22
- Norma Mexicana (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015 Disponible en línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf> (acceso 23 de Mayo 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1997). NOM-001-ECOL-1997. Disponible en línea: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997) (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1997). NOM-003-ECOL-1997. Disponible en línea: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf> (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Norma Oficial Mexicana (1995). NOM-110-SSA1-1994. Disponible en línea: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995) (acceso 23 de Mayo de 2018).
- Pinto, U., Maheshwari, B., & Grewal, H.S. (2010). Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. *Resources, Conservation and Recycling*. 54. 429-435. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.09.007.
- Sawadogo, B., Sou, M., Hijikata, N., Sangaré, D., Maiga, A.H., & Funamizu, N. (2014). Effect of Detergents from Greywater on Irrigated Plants: Case of Okra (*Abelmoschus esculentus*) and Lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Arid Land Studies*. 24-1, 117-120.
- Shamabadia, N., Bakhtiari, H., Kochakianc, N. & Farahan M. (2015). The Investigation and Designing of an Onsite Grey Water Treatment Systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. *Energy Procedia*. 74, DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.7801337-1346.

Vázquez Y. J., Peña V. C., Trejo C., Villegas B. A., Benedicto V. S., & Sánchez G. P. (2015). Promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con dosis subletales de ozono aplicadas al medio de cultivo. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(4), 405-413. Recuperado en 18 de mayo de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802015000400009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400009&lng=es&tlng=es).

## **CAPÍTULO 4.**

### **DIFICULTADES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Dificultades**

##### **4.1.1 Riego por goteo**

Al inicio del proyecto se recomendó el uso de riego por goteo Figura 1, esto debido a la automatización que se da al contar con él y al ser un riego localizado se disminuye la probabilidad de que el agua gris toque la parte comestible del cultivo, pero se presentaron taponamientos a partir de las primeras dos semanas, los taponamientos que se dieron fueron debido a que el porcentaje de sólidos disueltos en el agua gris es alto, por lo tanto pasan los filtros que se puedan instalar, además de esto la floculación es continua en este tipo de aguas, formando coloides ( Figura 2), que taponean los goteros. Para tratar de disminuir los mismos, se realizó un lavado a presión y se colocó un filtro con un número 100 de mesh, pero aun así se continuó con el inconveniente; además que la limpieza debía de realizarse de manera más regular (cada tercer día), así que se decidió retirarlo y aplicar un riego manual a nivel de suelo (Figura 3) cuidando que no se tuviera contacto con la parte comestible de la lechuga.



Figura 1. Riego por goteo



Figura 2. Coloide formado



Figura 3. Riego a nivel del suelo

#### 4.1.2 Poca radiación

El lugar donde se colocó por primera vez el experimento contaba con lámina traslúcida en el techo, la cual según el fabricante dejaba pasar hasta el 70% de luz, el cultivo al mes de traspasar las plántulas comenzó a tener un crecimiento etiolado y sin buenas raíces Figura 4, no se formó la cabeza de la lechuga Figura 4, así que se decidió terminar ese ensayo , por lo que se decidió colocarlo en un lugar donde tuviera radiación solar directa.



Figura 4. Crecimiento etiolado

#### 4.1.3 Sustrato Arcilloso

Al plantearse las mezclas de sustrato a utilizar se decidió utilizar varias mezclas en donde el mayor porcentaje fuera de Zeolita (Clinoptilolita), las mezclas que se escogieron fueron aquella que contenía 50% y la otra 70% de Zeolita, aquella que contenía el 70% de Zeolita tuvo problemas graves de drenaje Figura 5, se convirtió en un sustrato arcilloso, en el cual se dieron encharcamientos lo que hace más propenso la acumulación de sales y al ser un agua residual con la que se está regando, la proliferación de bacterias es mayor y se cuenta con un riesgo alto de que las aguas de riego entren en contacto con la parte comestible del cultivo, la baja permeabilidad de agua en este sustrato se explica debido a que la zeolita tiene un CIC alto, aproximadamente de 2.16 me/g y eso hace que se absorba mayor humedad y se produzcan todos los problemas mencionados con anterioridad.



Figura 5. Sustrato arcilloso

#### 4.1.4 Almacenamiento de las aguas grises

Se almacenó el agua gris, para contar con abastecimiento constante para el riego del cultivo, esta práctica se estuvo realizando por 30 días, pero al analizar la calidad de agua se descubrió que la contaminación bacteriana (Coliformes fecales y Coliformes totales) crece de forma exponencial al almacenarla desde el primer día, así que se decidió el almacenar sólo por dos días el agua gris y se implementó un sistema de recirculación en el almacenamiento para oxigenar el efluente y retirar las espumas de forma manual que se forman.

#### 4.1.5 Temporada de siembra

Debido a los tiempos cortos de experimentación se decidió comenzar el primer ensayo en el mes de noviembre, para ese tiempo se presentaron temperaturas bajas y heladas, aunque el cultivo se encontraba bajo techo, fue necesario poner una cortina para prevenir que murieran las hortalizas, esto contribuyó a que se tuviera un crecimiento lento, por eso se decidió

esperar a que mejoraran las condiciones climatológicas; para el mes de abril ya que además ahora se pondría a cielo abierto, sólo colocando lona cuando se presentaran precipitaciones pluviales.

#### 4.1.6 Manejo de plagas

En el cultivo se presentó una plaga de Hemíptero, suborden Homóptera (cicadelas, pulgones, moscas blancas y cochinillas), conocidos como áfidos o pulgones (Figura 6), al principio se utilizó jabón potasa, con este parecía controlarse, pero se re contaminaba muy rápidamente por lo que se aplicó Cipermetrina 1%, en una dosis de 1 ml por cada litro esto cada quince días, con esto se logró erradicar de manera eficiente la plaga.



Figura 6. Plaga de Hemíptero

## **4.2 Recomendaciones**

Esta línea de investigación debe de continuarse en varios sentidos entre los que se encuentran, la evaluación de la salinidad y los contenidos de B en los suelos arenosos si se realiza el riego con esta calidad del agua en un mayor lapso de tiempo; así como el efecto de diferentes marcas de detergentes, diferentes cultivos y diferentes tratamientos de agua.

Al no existir regulación de las aguas grises en México es importante evaluarse desde un punto de vista económico y técnico para poder masificarse o conducirse de forma viable y segura. Se recomienda la evaluación de distintos cultivos al utilizar esta calidad de agua en el parámetro microbiológico, en especial en tubérculos los cuales contribuyan de manera eficaz a combatir la inseguridad alimentaria. Aquellos de contacto indirecto, así como el uso de floculantes o algún tratamiento que permita un riego más eficiente y automatizado.

