



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Evaluación de la calidad sanitaria y nutrimental de
lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada con distintas aguas
de riego**

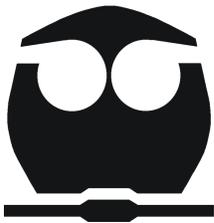
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA:

ZOILA ISABEL FERNÁNDEZ GARCÍA



MÉXICO, D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor. María del Carmen Wachter Rodarte.

VOCAL: Profesor. Víctor Manuel Luna Pabello.

SECRETARIO: Profesor. Luciano Hernández Gómez.

1^{ER} SUPLENTE: Profesor. Juan Carlos Ramírez Orejel.

2^{DO} SUPLENTE: Profesor. María Guadalupe Tsuzuki Reyes.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA EXPERIMENTAL. DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA.
FACULTAD DE QUÍMICA. UNAM.

ASESOR

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello.

SUPERVISOR TÉCNICO

M. en C. María Guadalupe Tsuzuki Reyes.

SUSTENTANTE

Zoila Isabel Fernández García.

RECONOCIMIENTOS

Se hace patente el apoyo recibido por parte del proyecto DGAPA PAPIIT IN-107209 “Desarrollo de un humedal artificial de alta eficiencia para remoción de contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos”, así como del PAIP FQ-VMLP 6190-14 2009 y 2010.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, por darme la libertad y confianza de ser yo misma y de enfrentarme a la vida tal cual soy. Gracias por estar ahí y dejarme ser. La vida no basta para agradecer a nuestros padres lo que hacen por nosotros. En este documento te agradezco a ti las tantas oportunidades que me has dado en lo que llevo de vida. Gracias también por tu apoyo incondicional, a tu manera pero incondicional. Te quiero profundamente.

A la persona que complementa mi vida y mi espíritu, no pensé encontrarte aquí pero sucedió, las paredes de nuestra facultad se volvieron nuestros cómplices y ahora no logro asimilar mi visión del futuro sin tu presencia. José Luz, te amo profundamente.

A las dos lucecitas que iluminan mi vida, José Diego y José Paolo, gracias por llenarme de tanta felicidad.

Al Dr. Víctor Manuel Luna Pabello por todo su apoyo, libertad y confianza con la que se trabaja en el Laboratorio de Microbiología Experimental. Sé que ya está en el corazón de muchos a los que ha formado incluyéndome a mí.

A la maestra Lupita y al profesor Luciano por su disponibilidad siempre que necesité su asesoría. A la Dra. Carmen Wachter por sus muy importantes comentarios para este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, me has dado tantas cosas, tanto en lo humano como en lo profesional, siempre llevaré tu escudo en mi corazón.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y ESTRATEGIA DE TRABAJO	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos particulares.....	5
2.3 Hipótesis	5
2.4 Estrategia de trabajo	6
3. ANTECEDENTES	7
3.1 Problemática general	7
3.1.1 Xochimilco, actividad agrícola y problemática actual.....	8
3.1.2 Agricultura ecológica y visión internacional	9
3.1.3 Aguas residuales y su legislación	11
3.1.4 Tratamiento de aguas residuales.....	13
3.2 Humedales artificiales	13
3.2.1 Aspectos generales.....	14
3.2.2 Clasificación	15
3.2.3 Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	15
3.3 Hortalizas	16
3.3.1 Factores nutrimentales.....	17
3.3.2 Microbiota presente en hortalizas	17
3.3.3 Lechuga. Clasificación taxonómica	18
3.3.4 Descripción, características y composición de la planta	18
3.3.5 Composición química de los alimentos y su importancia	21
3.4 Legislación referente al consumo de hortalizas	24
3.4.1 Microorganismos indicadores de la calidad e inocuidad microbiológicas de los alimentos	26
3.4.2 Mesófilos aerobios o cuenta total.....	27
3.4.3 Cuenta de coliformes totales y fecales.....	28
4. METODOLOGÍA.....	30
4.1 Evaluación parcial de la calidad del agua de trabajo	30
4.2 Descripción del HAFC-Xochimilco	30

4.3 Viabilidad de las semillas de lechuga.....	32
4.4 Cultivo y desarrollo de las lechugas.....	32
4.5 Tratamiento y conservación de las muestras para los análisis microbiológicos y químicos proximales.....	33
4.6 Descripción de las etapas experimentales.....	33
4.6.1 Análisis químico proximal.....	35
4.6.2 Análisis microbiológicos.....	37
4.6.3 Análisis estadístico.....	38
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
5.1 Calidad microbiológica de las diferentes aguas de trabajo.....	39
5.2 Viabilidad de las semillas de lechuga.....	41
5.3 Biomasa obtenida de las lechugas cultivadas.....	43
5.4 Calidad nutrimental de las hortalizas cultivadas.....	48
5.5 Calidad sanitaria de las hortalizas cultivadas.....	51
6. CONCLUSIONES.....	55
7. RECOMENDACIONES.....	56
8. BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXO.....	64

RESUMEN

El concepto de calidad alimentaria está asociado con la seguridad para el consumidor y engloba fundamentalmente los aspectos higiénico-sanitarios y nutrimentales de los alimentos. Actualmente, la zona de Xochimilco es una de las principales productoras de flores y hortalizas del D.F. y área metropolitana; pero debido al mal manejo del agua y a su escasez, la agricultura que ahí se desarrolla se ha venido deteriorando con el paso de los años y el incremento poblacional.

Por otro lado, tenemos los humedales artificiales como una muy buena opción de tratamiento para aguas residuales, principalmente porque operan con bajos costos tanto de operación como de inversión y tienen una baja generación de productos indeseados. Hoy en día, existe ya un humedal de este tipo en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco, UAM-X. Km 1 de la pista Olímpica de remo y canotaje "Virgilio Uribe", Cuemanco, Del. Xochimilco, México, D.F. Al tratar el agua de esta zona haciéndola pasar por el humedal artificial antes mencionado; se han reportado resultados satisfactorios al mejorar considerablemente su calidad tanto fisicoquímica como sanitaria.

En este trabajo se evalúa el efecto de cultivar hortalizas, particularmente la lechuga de la variedad "Great lakes", con agua del canal de Cuemanco antes y después de ser tratada en el humedal artificial antes mencionado. Este efecto se evalúa en función de la calidad sanitaria y nutrimental de la hortaliza, expresada en el contenido de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales, y el análisis químico proximal de la lechuga.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el agua que presentó mejor calidad sanitaria, con base en el contenido de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales; después del agua potable fue el agua del canal de Cuemanco tratada en el humedal artificial y después la no tratada.

Con respecto a la productividad de la lechuga, los pesos promedio al regar el cultivo con agua proveniente del humedal artificial y con agua del canal de Cuemanco, fueron de 7.47 y 5.77 gramos respectivamente, por lo que se generó mayor cantidad de biomasa al regar la lechuga con agua efluente del humedal artificial y no con agua del canal de Cuemanco como se esperaba. En el análisis químico proximal realizado, se observan diferencias significativas en función del tipo de agua de riego, es decir; el contenido de proteína en las hortalizas cultivadas con agua del canal de Cuemanco, sin un tratamiento previo, es mayor que en las hortalizas cultivadas con el agua efluente del humedal artificial. El contenido de minerales, en las hortalizas cultivadas con agua proveniente del humedal artificial, es mayor que en las cultivadas con el agua del canal de Cuemanco, sin tratamiento previo. Por último, el contenido de fibra cruda, resultó más elevado en el caso de las hortalizas cultivadas con agua del canal de Cuemanco.

1. INTRODUCCIÓN

El tema de inocuidad alimentaria en las frutas y verduras frescas, es decir, el asegurar que el consumo de este tipo de alimentos no cause daños o se convierta en un peligro para la salud de los consumidores, se ha convertido en una prioridad tanto para la protección de la salud pública como para seguir manteniendo la competitividad, posicionamiento y un mayor acceso de los productos agrícolas a los mercados internacionales (Berdegué *et al.*, 2005; Sela y Fallik, 2009).

En los últimos años el consumo de hortalizas ha aumentado a nivel mundial. Una de las principales razones es que los diferentes grupos de consumidores consideran que estos productos son nutritivos, saludables y convenientes para la salud; razón avalada por los médicos y nutriólogos que recomiendan un consumo diario de al menos cinco porciones.

Sin embargo, las hortalizas han sido asociadas con brotes de origen microbiano en varios países. La contaminación microbiológica en vegetales puede llegar a ser más seria que la contaminación en carnes u otros productos debido a que en general los vegetales se consumen sin haber recibido un tratamiento de conservación previo (Beuchat, 1996; Traviezo *et al.*, 2004; Tananta *et al.*, 2004).

Investigaciones realizadas demuestran la presencia de patógenos humanos en vegetales frescos, indicando posibles factores como la fertilización con composta orgánico, aguas de riego contaminadas, hábitos de consumo, malas prácticas de cosecha y pos cosecha (Regmi *et al.*, 2004; Murga, 1995).

La producción de hortalizas es tradicional en la zona sur de la ciudad de México y Xochimilco se ha especializado en aquellas que se adaptan al sistema chinampero de constante humedad. Así, en Xochimilco se produce: acelga, apio, brócoli, calabacita, chícharo, chile verde, col, coliflor, elote, espinaca, haba verde, lechuga, rabanito, romerito, verdolaga, zanahoria, entre otras de menor importancia (Anuario estadístico del Distrito federal, 2008).

El problema que enfrenta Xochimilco y la región, es la deficiente calidad de agua que alimenta los canales; de ahí que al cultivar hortalizas con estas aguas sin tratar, éstas puedan ocasionar brotes de enfermedades gastrointestinales serios para la salud. Es necesario crear nuevas alternativas para mejorar la calidad de agua que ya existe en estos canales antes de que sea usada para el riego de cultivos.

En este trabajo, se pretende empezar a estudiar la influencia de la calidad del agua en los cultivos; no sólo en su calidad sanitaria sino también en su calidad nutrimental.

2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y ESTRATEGIA DE TRABAJO

2.1 Objetivo general

- ★ Evaluar la calidad sanitaria y nutrimental de la lechuga al cultivarla con distintas aguas de riego.

2.2 Objetivos particulares

- ★ Caracterizar la calidad sanitaria de los tipos de agua en estudio: agua potable, agua del canal de Cuemanco con y sin el tratamiento en el humedal artificial; mediante el contenido de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales presentes en las muestras de agua.
- ★ Determinar la influencia que tiene la calidad del agua en la germinación de las semillas de lechuga variedad “Great lakes”.
- ★ Evaluar la calidad nutrimental de las hortalizas cultivadas por medio de su análisis químico proximal.
- ★ Evaluar la calidad sanitaria de las hortalizas cultivadas, a través del conteo de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales presentes en las mismas.
- ★ Determinar si se modifican o no las características sanitarias y nutrimentales de la lechuga variedad “Great lakes” al cambiar su fuente de riego.

2.3 Hipótesis

- ★ La calidad sanitaria de la lechuga se mejora, sin detrimento de la calidad nutrimental, cuando el riego se realiza con agua del Canal de Cuemanco, tratada previamente por un humedal artificial.

2.4 Estrategia de trabajo

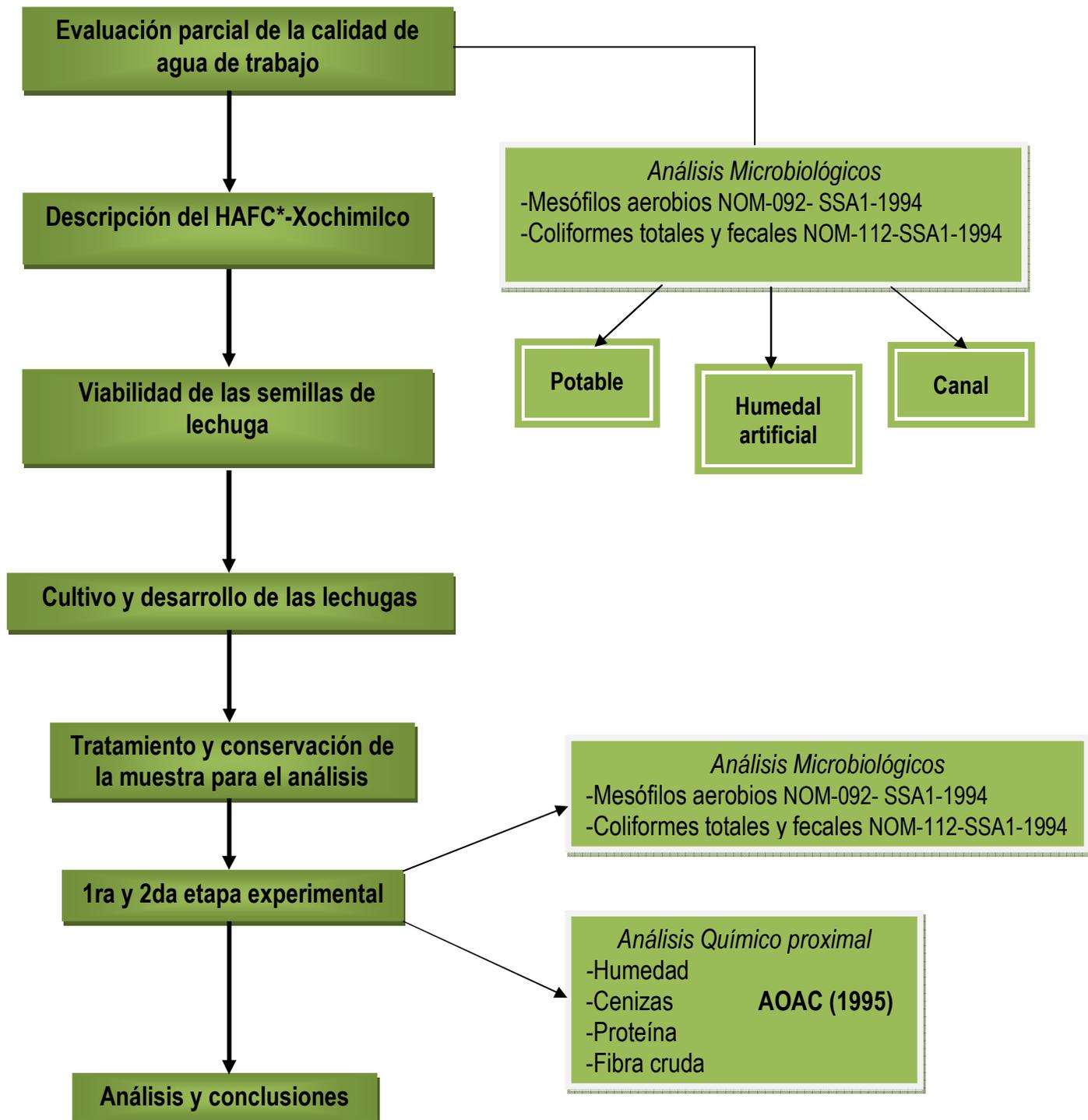


Figura 1. Diagrama general de trabajo

*HAFC-Xochimilco= humedal artificial de flujo combinado.

3. ANTECEDENTES

3.1 Problemática general

El agua es un bien escaso en gran parte del mundo donde la agricultura consume gran parte de los recursos. La agricultura es el uso que mayor demanda del agua supone a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas supone la utilización de un 70 % de los recursos hídricos en el mundo y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. El incremento de la presión sobre los recursos hídricos para la agricultura compite con el uso del agua para otros fines y representa una amenaza para el medio ambiente y utilización insostenible de los recursos hídricos del planeta (Jiménez, 1997; Sandoval y Collí, 2006; Shual y Fattal, 2003).

La agricultura generalmente consume agua de buena calidad que podría ser utilizada para otros usos más restrictivos, es por ello que la reutilización de agua residual, además de aportar el aumento del techo de recursos disponibles, permite que esa agua de calidad que antes se usaba para riego agrícola, esté disponible para otros usos. Lo ideal sería poder reutilizar las aguas residuales para contar con más recursos al mismo tiempo que se cuenta con una cantidad adicional de nutrientes (Jiménez y Hernández, 1999; Jiménez *et al.*, 2002; Qadir *et al.*, 2008).

El tratamiento de las aguas residuales, se considera que podría ser utilizado en zonas rurales o áreas peri-urbanas de los países en desarrollo con escasez de agua para producir cultivos comerciales como flores, además de la producción de alimentos (Godfrey *et al.*, 2010).

Las fuentes alternas de regadío son el uso del agua municipal y agua de drenaje. En cualquier caso, el uso de agua reciclada puede tener efectos adversos para la salud pública y el medio ambiente. La calidad de agua usada para irrigación es determinante para la producción y calidad en la agricultura, mantenimiento de la productividad del suelo de

manera sostenible y protección del medio ambiente (Chaidez, 2002; Lara y Hernández, 2002; Vantin *et al.*, 2008).

El consumo de hortalizas en México y el mundo es ampliamente recomendado por su apreciable contenido de vitaminas, minerales y fibra. No obstante, el riego de estos vegetales empleando aguas residuales tratadas no siempre en forma muy eficiente, puede ocasionar fuertes implicaciones dentro del sector salud.