## CAPÍTULO 5. ANEXOS

### 5.1 Análisis microbiológico de lechuga



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE SUELOS  
Laboratorio de Microbiología de Suelos

Chapingo, Méx., a 14 de mayo de 2018  
Asunto: Informe e interpretación  
de estudio microbiológico

Ing. Quím. Cynthia Serna Abascal  
Presente

Por este conducto me permito enviarle resultados del análisis microbiológico practicado a seis muestras de lechuga procedentes de Chiconcuac, estado de México, el cual se describe a continuación:

No. identificación	Clave	Coliformes totales	Coliformes fecales
		(nmp/g materia seca)	
LCU-P-850	Muestra 1	0.13	0
LCU- P-851	Muestra 2	1.22	0
LCU- P-852	Muestra 3	2.17	0
LCU- P-853	Muestra4	6.67	0
LCU- P-854	Muestra 5	3.69	0
LCU- P-855	Muestra 6	1.37	0

Donde nmp = número más probable.

Se prepararon diluciones de las muestras de acuerdo con las especificaciones de la NOM-110-SSA1-1994, relativa a la preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. La determinación analítica para las muestras de lechuga se realizó de acuerdo con la metodología y medios de cultivo indicados en la NOM-112-SSA1-1994, relativa a la determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable, con los medios de cultivo: Caldo lactosa y Caldo EC con tiempo de incubación de 24 y 48 h a 35-37° C y 44±0.5° C para las pruebas presuntiva y confirmativa, respectivamente. Para el cálculo del NMP se utilizaron las tablas de los lineamientos establecidos en la antes citada norma y para su interpretación, la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. Es importante mencionar que el grupo de microorganismos coliformes (totales, fecales y *E. coli*) continúan siendo el indicador de elección que manifiesta contaminación fecal reciente o condiciones higiénicas inadecuadas.

#### INTERPRETACION:

De acuerdo con las especificaciones sanitarias de la Norma Oficial antes referida, las muestras se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para hacerle llegar un cordial saludo.

ATENTAMENTE

  
M. en C. Langen Corlay Chee  
Responsable del análisis

(tel: 01-595-9521634, e-mail: [langen.corlay@gmail.com](mailto:langen.corlay@gmail.com))

V-2018-19-24

## 5.2 Análisis de contenido de Boro en lechugas



UACH DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



24 DE MAYO DE 2018.  
No. DE OFICIO: 133

USUARIO: **CYNTHIA SERNA ABASCAL**  
PROCEDENCIA: CHICONCUAC, EDO. DE MÉX.  
TIPO DE MUESTRA: **TEJIDO VEGETAL (6 MUESTRAS)**

Nº CONTROL	B mg kg <sup>-1</sup>
P-857	54.91
P-858	60.30
P-859	50.88
P-860	30.08
P-861	34.40
P-862	42.50

### METODOLOGIA:

BORO (B) DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H.

### IDENTIFICACION

P-857: MUESTRA 1, LECHUGA, AGUA GRIS, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.  
P-858: MUESTRA 2, LECHUGA, AGUA GRIS, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.  
P-859: MUESTRA 3, LECHUGA, AGUA GRIS, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.  
P-860: MUESTRA 4, LECHUGA, AGUA POTABLE, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.  
P-861: MUESTRA 5, LECHUGA, AGUA POTABLE, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.  
P-862: MUESTRA 6, LECHUGA, AGUA POTABLE, MUESTRA TOMADA 30 ABRIL, 10:00 AM.

Km. 38.5 Carretera Federal México - Texcoco, Chapingo, Méx., CP. 56230, Tel. (01 595) 95-2-16-36, (01 595) 2 1500 ext. 6738, 6739 Y 6681

Correo electrónico: [lahcen.chapingo@gmail.com](mailto:lahcen.chapingo@gmail.com)

### 5.3 Análisis de contenido de Boro en agua



UACH DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



TIPO DE MUESTRA: AGUA (2 MUESTRAS)

Nº CONTROL	B mg L <sup>-1</sup>
A-863	1.00
A-864	0.28

ND: NO DETECTADO POR EL MÉTODO EMPLEADO

**METODOLOGIA:**

BORO (B): FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA H.

**IDENTIFICACION:**

A-863: MUESTRA AGUA GRIS, 30 ABRIL, 7:10 AM.

A-864: MUESTRA DE AGUA POTABLE, 30 ABRIL, 7:11 AM.

ATENTAMENTE.



**DR. EDMUNDO ROBLEDO SANTOYO**  
JEFE DEL LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO

ERS/ *Robledo*

Km. 38.5 Carretera Federal México –Texcoco, Chapingo, Méx., CP. 56230, Tel. (01 595) 95-2-16-36, (01 595) 2 1500 ext.6738, 6739 Y 6681  
Correo electrónico: [lubcn.chapingo@gmail.com](mailto:luben.chapingo@gmail.com)

## 5.4 Análisis estadístico de contenido microbiológico en lechuga

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTEO MICROBIOLÓGICO DE LECHUGAS

Ho: Los tratamientos son iguales

Ha: Los tratamientos son diferentes

Testigo es Agua Potable del grifo

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Testigo	6.67	3.69	1.37
Agua gris	0.13	1.22	2.17

	GL	SC	CM	Fo	P Value	Ft (0.01,1,4)
Tratamiento	1	11.2340167	11.2340167	2.77354593	0.171	21.2
Error	4	16.2016667	4.05041667			
Total	5	27.4356833				

Se rechaza Ho si  $F_o > F_t(\alpha, k-1, N-k)$  o  $P \text{ value} < \alpha$

$\alpha = 0.01$

$2.77 < 21.2$

**Se acepta Ho, por lo tanto no hay diferencias altamente significativas con un nivel  $\alpha = 0.01$**

## 5.5 Análisis estadístico de contenido de Boro en lechuga

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTENIDO DE BORO EN LECHUGAS

Ho: Los tratamientos son iguales

Ha: Los tratamientos son diferentes

Testigo es Agua Potable del grifo

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Testigo	30.08	34.4	42.5
Agua gris	54.91	60.3	50

	GL	SC	CM	Fo	P value	Ft (0.05,1,4)
Tratamiento	1	582.332017	582.332017	18.7567585	0.012	7.71
Error	4	124.186067	31.0465167			
Total	5	706.518083				