La calidad e inocuidad de los alimentos son objeto de preocupación por los consumidores que esperan que sus alimentos sean apetecibles, nutritivos e inocuos. En el caso particular de frutas y hortalizas frescas, producidas por los métodos convencionales, el aumento reciente de reportes sobre Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETAs), asociadas con el consumo de estos productos, ha despertado inquietudes entre los organismos de salud pública y la población en muchos países del mundo respecto a la inocuidad de los mismos, debido a que se producen en una amplia variedad de condiciones agroecológicas, con la utilización de diversas tecnologías agrícolas, de cosecha, pos cosecha y comercialización y que para garantizar su estado fresco no son procesados para eliminar agentes patógenos (García, 2003; Badosa *et al.*, 2008).

3.1.1 Xochimilco, actividad agrícola y problemática actual

Xochimilco, o *Xochitl-milli-co* en la lengua de nuestros antepasados, se traduce hoy como "el lugar de las flores". Los innumerables canales que aún se conservan en Xochimilco penetran hasta el corazón de algunos de los 18 barrios tradicionales. Pese a la desecación de la antigua cuenca hidrológica del valle de México, se conservan en el sur de la ciudad, vestigios lacustres prehispánicos integrados por aproximadamente 140 kilómetros de canales y 25 hectáreas de chinampas, las cuáles, son porciones de tierra formada por capas extraídas del fondo de los lagos y conformadas por sauces para compactarla y arraigarla al fondo del lago

(Legorreta, 2005; Chávez, 2003). Esta zona no sólo constituye una importante reserva ecológica, sino un sistema integral de producción agrícola que ha dado sustento a una organización social basada en la agricultura (Vega *et al.*, 2005).

La importancia de conservar esta región se fundamenta en factores como la elevada productividad de las chinampas; además de que es la región productora de hortalizas y flores más importante de la Ciudad de México.

El agua contaminada provoca alteraciones en la productividad agrícola y es un serio riesgo para la salud. Las chinampas que producen hortalizas regadas con aguas de mala calidad reducen la capacidad de comercialización de sus productos (Canabal, 2004). Así, en una superficie de 518 hectáreas básicamente de chinampería, se produce apio, acelga, brócoli, calabacita, col, coliflor, espinaca, lechuga, rábano, zanahoria; además plantas medicinales (manzanilla, hierbabuena), plantas aromáticas y otras comestibles que son silvestres y que siempre han formado parte del entorno chinampero, como la verdolaga, el romerito y los quelites (Anuario estadístico del Distrito federal, 2008; Delegación Xochimilco, 2008). Por la superficie cultivada, valor de la producción y empleos generados, la agricultura en esta región representa un valor importante.

3.1.2 Agricultura ecológica y visión internacional

La agricultura ecológica se traduce en formas de producción agropecuaria en la que se utilizan métodos sostenibles de producción agrícola que recuperan, conservan los suelos, disminuyen la contaminación de las aguas, promueven la diversificación de cultivos y el cuidado y conservación de los recursos naturales, todo esto, fomentando el desarrollo de mercados ecológicos para beneficio del productor y del consumidor, así como el desarrollo del sector rural del Distrito Federal (Romero, 2006).

El Gobierno del Distrito Federal, mediante la Secretaría del Medio Ambiente creó un proyecto llamado “Sello Verde”, el cual está encaminado al apoyo de productores de agricultura orgánica en el Distrito Federal en lo referente a infraestructura y procesos de certificación de sus productos. Para desarrollar este programa se creó una norma para la agricultura ecológica publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 18 de Diciembre del 2003. Todo esto en el marco del Programa de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, instrumento mediante el cuál se regula de manera general las actividades forestales, agrícolas, ganaderas, recreativas y de conservación de la biodiversidad.

Desde el ángulo de visión de la FAO, la agricultura orgánica comprende a un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema y en particular: la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo; requiriéndose tecnologías basadas en la información técnico-científica verificada que permita una apropiación y expansión.

La agricultura orgánica, visualizada como componente coexistente con otras formas de agricultura a nivel urbano y periurbano, están comenzando a atraer la atención de muchos países especialmente frente a la reducción del apoyo gubernamental en los créditos a los insumos agrícolas y en la transferencia de tecnología. Para que ésto se promueva y concrete, es necesario plantear un enfoque de diversificación en los sistemas orgánicos aumentando a su vez la estabilidad de los ecosistemas, la protección del medio ambiente, la inocuidad de la salud humana y la adaptación a las condiciones socioeconómicas que imperan en los sectores marginados de amplias zonas urbanas y peri urbanas de América Latina y el Caribe (IFOAM, 2010). Este proceso debe estar basado sobre lineamientos técnicos comprobados en un proceso de coexistencia con lineamientos que provienen de la agricultura sostenible; la agricultura de conservación de suelos, el manejo integrado de cultivos y plagas y las aplicaciones de la biotecnología especialmente en el control de limitaciones abióticas y bióticas que están incidiendo sobre la productividad e inocuidad de los productos.

La agricultura orgánica sostenible, plantea desafíos nuevos a los países y sus instituciones; especialmente en la posibilidad de contribuir a la calidad del medio ambiente, la generación de ingresos y la seguridad alimentaria. Una decisión informada, basada en la ciencia y la tecnología respecto a la agricultura orgánica, debe integrarse dentro de una gama de opciones agrícolas y hortícolas sostenibles con el apoyo de la investigación y la extensión que permitan apoyar oportunidades comerciales a niveles nacionales e internacionales. La agricultura orgánica brinda la ocasión de combinar conocimientos tradicionales con la ciencia moderna biológica, genética y molecular, tecnologías de producción nuevas e innovadoras para proporcionar oportunidades comerciales que permitan la generación de ingresos y un mayor aporte al autosuministro de alimentos.

La producción de alimentos orgánicos constituye un agronegocio en rápida expansión a nivel mundial enfocado a satisfacer las expectativas de un sector del mercado internacional de alimentos que desea consumir productos con mayor calidad e inocuidad, asegurada o certificada y dispuesto a pagar precios superiores por ello.

3.1.3 Aguas residuales y su legislación

Una definición de aguas residuales es: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso o la mezcla de ellos (NOM-001-SEMARNAT-1996).

Las aguas residuales contienen diversidad de compuestos y organismos dependiendo su origen como son: desechos humanos, desperdicios caseros, corrientes pluviales, y otras especies de desperdicios que las personas tiran al sistema de alcantarillado (Rodríguez, 1998).

Puesto que la composición de las aguas residuales es variada, es de esperarse que el tipo y número de microorganismos también fluctúe como ocurre con los hongos, protozoos, algas, bacterias y virus. Las aguas residuales contienen millones de bacterias por mL como son: coliformes, estreptococos, bacilos esporulados anaerobios, *Proteus* y otros géneros que se originan en el tracto digestivo humano. El predominio de algunos tipos fisiológicos de bacterias cambia durante el curso del tratamiento de las aguas negras (Pelczar, 1990; Santaella, 2002; Finley *et al.*, 2009).

En relación con las normas oficiales mexicanas expedidas por la SEMARNAT y referidas a los límites máximos permisibles de contaminantes en el agua, es posible apreciar las siguientes normas:

NOM-001-SEMARNAT-1996. La cuál establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D. F.

NOM-002-SEMARNAT-1996. La cuál establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, a los sistemas de alcantarillado. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D. F.

NOM-003-SEMARNAT-1997. La cuál establece los límites máximos permisibles en las aguas tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D. F.

De las tres normas mencionadas anteriormente, la NOM-001-SEMARNAT-1996, es la que sirve de base y de referencia para la expedición y aplicación de las dos normas posteriores. Las tres normas definen en el ámbito de su competencia, los diferentes conceptos necesarios para regular el objetivo para el que fueron creadas, siendo el concepto de aguas residuales el único concepto totalmente homogéneo en las tres normas.

3.1.4 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es la serie de operaciones unitarias a las que se someten dichas aguas para impartirles una calidad determinada, de acuerdo al uso requerido (Mondragón, 2001).

Los sistemas de tratamiento más comunes son: los aerobios, anaerobios, biológicos, sedimentación con lodos activados, entre otros. Estos procesos conllevan grandes consecuencias como altos costos en arranque y operación, subproductos que requieren otro tipo de tratamiento, constante mantenimiento, supervisión continua y operadores capacitados para su buen rendimiento (Luna Pabello y Ramírez Carrillo., 2009).

3.2 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas construidos por el ser humano. Básicamente constan de tres componentes: plantas vasculares, medio de soporte y microorganismos. La interacción de los mismos, da como resultado la remoción de contaminantes por medio de mecanismos físicos, químicos y biológicos; permitiendo a su vez, el establecimiento de un ecosistema equivalente al de un humedal natural.

Entre las ventajas de este tipo de sistemas frente a sistemas de tratamiento convencional como las plantas de lodos activados, se encuentran sus bajos costos de operación y la baja generación de subproductos no deseados; los cuales pueden ser reintroducidos fácilmente a los ciclos geoquímicos naturales. Además, ofrece materia prima para la elaboración de productos artesanales, impacta positivamente y genera un ambiente amigable (Mata y Rangel, 2006).