Se rechaza Ho si  $F_o > F_t(\alpha, k-1, N-k)$  o  $P \text{ value} < \alpha$

$$18.76 > 7.71$$

$$\alpha = 0.05$$

**Se rechaza Ho, se acepta Ha por lo tanto hay diferencias significativas a un nivel**

$$\alpha = 0.05$$

## 5.6 Análisis estadístico de peso seco en lechuga

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PESO SECO DE LECHUGA

Ho: Los tratamientos son iguales

Ha: Los tratamientos son diferentes

Testigo es Agua Potable del grifo

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5	Repetición 6
Testigo	19.5	22.4	21.4	22.5	19.9	21.1
Agua gris	19.7	25.2	20.6	20.9	21.2	21.5

	GL	SC	CM	Fo	P Value	Ft (0.01,1,10)
Tratamiento	1	0.440833333	0.440833333	0.170063653	0.689	10
Error	10	25.92166667	2.592166667			
Total	11	26.3625				

Se rechaza Ho si  $F_o > F_t(\alpha, k-1, N-k)$  o  $P \text{ value} < \alpha$

$\alpha = 0.01$

$0.17 < 10$

**Se acepta Ho, por lo tanto no hay diferencias altamente significativas con un nivel  $\alpha = 0.01$**

## 5.7 Análisis estadístico de peso fresco en lechuga

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PESO FRESCO DE LECHUGA

Ho: Los tratamientos son iguales

Ha: Los tratamientos son diferentes

Testigo es Agua Potable del grifo

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5	Repetición 6
Testigo	350	349	349	346.5	348	352.5
Agua gris	351	347	347	345	348.5	350

	GL	SC	CM	Fo	P Value	Ft (0.01,1,10)
Tratamiento	1	3.520833333	3.520833333	0.790458372	0.395	10
Error	10	44.54166667	4.454166667			
Total	11	48.0625				

Se rechaza Ho si  $F_o > F_t(\alpha, k-1, N-k)$  o  $P \text{ value} < \alpha$

$\alpha = 0.01$

$0.79 < 10$

**Se acepta Ho, por lo tanto no hay diferencias altamente significativas con un nivel  $\alpha = 0.01$**

## 5.8 Carátula de Norma Mexicana NOM-003-ECOL-1997

28/5/2018

DOF - Diario Oficial de la Federación

DOF: 21/08/1998

**NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.**

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones V y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 14 de agosto de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO**

### INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

### 2. Referencias

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| Norma Mexicana NMX-AA-003 | Aguas residuales-Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.  |
| Norma Mexicana NMX-AA-005 | Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción Soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980. |

## 5.9 Carátula de Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-093-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. PRACTICAS DE HIGIENE Y SANIDAD EN LA PREPARACION DE ALIMENTOS QUE SE OFRECEN EN ESTABLECIMIENTOS FIJOS**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

JOSE MELJEM MOCTEZUMA, Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 194 fracción I y 199 de la Ley General de Salud; 62, 67, 79, 80, 81, 82 y los demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 80, fracción IV y 13 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

#### **PREFACIO**

En la elaboración de la presente norma participaron los siguientes organismos e instituciones:

#### **SECRETARIA DE SALUD**

Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios.  
Dirección General de Servicios de Salud Pública en el Distrito Federal.  
Laboratorio Nacional de Salud Pública.

#### **SECRETARIA DE TURISMO**

Coordinación de Asesores.  
Dirección General de Coordinación Intersectorial.

#### **ASOCIACION DEL ACERO INOXIDABLE, A.C.**

#### **INDICE**

- 0. INTRODUCCION
- 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
- 2. REFERENCIAS
- 3. DEFINICIONES
- 4. SIMBOLOS Y ABREVIATURAS
- 5. DISPOSICIONES SANITARIAS
- 6. MUESTREO
- 7. METODOS DE PRUEBA
- 8. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
- 9. BIBLIOGRAFIA
- 10. OBSERVANCIA DE LA NORMA
- 11. VIGENCIA
- 12. APENDICE NORMATIVO
- Apéndice A.
- 13. APENDICES INFORMATIVOS
- Apéndice A
- Apéndice B

## 5.10 Carátula de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

28/5/2018

DOF - Diario Oficial de la Federación

DOF: 06/01/1997

### **NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 88 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y

#### **CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezanin planta alta, colonia Tlacopac, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

#### **INDICE**

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

#### **1. Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

#### **2. Referencias**

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

## 5.11 Carátula de Norma Oficial Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015



### NORMA MEXICANA

NMX-AA-042-SCFI-2015

**ANÁLISIS DE AGUA - ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* - MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES (CANCELA A LA NMX-AA-42-1987).**

WATER ANALYSIS - ENUMERATION OF TOTAL COLIFORM ORGANISMS, THERMOTOLERANT FECAL COLIFORM ORGANISMS AND *Escherichia coli*- MULTIPLE TUBE (MOST PROBABLE NUMBER) METHOD

## 5.12 Determinación de pH

### INTRODUCCIÓN

La medición del pH del agua es muy importante para cualquier tipo de muestra. Los valores tanto altos como bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea de forma directa o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales, los vertidos de aguas residuales, así como en la calidad de agua para el riego.

Se utilizan distintos métodos de determinación, que van desde la simple utilización de papel indicador a sofisticados métodos utilizando un medidor de pH. La determinación de pH se puede clasificar en dos clases, colorimétricas y métodos electrométricos.

Los métodos colorimétricos emplean indicadores que desarrollan una gama de colores a diferentes pH. Su precisión es restringida y sólo son satisfactorias para su uso en una prueba de campo.

El método electrométrico se basa en la medición de la fuerza electromotriz de una celda electroquímica, que consta de la muestra, un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia. Se puede obtener una desviación estándar de  $\Delta\text{pH} = 0,05$  o menos mediante este método. Si la muestra es baja en la fuerza iónica, es decir, menos de 5 mS/m de conductividad

electrolítica, son necesarios equipos de análisis y procedimientos especiales.

## INTERFERENCIAS

La temperatura, algunos gases y materiales orgánicos interfieren con la medición de pH. Materiales suspendidos en la muestra pueden provocar errores significativos (efecto de suspensión). Espere la sedimentación y sumerja los electrodos en la fracción clara. O bien, filtre la muestra. Cuando se hace la medición en aguas residuales y algunas aguas superficiales, hay un alto riesgo de manchar los electrodos o de contaminación de las membranas y los diafragmas con aceite, grasa u otros contaminantes.

En el caso de los electrodos de referencia, esto se puede evitar, si la precipitación se lleva a cabo en el diafragma, por ejemplo, sulfuro de plata o aglomerados de proteínas, por lo que será necesario formar un puente de electrolito entre la muestra y el electrodo de referencia con electrolitos inertes, por ejemplo,  $c(\text{KNO}_3) = 1 \text{ mol/L}$ . Es necesaria la limpieza regular de los electrodos.

## REACTIVOS

- Agua destilada.
- Soluciones Buffer pH 7.0 y pH 4.0.