Con la aplicación de humedales artificiales es posible contrarrestar el deterioro de cuerpos de agua e impulsar el desarrollo comunitario mediante la creación de fuentes de empleo con grandes beneficios ecológicos. Por lo anterior, los humedales artificiales representan una

alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para el tratamiento de aguas contaminadas. Su aplicación a nivel mundial, ha permitido evidenciar las bondades que ofrece para el tratamiento de una amplia gama de aguas residuales (Lara, 1999).

En México, su aplicación a escala real ha sido limitada, restringiéndose casi a la depuración de aguas residuales municipales. Una área de oportunidad muy interesante para su aplicación, es la depuración de aguas eutrofizadas (con alta productividad primaria o fotosintética), como es el caso del lago de Xochimilco y la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe.

La estimación en la eficiencia de los humedales artificiales se determina mediante su capacidad para remover los diferentes tipos de contaminantes presentes en las aguas residuales. En general, en este tipo de sistemas se le da mayor importancia a la remoción de la materia orgánica (DQO), los sólidos sedimentables (Sse), sólidos disueltos (SD), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).

Los procesos en los que se basa el funcionamiento de los humedales artificiales son del tipo físico, químico y biológico. La combinación de estos diferentes procesos depurativos resulta en la remoción de contaminantes de manera simultánea y/o secuencial a lo largo del sistema (Sánchez, 2009).

3.2.1 Aspectos generales

La tecnología de humedales artificiales está definida como un complejo ecosistema de sustratos saturados, vegetación (macrófitas) y agua, cuyo objetivo es la remoción de la mayor cantidad de contaminantes a través de mecanismos de depuración, como la remoción de sólidos suspendidos por sedimentación y filtración; biodegradación de materia orgánica por microorganismos aerobios y anaerobios; eliminación de microorganismos patógenos por

sedimentación, filtración, toxicidad por antibióticos producidos por las raíces de las macrófitas, absorción en partículas de arcilla y la acción depredadora de otros organismos; remoción de metales pesados, atribuido al fenómeno de precipitación - absorción; precipitación de los hidróxidos, sulfuros; y ajuste del pH (Romero, 2006; Hensch *et al.*, 2003). Existen diferentes tipos de humedales artificiales los cuales se utilizan dependiendo de las condiciones del agua, el espacio disponible, las comunidades cercanas a la zona, el ecosistema, en fin hay varios factores que favorecen el uso de un tipo de humedal a otro, lo interesante es que se pueden crear arreglos con cada uno de éstos sistemas obteniendo resultados adecuados a las necesidades particulares del lugar.

3.2.2 Clasificación

Algunos autores sugieren clasificar a los humedales artificiales en cuatro tipos diferentes tomando como base la forma de vida de las plantas vasculares del sistema. Existen los sistemas de libre flotación, sistemas de plantas submergentes, sistemas multietapas y sistemas de plantas con raíces emergentes. Estos últimos se dividen en sistemas de flujo superficial y de flujo subsuperficial (Millán, 1999).

3.2.3 Humedales artificiales de flujo subsuperficial

En este tipo de humedales artificiales el agua fluye por la zona de raíz y a través del medio de soporte, las raíces penetran hasta el fondo del lecho. El tratamiento del agua es más eficiente que en los otros tipos de sistemas de humedales artificiales ya que al proveer el lecho; un gran número de superficies, poros y retículos donde los microorganismos pueden sujetarse, la materia orgánica queda atrapada o reacciona con el substrato. Este tipo de humedales se divide dependiendo del tipo de patrón de flujo que sigue el agua en el lecho en: humedales artificiales de flujo horizontal y humedales artificiales de flujo vertical.

Un humedal artificial de flujo subsuperficial HAFS está diseñado para el tratamiento de agua residual, está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado.

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores, por tanto disminuye el riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada.

En los HAFS el sustrato que utilizan los microorganismos para adherirse y realizar reacciones metabólicas, incluye el sustrato sumergido, las raíces de las plantas que crecen en el medio, y la superficie misma del medio (EPA, 2000).

Por lo anterior, se considera que dadas las características de la zona chinampera de San Gregorio, Xochimilco, los HAFS son los sistemas de tratamiento más adecuados para las necesidades del productor, sobre todo en cuestión de costos de construcción, mantenimiento y operación.

3.3 Hortalizas

Bajo la denominación de hortalizas y verduras, se incluye una gran diversidad de alimentos de origen vegetal de frecuente consumo humano. Constituyen junto con las frutas, los alimentos que más contribuyen a la función reguladora del organismo; principalmente por su aporte de minerales, vitaminas y porque proporcionan al organismo gran parte del agua que necesita (Astiasarán, 2000). Como consecuencia del aumento de la población mundial y la paralela disminución de superficies cultivables; se ha agravado el problema del suministro de alimentos. En estas circunstancias, las fuentes de alimentos de origen vegetal tienden a sustituir a las de origen animal. Además, el incremento en el consumo de vegetales motivado por sus efectos beneficiosos generales o específicos sobre la salud, ha producido también una mayor demanda de productos de origen vegetal.

3.3.1 Factores nutrimentales

En general, las hortalizas son ricas en vitaminas, minerales y fibra; sobre todo si son ingeridas en crudo ya que la mayoría de las vitaminas se ven altamente alteradas o destruidas por la acción del calor.

El color verde que presentan es debido a la clorofila (compuesto nutritivo que poseen las plantas verdes) es la que por influjo de la acción solar, se transforma esta energía en compuestos energéticamente útiles a las plantas; lo cual confiere a las hojas verdes varias virtudes o propiedades para la nutrición del hombre, entre las que destacan: contribuir a la regeneración sanguínea y de los glóbulos rojos, ayudan a la asimilación de proteínas, presentan una acción reguladora de la nutrición y de la tensión arterial e influyen en el equilibrio ácido-base del organismo (Acevedo, 1998; Jacques y Jean, 2000).

3.3.2 Microbiota presente en hortalizas

Mientras que en su interior los tejidos vegetales se mantienen libres de gérmenes, en su superficie se adhieren numerosos microorganismos que son depositados por contacto con el suelo, aire, agua, protozoos, entre otros. La flora común está constituida por diversas bacterias gram (+) y gram (-). La microbiota de las verduras y hortalizas, se encuentra formada por bacterias, entre las que destacan los géneros: *Corynebacterium*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus* y *Micrococcus* (Tórtora, 1995).

3.3.3 Lechuga. Clasificación taxonómica

Nombre común: lechuga

Nombre científico: *Lactuca sativa*

Variedad: Great lakes 407

Origen: Asia

Familia: *Asteraceae Compositae*

(Infoagro, 2009; Astiasarán, 2000).

3.3.4 Descripción, características y composición de la planta

Es una planta anual. La raíz es pivotante, corta, con ramificaciones y no llega a sobrepasar los 25 cm de profundidad. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros, se acogollan más tarde.

Las semillas en algunas variedades tienen un periodo de latencia después de su recolección, que es inducido por temperaturas altas. Muchas variedades germinan mal en los primeros dos meses después de su recolección. La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18 °C por el día y 5-8 °C por la noche. Como temperatura máxima tendría los 30 °C y como mínima puede soportar temperaturas de hasta -6 °C. La lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche.

La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80 %, aunque en determinados momentos agradece menos del 60 %. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que se sube mucho la humedad ambiental, por lo que se recomienda cultivarlo al aire libre cuando las condiciones climatológicas lo permitan.

Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje. El pH óptimo se sitúa entre 6.7 y 7.4.

Este tipo de lechuga, es una hortaliza típica de climas frescos. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral y la calidad de la lechuga se deteriora rápidamente. Su forma es más o menos redondeada según la variedad. En general son de color verde aunque algunas variedades presentan hojas blanquecinas o incluso rojizas o marrones. Las hojas interiores de los cogollos son amarillentas. Su sabor es suave, agradable y fresco (Infoagro, 2009). Es un ingrediente importante de nuestra alimentación y su sabor fresco combina muy bien con casi todos los ingredientes de nuestras ensaladas. Su hoja tiene un alto contenido en fibra, la sabiduría popular le confiere propiedades para la anemia, debilidad en general, diurético y favorecedora del sueño. Las diferentes variedades presentan valores nutrimentales algo distintos, pero en general, las lechugas son ricas en fibra y con componentes muy saludables. En cuanto a su contenido de vitaminas; destaca la presencia de folatos, provitamina A o beta-caroteno y vitaminas C y E. Los folatos intervienen en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico. El beta-caroteno, es un pigmento natural que confiere el color amarillo-anaranjado-rojizo a los vegetales y que el organismo transforma en vitamina A según sus necesidades. En el caso de la lechuga, el beta-caroteno está enmascarado por la clorofila, que es un pigmento más abundante. La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, además de tener propiedades antioxidantes. La vitamina E interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad. Ejerce una acción antioxidante que también caracteriza a la vitamina C. Ésta participa en la formación de colágeno, huesos, dientes y glóbulos rojos. En cuanto a los minerales, la lechuga destaca por la presencia de calcio y hierro. También contiene magnesio, aunque en menor proporción. Su contenido de fibra le confiere propiedades laxantes. La fibra previene o alivia el estreñimiento, contribuye a reducir las tasas de colesterol en sangre y al buen control de la

glucemia en las personas que tienen diabetes. La mayor parte de la fibra en la lechuga es celulosa.