## EQUIPO

- Recipiente de muestreo. Con capacidad mínima de 500 mL, fondo plano y hecho con vidrio de baja alcalinidad, por ejemplo, vidrio de borosilicato. Recipientes de plástico que puedan ser impermeables a los gases.
- Termómetro. Con una resolución de 0.5 °C.
- Potenciómetro.

## MUESTREO Y MUESTRAS

El valor de pH puede cambiar rápidamente en la muestra de agua como resultado de procesos químicos, físicos o biológicos. Por esta razón, mida el pH lo más rápidamente posible sin exceder 6 h después de la toma de muestra.

Si éste no es el caso, pase un tubo flexible de la toma de muestras al fondo de un recipiente de muestreo y llene el recipiente hasta desbordar. Alternativamente, enjuague el recipiente con la muestra y sumérjalo en la misma. Llene el recipiente evitando la presencia de aire. Elimine todas las burbujas de aire de la muestra por agitación suave y tapando el recipiente.

Analice a más tardar 24 h después de la toma de muestra. Evite los cambios bruscos de temperatura y el intercambio gaseoso con la atmósfera. Ejemplo: sumergir botella winkler, y tápala dentro de la muestra evitando la turbulencia.

## PROCEDIMIENTO

### Preparación

Mida la temperatura de las disoluciones amortiguadoras de pH. Ajuste el control de la temperatura del potenciómetro. De acuerdo con las instrucciones del fabricante, considere la posibilidad del punto isopotencial. Las disoluciones amortiguadoras de pH y las muestras deben tener la misma temperatura, cuando sea posible.

### Calibración en dos puntos

Para llevar a cabo la calibración del medidor de pH o potenciómetro siga las instrucciones del fabricante del equipo. Lea cuidadosamente el manual del mismo, ya que parámetros como la compensación de temperatura, el reconocimiento automático de disoluciones de calibración, estabilidad de las lecturas, intervalos permisibles de la pendiente y el punto de isopotencial, pueden influir adversamente en la calibración e incluso dar lugar a errores sistemáticos.

### 5.13 Determinación de conductividad eléctrica

#### INTRODUCCIÓN

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.

La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación.

El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos.

La conducción de la corriente eléctrica en agua puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos



Los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico.

La cantidad de moléculas que se han dissociado depende de la concentración de la solución. Las soluciones, al igual que los conductores metálicos obedecen a la Ley de Ohm, excepto en voltajes muy elevados y corrientes de frecuencia muy alta.

## REACTIVOS Y PATRONES

- Agua destilada.
- Disolución de cloruro de potasio de 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## MATERIALES Y EQUIPO

- Termómetro.
- Celda de conductividad.
- Medidor de conductividad (Conductímetro).

## RECOLECCIÓN, PRESERVACION Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Cuando sea posible, debe efectuarse la determinación de conductividad directamente en el punto de muestreo sin extraer muestra; si no es posible, tome un volumen mínimo requerido según el instrumento empleado en un envase de polietileno limpio y determine la conductividad de inmediato.

La determinación de conductividad debe realizarse lo más pronto posible, en especial cuando existe la posibilidad de un intercambio de gases tales como Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) y Amonio ( $NH_4^+$ ) con la atmósfera, o una posible actividad biológica. Si no es posible la determinación en el sitio de muestreo tomar la muestra en un recipiente de polietileno de alta densidad, con sello hermético, y llenar completamente el recipiente.

No requiere de ningún conservador, la actividad biológica puede reducirse mediante la refrigeración a 4°C y en la oscuridad. Tomar la temperatura del agua en el sitio de muestreo. Analizar lo más pronto posible o antes de 24 h.

## PROCEDIMIENTO

### Medición de la conductividad

- Preparar el equipo para su uso de acuerdo con las instrucciones del fabricante y seleccionar un electrodo con la constante de celda apropiada para el intervalo de medición en que se usará.
- Se miden aproximadamente 40 ml y se transfieren a un vaso de precipitado de 50 ml. Se mide la conductividad eléctrica con un

Puente de Conductividad Corning Modelo 541 el cual se tiene que operar de la siguiente manera:

- Conectar a corriente de 125 volts.
- Esperar 5 minutos.
- Lavar con agua destilada y secar la celda con una toalla de papel.
- Mantener la celda al aire y presionar la tecla cal. (Tomará este como primer punto de calibración).
- Introducir la celda en una solución de conductividad eléctrica conocida y presiona cal. (Este será el segundo punto de calibración).
- Para medir la conductividad de las muestras problemas sólo introducir la celda en la muestra problema y presionar read.

Nota: Siempre entre muestra y muestra lavar la celda con agua destilada y secarla con una toalla de papel.

Reportar los resultados como conductancia específica o conductividad , mS/m a 25°C.

La temperatura de referencia en las mediciones de conductividad es de 25°C por lo que la mayoría de los instrumentos cuentan con compensador de temperatura.

## INTERFERENCIAS

Cuando el agua contenga grandes cantidades de material en suspensión es preferible dejarla sedimentar antes de medir la conductividad con objeto de disminuir la posibilidad de ensuciar el electrodo de la celda.

Evitar que las grasas y aceites cubran el electrodo, porque afectan la

precisión de la lectura. Eliminar las burbujas de aire presentes en la celda de medición.

La exposición de muestras a la atmósfera puede causar cambios en la conductividad/ resistividad, debido a la pérdida o ganancia de gases disueltos ( $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4$ ). En caso de aguas de bajas concentraciones de materiales disueltos ionizados. El  $\text{CO}_2$ , normalmente presente en el aire puede drásticamente cambiar la conductividad/ resistividad del agua pura.

El contacto con aire puede evitarse usando celdas en línea o de flujo continuo.

## 5.14 Determinación de coliformes totales

### INTRODUCCIÓN

La presencia de coliformes en el agua, indica contaminación por excretas fecales de organismos de sangre caliente, como lo es el hombre.

Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de estos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública, al estar en contacto con el ser humano.

El agua es el transporte de los microorganismos y mediante el análisis de coliformes en ella, podemos establecer los posibles riesgos de contaminación y peligro para la salud pública.

Los coliformes totales son bacilos cortos, no esporulados, aerobios y anaerobios, facultativos, gram negativos, que fermentan la lactosa con producción de gas y acidez de  $35^{\circ} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$  en 48 horas.

Los coliformes fecales son bacilos cortos, gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperatura entre  $35^{\circ} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$  y  $44.5^{\circ} \text{C}$  en periodos de 24 a 48 horas.

El 95 % de los coliformes de origen fecal da positiva la prueba de la temperatura.