Tabla 1. Composición nutrimental de la lechuga

COMPUESTO	CANTIDAD en 100 g
Calorías	18 Kcal
Agua	95 g
Proteína	1.30 g
Grasa	0.30 g
Cenizas	0.90 g
Carbohidratos	0.50 g
Fibra	1.0 g
Calcio	50 mg
Hierro	1.00 mg
Fósforo	25 mg
Sodio	10 mg
Vitamina C	15 mg
Vitamina A	160 mg

Fuente: http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl

Los datos de la composición nutrimental de la lechuga están dados por cada 100 g de porción comestible.

La importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido tanto a la diversificación de tipos varietales como al aumento en su consumo.

Tabla 2. Producción mundial de lechugas

PAÍSES	PRODUCCIÓN LECHUGAS AÑO 2001 (toneladas)	PRODUCCIÓN LECHUGAS AÑO 2002 (toneladas)
China	7.605.000	8.005.000
Estados Unidos	4.472.120	4.352.740
España	972.600	914.900
Italia	965.593	845.593
India	790.000	790.000
Japón	553.800	560.000
Francia	490.936	433.400
México	212.719	234.452
Egipto	179.602	179.602
Bélgica-Luxemburgo	170.000	170.000
Alemania	166.493	195.067
Australia	145.000	145.000
Reino Unido	139.200	149.900
Portugal	95.000	95.000
Chile	85.000	86.000

Fuente: www.infoagro.com

3.3.5 Composición química de los alimentos y su importancia

La composición química de las hortalizas varía significativamente según el tipo y la procedencia. De forma genérica, puede decirse que el contenido acuoso oscila entre el 90 y 80 %, correspondiendo el resto del 10 al 20 % a la materia seca. Sus componentes se distribuyen de la siguiente forma: 3-20 % de hidratos de carbono, 1-5 % de compuestos nitrogenados, 0.6-2.5 % de fibra bruta, 0.5-1.5 % de minerales, 0.1 a 0.9 % de lípidos.

En el caso de la lechuga, el valor de Aw es de 0.98 y es de suma importancia porque pueden crecer casi todos los microorganismos patógenos existentes, dando lugar a alteraciones y toxiinfecciones alimentarias.

El contenido de vitaminas oscila mucho de un tipo de hortaliza a otro, aunque siempre se encuentran en pequeña proporción. En cantidades más pequeñas contienen otros

compuestos químicos como: ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, sustancias aromáticas, pigmentos y otros (Astiasarán, 2000; Egan *et al.*, 2006; Fennema, 2000).

Tabla 3. Composición química general de las hortalizas (g/100 g)

COMPONENTE QUÍMICO		PROPORCIÓN
AGUA		80-90
MATERIA SECA (20-10 %)	Hidratos de carbono	3-20
	Fibra bruta	0.6-2.5
	Compuestos nitrogenados	1-5
	Lípidos	0.1-0.9
	Minerales	0.5-1.5
	Vitaminas	Cantidades traza (200 mg)
	Ácidos orgánicos	
	Compuestos fenólicos	
	Sustancias aromáticas	
	Pigmentos	

Fuente: (Astiasarán, 2000; Mataix, 2003).

Hidratos de carbono

Constituyen la mayor proporción del residuo seco. Aunque su contenido puede variar entre límites que van del 3 al 20 %, es más frecuente que se sitúe entre el 3 y el 9 %, excepto en los tubérculos y raíces en los que puede incluso llegar hasta el 30 %. Predominan los polisacáridos respecto a los azúcares sencillos, lo que hace que tengan un sabor menos dulce y una consistencia más firme que las frutas; debido principalmente a la rigidez que le confieren la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas de las paredes celulares. En la mayoría de los casos el contenido de fibra bruta está próximo al 1 % (Fennema, 2000).

Fibra

Los agentes más comunes que proporcionan volumen de manera natural en los alimentos son restos de células vegetales resistentes a la hidrólisis enzimática de la digestión. Estos materiales incluyen celulosa, hemicelulosas, pectina y lignina. Los agentes de volumen de la fibra dietética son muy importantes en la nutrición humana, ya que mantienen el funcionamiento normal del tracto intestinal, incrementan el volumen del bolo alimenticio y del resto fecal; lo que disminuye el tiempo de tránsito intestinal y ayuda a prevenir el estreñimiento. Su presencia en los alimentos induce la sensación de saciedad tras las comidas. Estos agentes ayudan a disminuir los niveles de colesterol en sangre y por lo tanto, disminuyen el riesgo de padecer cáncer de colon debido a su acción de arrastre de sustancias (Astiasarán, 2000; Fennema, 2000).

Lípidos

Los lípidos representan menos del 1 % del peso fresco en casi todas las frutas y hortalizas. La mayoría son lípidos polares, destacando los fosfolípidos de membrana y los glicolípidos. Las sustancias lipídicas también son abundantes en las células de los tejidos epidérmicos de algunos órganos vegetales. Otros lípidos que se encuentran solamente en cantidades traza pueden contener una contribución importante en el flavor característico de los productos vegetales (Fennema, 2000).

Proteínas

El contenido proteico varía mucho en las distintas frutas y hortalizas, pero generalmente sólo representa un pequeño porcentaje del peso fresco. Algunos tejidos vegetales contienen cantidades apreciables (del 20 al 75 %) de nitrógeno no proteico. Es decir, más de las dos terceras partes del nitrógeno total puede encontrarse en forma de aminoácidos libres u otros componentes de la fracción nitrogenada no proteica.

En el conjunto de los vegetales, se han identificado más de 60 aminoácidos libres que no forman parte de las proteínas. La importancia de los compuestos nitrogenados no proteicos sobre la calidad y los cambios de los productos vegetales no está bien definida. Sin embargo, se conocen algunas de las funciones que pueden desempeñar en frutas y hortalizas.

Por un lado, participan en la formación de aromas típicos, y por otro, son responsables de la producción de aromas no deseados, alteraciones tisulares y modificaciones del color.

Algunos aminoácidos libres contribuyen al sabor de estos productos y otros son importantes precursores de compuestos aromáticos (Egan *et al.*, 2006).

Cenizas

Las cenizas se incluyen en las bases de datos de nutrientes como uno de los componentes inmediatos de los alimentos. Proporcionan una estimación del contenido total de minerales en éstos. Los minerales se encuentran en las cenizas en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, nitratos, cloruros y otros haluros. Por ello, el contenido de cenizas sobreestima el contenido mineral total en gran medida debido al oxígeno presente en muchos aniones. Proporciona, no obstante, una idea aproximada del contenido mineral y es necesario para calcular los carbohidratos totales en el esquema analítico inmediato. En la lechuga, el contenido de cenizas se encuentra alrededor del 0.5- 1.5 % (Astiasarán, 2000).

3.4 Legislación referente al consumo de hortalizas

La norma oficial mexicana NOM-093-SSA1-1994, ***Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos***, posee un apéndice informativo en el que se establecen recomendaciones sobre las cuentas microbianas de un determinado tipo de alimentos y platillos listos para servirse y consumirse. Entre estas recomendaciones se encuentran las correspondientes a ensaladas verdes

crudas, teniéndose los siguientes conteos máximos permisibles para los siguientes microorganismos: mesófilos aerobios 150 000 UFC/g y coliformes fecales 100 NMP/g.

Una de las percepciones que se ha generado en los países latinoamericanos, incluyendo México, es que sus legislaciones en seguridad e inocuidad de los alimentos tienen grandes diferencias, además de la necesidad de estandarizar a nivel internacional un sistema integral de inocuidad que sea homólogo entre todos los países y que tenga sus fundamentos en un sistema HACCP que está enfocado en crear una estructura de análisis de riesgos y puntos críticos de control, basados en la prevención y en el control de procesos con las Buenas Prácticas de Manufactura y con los Procedimientos de Operación Estándar de Saneamiento.

En nuestro país, las Normas Oficiales Mexicanas que controlaban la producción e inocuidad de alimentos hasta Diciembre del 2009, eran la NOM-120 y la NOM-093, que se enfocaban a los controles sanitarios y buenas prácticas de manufactura y saneamiento para establecimientos procesadores de alimentos hasta establecimientos fijos y semifijos donde se expenden los mismos como restaurantes, negocios de comidas, comisariatos y similares.

Ante la continua presencia de enfermedades transmitidas por alimentos, el surgimiento de más patógenos emergentes, y la notoria e imparable globalización en el suministro mundial de alimentos y considerando que nuestro país es uno de los jugadores de peso en la industria global de exportación de alimentos frescos, sobre todo de origen vegetal, el Sistema Federal de Salud, por medio de su brazo de control la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) inició, consultó y decretó finalmente en Diciembre de 2009, NOM-251-SSA1-2009 Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, que entra en vigor oficial desde Septiembre de 2010, 270 días después de su publicación.

La importancia de esta norma oficial mexicana es que está oficializando la necesidad de que cualquier procesador de alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, tenga implementado un sistema de calidad e inocuidad de sus productos, desde el campo hasta la mesa, porque

exige la trazabilidad de las materias primas hasta el producto terminado y continúa hasta los canales mismos de distribución, porque en ninguna norma previa, se documentaba que productos contaminados con adulterantes que puedan causar un daño a la salud (sean físicos, químicos o microbiológicos) deban ser retirados del mercado con un proceso documentado y controlado, incluyendo el aviso a la autoridad sanitaria de dichos eventos y actividades. Su cumplimiento es obligatorio para las personas físicas o morales que se dedican al proceso de alimentos y buscan conservar la buena higiene en instalaciones, equipo, etc. Aunque esta norma ya no marca límites máximos de microorganismos para los alimentos, busca brindar mayor seguridad en el consumo de los alimentos.

3.4.1 Microorganismos indicadores de la calidad e inocuidad microbiológicas de los alimentos

La calidad microbiológica de los alimentos es fundamental porque influye en su conservación y vida de anaquel, pero sobre todo, porque los microorganismos presentes en ellos pueden ser causantes de enfermedades transmitidas por alimentos o ETA's.

La detección en el laboratorio de los microorganismos patógenos puede ser muy complicada, muy lenta y/o muy costosa para determinaciones rutinarias. Por esas razones, las normas en materia de alimentos, generalmente establecen la calidad microbiológica en términos de microorganismos indicadores. Los microorganismos indicadores son un grupo de microorganismos que al ser identificados, reflejan de manera indirecta el estado de un producto desde el punto de vista de su calidad sanitaria (relacionándose con la presencia de patógenos).

Además de que su detección en el laboratorio es más sencilla, rápida y/o económica; los microorganismos indicadores permiten un enfoque de prevención de riesgos puesto que advierten oportunamente un manejo inadecuado y/o contaminación e incrementan el riesgo de presencia de microorganismos patógenos en alimentos.

La selección de indicadores en un alimento depende fundamentalmente de los riesgos implicados y de lo que se requiera saber para liberar, controlar o mejorar el alimento, manteniendo el enfoque preventivo (Stevens *et al.*, 2003; Ashbolt, 2001). Algunos de los requisitos que debe cumplir el grupo de microorganismos indicadores son:

- Ser fácil y rápidamente detectables
- Fácil distinción del resto de la microbiota
- Encontrarse estrechamente relacionados o asociados con la presencia de microorganismos patógenos
- Poseer requerimientos nutricionales y una cinética de crecimiento semejante a los microorganismos patógenos
- La concentración del indicador debe ser mayor en proporción a la concentración del patógeno.
- Si el microorganismo indicador no se encuentra, tampoco debe encontrarse el microorganismo patógeno.

Buenos ejemplos de este tipo de microorganismos son los del grupo coliforme y los mesófilos aerobios.

3.4.2 Mesófilos aerobios o cuenta total

Esta determinación indica el grado de contaminación de una muestra y las condiciones que han favorecido o reducido la carga microbiana. Este grupo es un indicador importante en alimentos frescos.

Son microorganismos cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre 20 y 37 °C. Se buscan como indicadores de calidad debido a que la mayoría de los patógenos que se buscan en alimentos son mesófilos, tienen alta especificidad por el intestino, se encuentran en números altos en heces y se detectan fácilmente. Su determinación se lleva a cabo a partir de diluciones decimales de la muestra que se inoculan en placas vertidas de

agar triptona glucosa extracto o agar cuenta estándar. Las placas se incuban en condiciones de aerobiosis, a 35 °C durante 24 a 48 horas. Es importante aplicar las reglas para el recuento, de la NOM-092-SSA1- 1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Bacterias Aerobias en Placa (Adams y Moss, 2005; Doyle, 1997).

3.4.3 Cuenta de coliformes totales y fecales

Las bacterias del grupo coliforme se definen como: bacilos cortos, gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa a 35 °C en menos de 48 h con producción de ácido y gas. Incluye los géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*.

Durante mucho tiempo se consideraron evidencia de contaminación fecal, pero se ha demostrado que muchos de ellos pueden vivir e incluso crecer en el suelo, el agua y otros ambientes. Actualmente, se consideran un excelente indicador de la eficiencia de los procesos de sanitización y desinfección; así como de la calidad sanitaria en agua, vegetales y diversos productos procesados.

Su determinación se basa generalmente en la capacidad de fermentar lactosa. Se puede utilizar el método del número más probable (NMP) que es un método estadístico y permite el hallazgo de cantidades muy bajas de coliformes. Se pueden detectar también por cuenta en placa utilizando agar bilis-rojo violeta (ABRV o RVBA por sus siglas en inglés) en el cuál, las colonias fermentadoras de lactosa causan el vire del indicador, o bien, pueden identificarse por filtración en membrana (*Millipore*) e incubación en medios selectivos y diferenciales; también son detectables por métodos rápidos, novedosos y más costosos como *Petriefilm* y reacciones cromogénicas o fluorogénicas (Adams y Moss, 2005; Doyle, 1997).

El uso de los coliformes como indicador sanitario puede aplicarse para:

- La detección de prácticas sanitarias deficientes en el manejo y en la fabricación de los alimentos
- La evaluación de la calidad microbiológica de un producto, aunque su presencia no necesariamente implica un riesgo sanitario
- La evaluación de la eficiencia de prácticas sanitarias e higiénicas en los equipos
- Determinar la calidad sanitaria del agua y hielo utilizados en las diferentes áreas del procesamiento de alimentos

Dentro del grupo coliforme, los de origen fecal son los capaces de fermentar la lactosa a 42-45° C. Se consideran el indicador más adecuado de contaminación con heces de animales y/o humanos en pescados y mariscos, carnes, leche, entre otros. La determinación se hace a partir de la segunda etapa (confirmativa) del método de NMP, cultivando en caldo lactosado con incubación a 42-45° C.

4. METODOLOGÍA

4.1 Evaluación parcial de la calidad del agua de trabajo

Las muestras de agua potable, se obtuvieron directamente del laboratorio donde se realizó el estudio y las muestras provenientes tanto del canal de Cuemanco como del humedal artificial; se obtuvieron del CIBAC (Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco UAM-Xochimilco), ubicado a un km de la pista olímpica de remo y canotaje “Virgilio Uribe”, Cuemanco, Del. Xochimilco; México, D.F. Se hizo la determinación de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y fecales en el agua según lo establecido en las NOM-092, 110, 112-SSA1-1994.

4.2 Descripción del HAFC-Xochimilco

El humedal artificial de flujo combinado (HAFC), se construyó en el centro de investigaciones biológicas y acuícolas de Cuemanco (CIBAC), se encuentra ubicado a un costado de la pista olímpica de remo y canotaje, a 300 metros del embarcadero de Cuemanco entrando por el periférico Adolfo López Mateos. Es un espacio que ha permitido establecer importantes intercambios científicos con instituciones nacionales e internacionales. El diseño del humedal está basado en la combinación de estructuras y flujos de alimentación que se proporcionan a humedales artificiales de flujo vertical y horizontal, ya que estos diseños presentan ventajas que en su conjunto generan un novedoso arreglo incorporando mecanismos de distribución hidráulica y adaptando un filtro posterior; es factible obtener un efluente con mayor calidad. Asimismo, existe la posibilidad de cosechar plantas de tipo forrajero y de ornato que le dan un valor añadido a esta ecotécnica (Luna Pabello y Ramírez Carrillo, 2009).

El HAFC construido en el CIBAC, consiste en un sedimentador primario, el humedal artificial, dos tanques de almacenamiento y un filtro de pulimento.