Es importante señalar que estos organismos están relativamente ausentes si la contaminación no es de origen fecal. El tiempo de supervivencia del grupo coliforme fecal en el agua es más corto que el de otros organismos coliformes, de origen no fecales. Por lo que una

densidad alta de coliformes fecales indica una contaminación relativamente reciente.

## MÉTODOS DE ANÁLISIS

- Método de tubos múltiples de fermentación.
- Método de filtro de membrana.

## MÉTODO DE APLICACIÓN

- Método de tubos múltiples de fermentación.

## FUNDAMENTO

Fermentación de la lactosa con formación de gas, en condiciones específicas de tiempo y temperatura por medio del grupo coliforme.

En el caso de coliformes fecales; diferenciación posterior de bacilos coliformes de origen fecal y no fecal.

## CAMPO DE APLICACIÓN

Este método es aplicable en aguas de origen natural y residual.

## INTERFERENCIAS

Las pruebas están sujetas a interferencias debido a otras especies de bacterias; por ejemplo, la presencia de *Pseudomonas* da resultados iguales que los coliformes.

## MATERIAL Y EQUIPO

- Incubadora de convención mecánica con termostato.
- Autoclave.
- Potenciómetro o papel pH.
- Balanza granataria, sensibilidad menor de 2 gr.
- Recipiente de vidrio Pyrex o de acero inoxidable para la preparación de medios.
- Pipetas con error de calibración menor de 2.5 %, con tapón de algodón en el extremo superior.
- Pípeteros de aluminio.
- Frascos o tubos de dilución de vidrio Pyrex, con tapón que no produzca sustancias tóxicas durante la esterilización.
- Tubos de ensaye de vidrio de 15 x 150 mm con tapón de rosca de preferencia.
- Tubos Durham o de hemólisis.}
- Gradilla metálica.
- Mecheros.
- Material común de laboratorio.

NOTA: todo material de vidrio es esterilizado en autoclave a 15 lb de presión durante 15 minutos.

## REACTIVOS Y SOLUCIONES

- Caldo lactosado. Para su preparación deben seguirse las instrucciones del fabricante. Disolver 13g de polvo en un litro de agua destilada. Distribuir 10 ml de solución en tubos de ensaye que tengan un tubo Durham invertido y esterilice en autoclave a 121°C (15 lb de presión), durante 15 minutos. No se debe exponer el medio al calor prolongado. Después de la esterilización enfríe tan rápido como se pueda. El pH de la solución debe ser 6.9.
- Caldo lauril triptosa. Disolver 35.6 g de polvo en un litro de agua. Proceder igual que para el caldo lactosado. Este caldo puede sustituir al lactosado.
- Caldo lactosado bilis verde brillante al 2%. Disolver 40 g del material deshidratado en un litro de agua destilada. Distribuir en tubos de ensayo que contengan un tubo Durham invertido en porciones de 10 ml. Esterilizar en autoclave a 121°C (15 lb de presión) durante 15 minutos. El pH debe ser de 7.2 después de la esterilización.
- Solución madre de fosfatos. Disolver 34 g fosfato monobásico de potasio ( $KH_2PO_4$ ) en 500 ml de agua destilada, ajustar el pH a 7.2 con  $NaOH^-$  y diluir a 1000 ml con agua destilada.
- Solución de sulfato de magnesio. Disolver 50 g de sulfato de magnesio en agua destilada y aforar a 1000 ml.
- Agua de dilución. Agregar 1.25 ml de la solución madre de fosfatos y 5 ml de sulfato de magnesio en un litro de agua destilada y distribuir en tubos con 10 ml que permitan obtener después de esterilizar un volumen de  $9 \pm 2$  ml.
- Medio EC. Seguir las instrucciones del fabricante. Disolver 37 g de polvo en un litro de agua destilada, se distribuye en tubos de

fermentación con tubos Durham para la investigación de gases. Se esteriliza en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

- Caldo ácido bórico. Sustituye el medio EC. Disolver 34.6 g en un litro de agua destilada, proceder en la misma forma que para el medio EC.

NOTA: los medios deshidratados deben estar en frascos perfectamente cerrados, en la obscuridad, a temperatura inferior a 30°C y una atmosfera de baja humedad, los frascos deben quedarse invertidos con la boca hacia abajo, no usarlos si han perdido color o se han compactado.

La cantidad de medio que se prepare debe ser tal que todo el medio se ocupe en menos de una semana.

El medio líquido en los tubos con el medio líquido, inocular, con el propósito de descartar aquellos que produzcan burbujas de aire, sobre todo aquellos tubos que se han almacenado a baja temperatura.

## PROCEDIMIENTO

### Prueba presuntiva

- A un tubo que contenga 9 ml de agua de dilución previamente esterilizado, agregar 1 ml de muestra para obtener una dilución de 10-1, homogenizarlo con la misma pipeta.
- Se toma 1 ml de la dilución 10-1 y pasarlo a otro tubo de ensaye que contenga 9 ml de agua de dilución estéril para obtener una dilución de 10-2. Se procede de la misma forma para obtener una dilución 10-3 y así sucesivamente.
- Tomar 5 tubos de fermentación que contengan caldo lactosado ya

estéril y adicionar a cada uno 1 ml de la primera dilución, tapar los 5 tubos, de esta primera serie, estos deben estar perfectamente marcados para evitar que se confundan. Homogenizar todos los tubos.

- En otros 5 tubos de fermentación esterilizados que contengan caldo lactosado estéril, adicionar 1 ml de la segunda dilución a cada uno y tapar. Homogenizar todos los tubos.
- Proceder en la misma forma con cada una de las diluciones seleccionadas a 35°C durante 24± 2 horas.
- Revisar los tubos de fermentación para observar si dentro de los tubos de Durham se ha formado gas, si esto sucede se considera la prueba positiva. Anotar los tubos positivos y a que dilución pertenecen.
- Incubar los tubos que no presentan formación de gas otras 24 ± 2 horas.
- La formación de gas dentro de 48 h ± 3 horas de incubación total constituye una prueba positiva y da un indicio de la presencia de coliformes.
- La ausencia de gas al final de 48 ± 3 horas de incubación total indica una prueba negativa es decir, ausencia de coliformes y por lo tanto, el análisis queda concluido.

#### Prueba confirmativa para coliformes totales

- Cada uno de los tubos positivos de la prueba presuntiva se deben resembrar en 5 tubos de fermentación que contengan caldo lactosado bilis verde brillante estéril, utilizando un asa de siembra esterilizada en la flama del mechero, esta debe enfriarse antes de introducirla al tubo positivo.