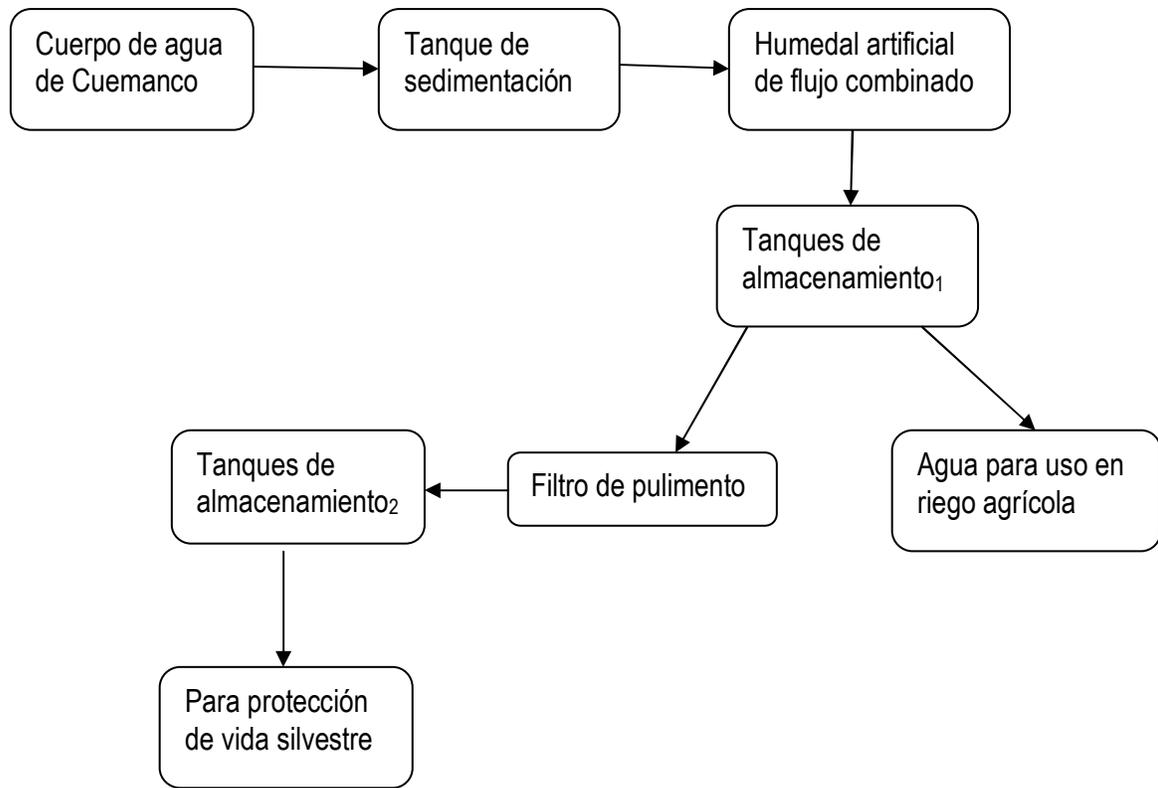


Figura 2. Diagrama de bloques de las etapas del proceso depurativo en el HAFC (Sánchez, 2009).

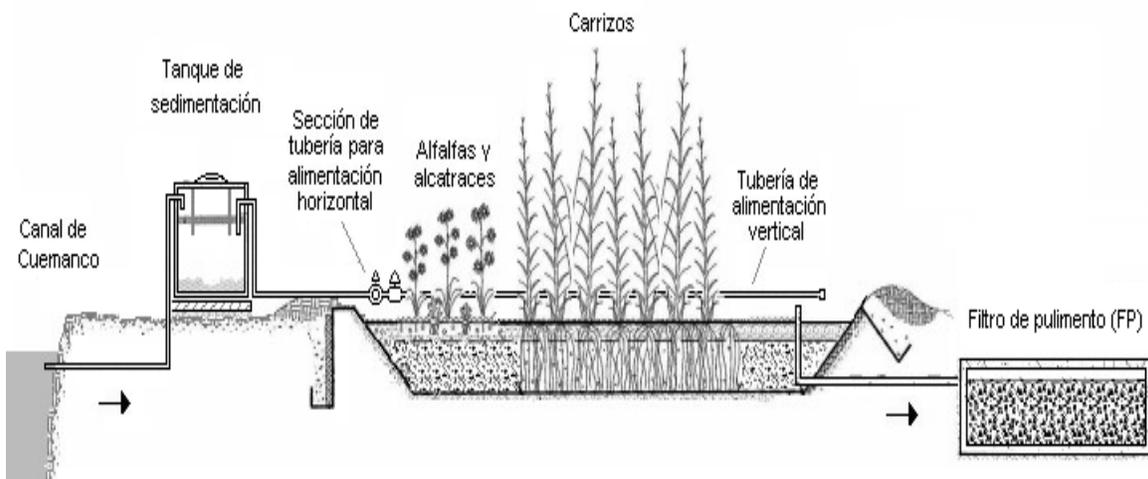


Figura 3. Esquema general del HA con el FP conectado en serie (Ramírez-Carrillo et al., 2009).

4.3 Viabilidad de las semillas de lechuga

El presente estudio se realizó con lechuga porque estas semillas son particularmente sensibles para bioensayos de toxicidad aguda (Sobrero y Ronco, 2004); (*Lactuca sativa*) es una especie indicadora del efecto de compuestos tóxicos y de fácil y rápida germinación. La viabilidad de las semillas se basa en un apartado de la norma 208 “Terrestrial Plants, Growth Test” de la OECD (Organization for Economic Co-operation and Development); el cual indica que para verificar que nuestra semilla sea certificada, el 80 % como mínimo de las semillas debe germinar (OECD, 1984). Esta prueba se realiza sembrando de tres a cinco lotes por separado de 10 semillas como mínimo; se mantienen las condiciones de temperatura entre 18-20 °C y una humedad relativa entre 60-80 %. Se les agregó la misma cantidad de agua alrededor de 10 ó 12 ml y se mantuvieron por 10-12 días hasta realizar el conteo. Se corroboró una germinación mayor al 80 %, lo que indicó que dichas semillas eran aptas para realizar este trabajo.

4.4 Cultivo y desarrollo de las lechugas

Se conformó el sustrato con una proporción de vermiculita por dos de musgo seco (peat moos), para obtener un sustrato con las características necesarias para el buen desarrollo de la lechuga, como son: suelo ligero, arenoso, limoso y con buen drenaje.

Se trabajó en el invernadero del Laboratorio de Microbiología Experimental, en condiciones de humedad y temperatura ambientales. Se colocaron en semillero tres lotes de semillas de lechuga, regándose cada lote con cada tipo de agua en estudio (humedal artificial, canal y agua potable). Después de 30 días se trasplantaron a recipientes con capacidad de 200 mL de sustrato y a los 60 días, se hizo el último trasplante a recipientes con capacidad de 1.5 L de sustrato. El riego inicial se realizó cada tercer día suministrando la misma cantidad de agua a cada semilla y una vez que germinaron se hizo de acuerdo con el desarrollo del cultivo. La cosecha se realizó a las seis semanas de su segundo trasplante.

4.5 Tratamiento y conservación de las muestras para los análisis microbiológicos y químicos proximales

Para los análisis microbiológicos de la hortaliza, la muestra debe tomarse e introducirse en bolsas estériles y mantenerlas en hieleras a una temperatura entre 2-8 °C aproximadamente, hasta el momento de su análisis. Los análisis microbiológicos deben realizarse el mismo día de su recolección y lo más pronto posible después de la misma.

Para el análisis químico proximal, a la muestra se le quita el sustrato y el material extraño por lavado superficial al chorro de agua. Como la lechuga es un alimento muy húmedo, se recomienda secar a 60 °C a vacío.

4.6 Descripción de las etapas experimentales

El cultivo de la lechuga no tolera la falta de humedad y es sensible a los excesos de abono (principalmente a los de nitrógeno). Por otro lado, es importante proporcionar suficiente fósforo, potasio y magnesio para lograr un cultivo de buena calidad. He aquí la importancia de controlar adecuadamente su abonado.

Debido a que en la primera etapa se observó que la cantidad de nutrimentos contenidos tanto en el sustrato como en las aguas en estudio era insuficiente para lograr un desarrollo mínimo para poder recolectar muestra suficiente y realizar los análisis microbiológicos y químicos proximales, se agregó como fertilizante la siguiente solución nutritiva:

Tabla 4. Componentes de la solución nutritiva

Componente	g/L
Superfosfato de Ca simple	1.14
(NH₄)SO₄	0.855
Ca(NO₃)₂	0.855
KNO₃	0.575
MgSO₄	0.5
FeSO₄	0.15

(National Plant Food institute, 1982).