- Se incuban los tubos a  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Examinar cada tubo a las  $24\text{ h} \pm 2$  horas. Los tubos que presentan formación de gas se consideran positivos. Incubar los tubos que presenten formación de gas otras  $24\text{ h} \pm 2$  horas.
- La formación de gas dentro de  $48\text{ h} \pm 3$  horas de incubación total constituye una prueba confirmativa de la presencia de coliformes totales.
- La ausencia de gas dentro de  $48\text{ horas} \pm 3$  horas de incubación total constituye una prueba de la ausencia de coliformes totales.

## CÁLCULOS

Con el número de tubos positivos de cada serie obtenidos hasta las  $48 \pm 2$  horas, se busca el número más probable de coliformes en las tablas de número más probable.

En caso de que no aparezca en la tabla el código obtenido, se puede determinar por la siguiente fórmula.

$$\frac{\text{NMP}}{100\text{ ml}} = \frac{(\text{Número de tubos positivos}) * 100}{\sqrt{\text{ml de muestra en los tubos negativos} * \text{ml de muestra de todos los tubos}}}$$

Los resultados se expresan en forma de quebrado, en donde el numerador es el número total de tubos positivos y el denominador el total de tubos empleados en cada dilución, por ejemplo 3/3, 2/3, 1/3, significa 3 tubos positivos y 1 positivo para la tercera, en total 9 tubos.

Para este caso se tiene un código de 3, 2, 1 que da un valor de 150 coliformes por 100 ml de muestra.

Cuando se siembran más de 3 diluciones se necesita seleccionar las tres diluciones más altas.

## 5.15 Determinación de cloruros

### INTRODUCCIÓN

El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, su presencia es necesaria en aguas potables. En agua potable, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. En algunas aguas conteniendo 25 mg Cl<sup>-</sup>/L se puede detectar el sabor salado si el catión es sodio. Por otra parte, éste puede estar ausente en aguas conteniendo hasta 1g Cl<sup>-</sup>/L cuando los cationes que predominan son calcio y magnesio.

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo.

Es entonces importante el poder determinar la concentración de cloruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas en un amplio intervalo de concentraciones.

### PRINCIPIO DEL MÉTODO

La determinación de cloruros por este método se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco. En las inmediaciones del punto de equivalencia al agotarse el ión cloruro, empieza la precipitación del cromato. La formación de cromato de plata puede identificarse por el cambio de color de la

disolución a anaranjado-rojizo así como en la forma del precipitado. En este momento se da por terminada la valoración.

## EQUIPO Y MATERIALES

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para este método.

### Equipo

- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
- Potenciómetro para medición de pH.

### Materiales

- Frascos para muestreo de polietileno, polipropileno o vidrio de boca ancha de 500 mL de capacidad.
- Bureta con certificado o en su caso debe estar calibrada

## REACTIVOS Y PATRONES

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se especifique otra cosa. Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: a) Resistividad, megohm-cm a 25°C: 0,2 mín; b) Conductividad,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C: 5,0 Máx. y

c) pH: 5,0 a 8,0.

- Nitrato de plata ( $AgNO_3$ ).
- Cloruro de sodio (NaCl).
- Cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ).
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).
- Sulfato de aluminio y potasio dodecahidratado [ $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ].
- Amoníaco concentrado ( $NH_3$ ).
- Disolución indicadora de cromato de potasio. Pesar aproximadamente y con precisión 50,0 g de cromato de potasio y disolver en 500 mL de agua y añadir disolución patrón de nitrato de plata hasta que se produzca un precipitado rojo claro. Proteger la disolución de la luz y dejar estabilizar durante 24 h después de la adición de la disolución de nitrato de plata. Filtrar la disolución para remover el precipitado y aforar a 1 L con agua.
- Disolución estándar de nitrato de plata (0,05N). Pesar aproximadamente y con precisión 8.49 g de los cristales pulverizados de nitrato de plata disolverlos en aproximadamente 1 L. Valorar contra la disolución patrón de cloruro de sodio 0,014N.
- Disolución de hidróxido de sodio (0,1N). Pesar aproximadamente y con precisión 4,0 g de hidróxido de sodio disolver en 1 L de agua.
- Disolución de ácido sulfúrico (0,1N). Tomar cuidadosamente 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y llevar a 1 L.

## RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Se deben tomar las muestras en envases limpios de polietileno o de

vidrio. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples. Tomar un volumen de 500 ml. Se debe preservar la muestra a 4°C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de una semana.

## PROCEDIMIENTO

- Acondicionamiento de la muestra

Utilizar un volumen de muestra de 50 mL. Ajustar el pH entre 7 y 10 utilizando las disoluciones de hidróxido de sodio (0,1N) y/o ácido sulfúrico (0,1N).

Si la muestra tiene mucho color, añadir de 3 mL a 5 mL de la suspensión de hidróxido de aluminio antes de acondicionar. Mezclar, dejar sedimentar y filtrar con papel filtro cualitativo.

- Valoración

A 50 mL de muestra acondicionada, adicionar 10 gotas de disolución indicadora de cromato de potasio. Valorar con la disolución patrón de nitrato de plata hasta el vire de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final.

Titular un blanco con las muestras.

## CÁLCULOS

Calcular la concentración de iones Cloruro en la muestra original, en mg/L

como sigue:

$$Cl^- \text{ en } \frac{meq}{L} = \frac{V * N * 1000}{50}$$

donde:

- V, son los ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.
- N, es la normalidad del nitrato de plata.
- 50, es el volumen de muestra en ml.

Todos los valores obtenidos de control de calidad deben ser reportados junto con los resultados del análisis.

Reportar los resultados en Cl<sup>-</sup> meq/L, con la precisión correspondiente.

## INTERFERENCIAS

Los iones bromuro, yoduro y cianuro se registran como concentraciones equivalentes de cloruro.

Los iones sulfuro, tiosulfato y sulfito interfieren.

El ortofosfato en concentraciones mayores de 25 mg/L interfiere ya que precipita como fosfato de plata.

El hierro con concentraciones arriba de 10 mg/L interfiere porque enmascara el punto final de la valoración.

## 5.16 Determinación de sulfatos

### INTRODUCCIÓN

Los sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) están ampliamente distribuidos en la naturaleza y pueden estar presentes en aguas naturales, en concentraciones que varían desde pocos hasta miles de miligramos por litro, los desechos del drenaje de minas pueden contribuir con grandes cantidades de iones sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) a través de la oxidación de pirita.

### PRINCIPIO O FUNDAMENTO

El ion sulfato precipita con cloruro de bario, en un medio ácido, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La concentración de masa del ion sulfato se mide por comparación de la lectura con una curva de calibración analítica.

### EQUIPOS Y MATERIALES

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

#### Equipo

- Agitador magnético de velocidad de agitación constante, de tal modo que no ocurran salpicaduras y con magnetos de forma y tamaños idénticos.
- Nefelómetro.
- Espectrofotómetro, para utilizarse a 420 nm, y equipado con celdas de 1 cm o mayor de paso óptico de luz.

- Fotómetro de filtro, equipado con filtro violeta que tenga una transmitancia máxima cercana a 420 nm y que suministre un paso de luz de 4 a 5 cm.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Cronómetro.

## Materiales

Todo el material volumétrico utilizado en este procedimiento debe ser clase A con certificado y/o verificado.

- Cucharilla medidora.

## REACTIVOS Y PATRONES

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo analítico, a menos que se indique otro grado.

Agua, con las siguientes características: Conductividad máxima 5,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25 oC y pH de 5,0 a pH 8,0.

- Solución acondicionadora
- Disolver 75g de NaCl en 275 ml de agua destilada en un matraz de 500 mL con un agitador magnético, añadir 30 mL de HCl concentrado 50 mL de glicerol, 100 mL etanol al 96%; aforar a 500 mL.
- Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2 \bullet 2\text{H}_2\text{O}$ ) en cristales de 20 a 30 mallas (o de tamaño de partículas similar, de manera que se pueda medir de 0,2 g a 0,3 g de forma uniforme utilizando una cucharilla medidora).

- Disolución de referencia de concentración de masa de ion sulfato de  $\gamma(SO_4^{2-}) = 100 \text{ mg/L de } SO_4^{2-}$ .
- Disolver en agua 147,9 mg de sulfato de sodio anhidro y llevar al aforo a 1 000 mL. Este estándar puede adquirirse comercialmente.
- Medir 10,4 mL de disolución de referencia valorada de ácido sulfúrico 0,0100 mol/L y llevar a un volumen de 100 mL con agua.

## RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

- Tomar la muestra en frascos de plástico o de vidrio.
- Tomar un volumen mínimo de 200 mL.
- Todas las muestras deben refrigerarse a una temperatura de  $4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta su análisis.
- Conservando la muestra en refrigeración puede mantenerse hasta 28 días.

## PROCEDIMIENTO

Formación de turbiedad de sulfato de bario.

Transferir a un matraz Erlenmeyer de 250 mL una muestra de 50 mL.

Mientras la disolución se está agitando, añadir el contenido de una cucharilla llena de cristales de cloruro de bario y empezar a medir el tiempo inmediatamente. Agitar durante un minuto a una velocidad constante.

**NOTA 1:** La velocidad exacta de agitación no es crítica, pero debe ser constante para cada corrida de muestras y de patrones, y debe ajustarse a casi el máximo al cual no ocurran salpicaduras.

Una vez concluida la agitación vaciar a la celda y medir la turbiedad en unidades de absorbancia o nefelométricas después de 5 min ± 0,5 min. Leer la absorbancia de las muestras y las disoluciones de referencia a 420 nm en una celda de 1 cm o mayor de longitud de paso óptico de luz.

Corrección por el color o turbiedad de la muestra.

Correr un blanco de muestra sin agregar cloruro de bario y restarlo a la muestra que contiene color y/o turbiedad.

## CÁLCULOS

- Calculo de Sulfatos en meq/l.

$$SO_4^{2-} = \frac{mg/l}{48}$$

Donde:

mg/l = Lectura obtenida en el espectrofotómetro.

48 = Es el peso equivalente del sulfato.

Reporte de resultados.

Reportar los sulfatos en meq  $SO_4^{2-}$  /l con la precisión correspondiente.

## INTERFERENCIAS

En este método, interfieren la materia en suspensión en grandes cantidades y el color. La materia suspendida puede eliminarse parcialmente por filtración. Si ambos interferentes producen lecturas pequeñas en comparación con la de la concentración del ion sulfato, la interferencia se corrige. La sílice en concentración de masa de 500 mg/L y la materia

orgánica en concentraciones altas, también interfieren, imposibilitando la precipitación satisfactoria del sulfato de bario.

En aguas potables, no existen otros iones además del sulfato, que formen compuestos insolubles con bario, bajo condiciones fuertemente ácidas.

## 5.17 Determinación de sodio y potasio

### INTRODUCCIÓN

El sodio es el más importante y abundante del grupo de los metales alcalinos en el agua. Es un constituyente de las rocas ígneas junto con el potasio. En las rocas carbonatadas se encuentra en pequeñas cantidades. Es el catión más abundante en el agua de mar, lo que demuestra su tendencia a permanecer en solución.

El potasio, aunque es uno de los constituyentes mayores del agua, generalmente no es uno de los iones más importantes. Es un constituyente de las rocas ígneas junto con el sodio. Se disuelve de la misma forma que el sodio pero de manera más lenta, ya que los minerales que contienen potasio son los más resistentes a la descomposición por imtemperismo.

La flamometría se basa en el hecho de que los átomos de un metal en fase de vapor absorben fuerte y discretamente longitudes de onda características, que coinciden con las líneas espectrales que ellos mismos emiten. La medida de esta absorbancia está ligada a la concentración de dicho metal en una muestra, y por lo tanto nos da datos cuantitativos sobre su presencia en la misma. El flamómetro de llama proporciona rápidamente las determinaciones exactas de sodio, calcio, litio, y potasio en una amplia variedad de tipos de muestras.

### MATERIAL Y EQUIPO

- Matraces volumétricos de 25 y 50 ml.
- Pipetas volumétricas de 1, 2, y 5 ml.

- Microbureta.
- Flamómetro.

## REACTIVOS

- Estándar de Potasio de 10 ppm.
- Estándar de sodio de 10 ppm

## PROCEDIMIENTO

- Determinación de sodio

Prepare una dilución de la muestra, pipeteando de 1 a 5 ml de muestra y pasándola a un matraz Erlenmeyer de 125 mL.

Encienda el flamómetro, siguiendo el manual de operación de este y proceda a calibrarlo.

Tome las lecturas de la muestra y anótelas

- Determinación de potasio

Prepare una dilución de la muestra, pipeteando de 1 a 5 ml de la muestra y pasandola a un matraz volumétrico de 125 ml.

Encienda el flamómetro, siguiendo el manual de operación del mismo y proceda a calibrarlo. Tome las lecturas de la muestra y anótelas.

## CÁLCULOS

Los resultados obtenidos están expresados en mg/l. solo resta hacer una corrección por la dilución realizada, aplicando la siguiente forma:

Para el sodio:

$$\frac{meq}{l} (Na^+) = \frac{[lectura\ obtenida\ \frac{mg}{l}] * (Fd)}{23}$$

Para el potasio:

$$\frac{meq}{l} (K^+) = \frac{[lectura\ obtenida\ \frac{mg}{l}] * (Fd)}{39.1}$$

## 5.18 Determinación de alcalinidad

### INTRODUCCIÓN

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio.

Una medida de la alcalinidad total del medio es la cantidad de ácido fuerte que es necesario añadir a una muestra para llevar el pH a un valor predeterminado coincidente con el vire del naranja de metilo.

Este método está basado en la medición de la alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante de un ácido de concentración perfectamente conocida.

### EQUIPO

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

#### Equipo

- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg,

Materiales.

- Bureta con certificado o en su caso debe estar calibrada.

Limpieza del material: Las botellas de polietileno para las muestras, deben lavarse con detergente libre de fosfatos, enjuagarse con agua y secarse a temperatura ambiente.

## REACTIVOS Y PATRONES

Los reactivos que requiere el método deben ser grado reactivo a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características: a) Resistividad, megohm-cm a 25°C: 0,2 min; b) Conductividad,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C: 5,0 máx, c) pH: 5,0 a 8,0.

- Agua libre de CO<sub>2</sub>

Preparar todas las disoluciones con agua destilada o desionizada que ha sido hervida recientemente durante 15 min y enfriar a temperatura ambiente. Al final el pH del agua debe ser  $\geq 6$  y su conductividad  $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

- Biftalato de potasio ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ).
- Carbonato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) patrón primario.
- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), o ácido clorhídrico concentrado (HCl).
- Naranja de metilo.

- Fenolftaleína.
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Tiosulfato de sodio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).
- Disolución de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (0,1 N). Diluir 8,3 mL de ácido clorhídrico concentrado ó 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado en 1L con agua libre de  $\text{CO}_2$ .
- Disolución de ácido sulfúrico o clorhídrico (0,02 N). Diluir 200 mL de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico 0,1 N a 1 L de agua.
- Disolución de hidróxido de sodio (0,1 N). Pesar aproximadamente y con precisión 4,0 g de hidróxido de sodio disolver y diluir a 1 L con agua.
- Disolución de hidróxido de sodio (0,02 N). Transferir 200 mL de la solución de NaOH 0,1 N a un matraz volumétrico de 1L. Diluir a 1L con agua.
- Disolución de tiosulfato de sodio pentahidratado (0,1 M). Pesar aproximadamente y con precisión 25,0 g de tiosulfato de sodio y diluir a 1 L con agua (agregar 5 mL de cloroformo como preservador).
- Disolución indicadora de naranja de metilo. Pesar aproximadamente y con precisión 0,5 g del colorante naranja de metilo y aforar a 1L con agua. Filtrar la disolución fría para remover cualquier precipitado que se forme. O bien, pesar aproximadamente y con precisión 0,5 g de la sal de sodio y diluir a 1 L con agua, si es necesario filtrar cuando esté fría la disolución.
- Disolución indicadora de fenolftaleína. Pesar aproximadamente y con precisión 5,0 g de fenolftaleína y disolver en 500 mL de etanol, añadir 500 mL de agua con agitación constante. Filtrar si hay formación de precipitado.

## RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Recolectar por lo menos 500 mL de muestra en frascos de vidrio, polietileno o polipropileno. Siempre debe enjuagarse el frasco con una porción de la muestra.

Llenar las botellas completamente y tapar herméticamente, ya que las muestras de aguas residuales pueden estar sujetas a la acción microbiana y a pérdidas o ganancias de  $CO_2$  u otros gases cuando se exponen al aire. Evitar la agitación de la muestra y su exposición prolongada al aire.

Conservar a una temperatura de 0°C a 4 °C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

### PROCEDIMIENTO

- Valoración de las disoluciones

Valoración del ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (0,02 N). Pesar aproximadamente y con precisión 0,026 5 g del patrón primario de carbonato de sodio, secado 105°C, añadir unos 25 mL de agua y unas gotas de la disolución de naranja de metilo, valorar con el ácido hasta el vire del indicador (de canela a amarillo). Calcular la normalidad del ácido con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{A}{B * 53} * 1000$$

donde:

- N es la normalidad del ácido usado, equivalentes/l.;
- A son los gramos de carbonato de sodio;
- B son los mL de ácido utilizados,
- 53 son los gramos por equivalente de carbonato de sodio.

Valoración del hidróxido de sodio (0,02 N). Pesar aproximadamente y con precisión 0,102 g de biftalato de potasio secado a 105°C, añadir unos 25 mL de agua y unas gotas de la disolución de fenolftaleína, titular con la disolución de hidróxido de sodio hasta el vire del indicador (de incoloro a rosa). Calcular la normalidad del hidróxido con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{A}{B * 204.2} * 1000$$

Donde:

- N es la normalidad del hidróxido de sodio, equivalentes/L;
- A son los gramos de biftalato de potasio;
- B son los mL de hidróxido de sodio utilizados,
- 204,2 son los gramos por equivalente de biftalato de potasio.

- Alcalinidad.
  - Transferir 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
  - Adicionar 4 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína.
  - Titular con la disolución valorada de ácido (0,05 N) hasta el vire de la fenolftaleína (de rosa a incoloro), registrar los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína). Adicionar 4 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo.
  - Continuar con la titulación hasta alcanzar el vire del naranja de metilo. (de canela a amarillo), alcalinidad total.
  - Registrar los volúmenes para ambos puntos finales.
  - Calcular la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores.
  -

## CÁLCULOS

- Cálculo de Carbonatos en meq/L.

$$CO_3^{2-} \text{ en } \frac{meq}{l} = \frac{(V_1 * 2) * N * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

donde:

- $V_1$  es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del rosa para presencia de carbonato.
- N es la normalidad de la disolución de ácido 0.05;
- ml de muestra, es el volumen de la muestra en ml;
- 1 000 es el factor para convertir ml a l.
- Cálculo de Bicarbonatos en meq/l.

$$HCO_3^- \text{ en } \frac{meq}{l} = \frac{(V_2 - V_1) * N * 1000}{ml \text{ de muestra}}$$

donde:

- $V_1$  es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del rosa para presencia de carbonato.
- $V_2$  es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en ml.
- N es la normalidad de la disolución de ácido 0.05;
- ml de muestra, es el volumen de la muestra en ml;
- 1 000 es el factor para convertir ml a l.

## INTERFERENCIAS

No deben eliminarse los sólidos suspendidos de la muestra, ya que pueden contribuir a su acidez o alcalinidad.

Las muestras que contienen iones oxidables o hidrolizables como: Hierro (ferroso y férrico), aluminio y manganeso en concentraciones altas, causan desviaciones en los puntos finales.