Los análisis microbiológicos de la hortaliza se realizaron con el agua de lavado de la misma. Es decir, se enjuagó la hortaliza con agua destilada estéril, la cual, se recogió en un vaso de precipitados también estéril y de aquí se tomaron las alícuotas correspondientes para los análisis microbiológicos. Para la determinación de los análisis microbiológicos se recurrió a las Normas Oficiales Mexicanas siguientes: apoyo para la toma de muestra, preparación y dilución de las mismas y para la determinación de microorganismos: mesófilos aerobios y coliformes (NOM-092, 109, 110, 112-SSA1-1994).

Para el análisis químico proximal, a la muestra se le quitó el sustrato y el material extraño por lavado superficial al chorro de agua. Como la lechuga es un alimento muy húmedo, se secó previamente.

4.6.1 Análisis químico proximal

El análisis químico proximal se realizó de acuerdo con las técnicas descritas en (AOAC, 1995). Las determinaciones fueron: humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda; se realizaron por triplicado, excepto en el caso de fibra cruda y extracto etéreo debido a que la cantidad de muestra resultó insuficiente y sólo se realizó por duplicado.

Determinación de humedad

El método se basa en la eliminación de agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 70 °C hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% H = [(P_2 - P_3) / P_2] \times 100$$

Donde:

P₂= peso de la muestra húmeda en g

P₃= peso de la muestra seca en g

Determinación de proteína

Se determinó el contenido de proteína por el método de Kjeldahl; el cual se basa en la combustión de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos (sulfato de cobre y sulfato de potasio o sodio) para convertir el nitrógeno orgánico en iones amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali (NaOH al 36 %) y se destila hacia una solución de ácido bórico al 40 %. El destilado se titula con ácido clorhídrico 0.1 N. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

$$\% \text{ proteína cruda} = \text{nitrógeno total} \times F$$

$$\text{Nitrógeno total} = [(V_2 - V_1) (N) (0.014) / P] \times 100$$

Donde:

V_1 = volumen en mL de HCL gastado en la muestra

V_2 = volumen en mL de HCL gastado en el blanco

N= normalidad del HCL

P= peso de la muestra en g

F= factor general de conversión de nitrógeno a proteína 6.25

0.014 = mili equivalentes de nitrógeno

100 = Factor de %

Determinación de cenizas

El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la muestra orgánica a 550 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{ cenizas totales} = [(P_3 - P_2) / P_1] \times 100$$

Donde:

P_1 = peso de la muestra en g

P_2 = peso del crisol sin muestra en g

P_3 = peso del crisol con las cenizas en g

Determinación de fibra cruda

La porción de los alimentos que corresponde a la fibra es aquella que no puede ser digerida por las enzimas del intestino; es decir, son los hidratos de carbono estructurales tales como la celulosa y hemicelulosa de los tejidos vegetales. Para la determinación de la fibra, la muestra desengrasada se sometió a una hidrólisis ácida seguida de una hidrólisis alcalina con una posterior incineración del material insoluble y por diferencia se obtuvo el contenido de carbono no degradable.

4.6.2 Análisis microbiológicos

Las determinaciones microbiológicas de mesófilos aerobios y coliformes, se realizaron de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-092 y 112-SSA1-1994).

Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa

El recuento en placa de mesófilos aerobios indica la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos, o bien el grado de contaminación en la muestra analizada. Consiste en inocular la muestra en un medio rico en nutrimentos y contar el número de colonias después de incubar a 35 °C durante 24 a 48 horas. El método se realizó de la siguiente forma:

- Tomar con pipeta estéril 1 mL (de la muestra de agua o de la dilución correspondiente del alimento) en área aséptica y colocarlo en una caja Petri estéril. Realizar este pasó por duplicado o triplicado.
- Verter el agar para cuenta estándar (previamente fundido y enfriado a 45 °C aproximadamente) en la caja Petri.
- Homogeneizar la muestra con el agar moviendo de manera circular la caja Petri sobre una superficie plana, (5 veces en sentido de las manecillas del reloj, 5 veces en sentido contrario, 5 veces de forma vertical y 5 veces horizontalmente).
- Permitir el enfriamiento del agar para que solidifique.
- Incubar a 35°C y observar resultados a las 24 y 48 horas.
- Reportar el número de unidades formadoras de colonias por mL o g de muestra analizada.

Método para la detección de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra diluida o sin diluir, en una serie de tubos con caldo lauril sulfato (prueba presuntiva).

Los tubos se examinan a las 24 y 48 horas de incubación ya sea a 35 ó 37 °C. En la prueba confirmativa, cada uno de los tubos que muestren turbidez con producción de gas se

resiembra en caldo de bilis verde brillante (brila) para cuantificar coliformes totales, y para el caso de los coliformes totales, se resiembra en caldo EC, en ambos casos, conteniendo campana Durham. Se lleva a cabo la incubación de estos medios selectivos hasta por 48 horas a 35-37 °C para la detección de organismos coliformes y por 24 horas a 44.0 ± 1 °C para organismos coliformes fecales.

Mediante tablas estadísticas, se lleva a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales que puedan estar presentes en 100 mL de muestra a partir del número de tubos que den resultados confirmativos positivos.

4.6.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante una prueba de comparación de medias muestrales “t de Student” (Miller y Miller, 1993; Spiegel y Stevens, 2002). La existencia de una diferencia significativa fue evaluada con $\alpha = 0.05$ en una prueba de dos colas. (Ver anexo).

El planteamiento de la hipótesis es el siguiente:

-Hipótesis nula (H₀). No existen cambios estadísticamente significativos entre las muestras evaluadas.

-Hipótesis alterna (H₁). Las muestras evaluadas presentan cambios que son estadísticamente distintos.

Los datos de dichas pruebas se muestran en la Tabla A1 del Anexo de este trabajo.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Calidad microbiológica de las diferentes aguas de trabajo

Tabla 5. Resultados del conteo en placa de mesófilos aerobios y del NMP de coliformes totales y fecales en el agua testigo, agua del canal de Cuemanco y agua proveniente del humedal artificial.

TIPO DE AGUA	MESÓFILOS AEROBIOS UFC/mL **	COLIFORMES TOTALES UFC/100 mL	COLIFORMES FECALES UFC/100mL
POTABLE	3 ± 2	-----	-----
HUMEDAL ARTIFICIAL	1500 ± 364	330	No presentó
CANAL	2500 ± 426	790	110

**Los datos representan el promedio de tres determinaciones.

Microorganismos máximos permisibles según la NOM-003-SEMARNAT-1997:
coliformes fecales: 240 NMP/100 mL.

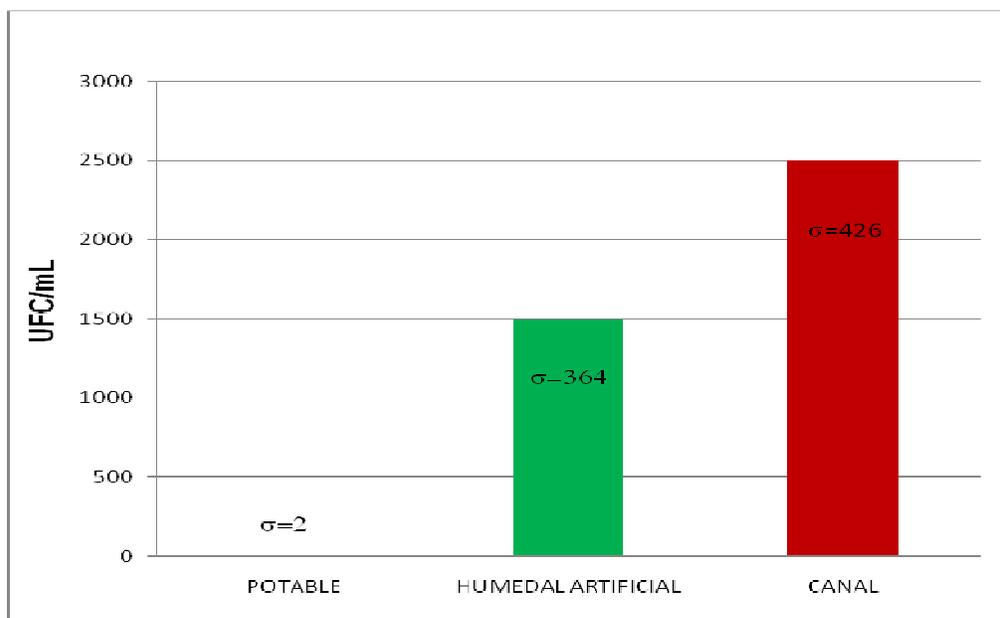


Figura 4. Contenido de mesófilos aerobios en el agua testigo, agua del canal y agua proveniente del humedal artificial.

En la tabla 5, se observa que existe un mayor contenido de microorganismos mesófilos aerobios en el agua del canal, comparado con el que contiene el agua proveniente del humedal artificial. Por otra parte, el agua potable usada como testigo, presentó una cuenta muy baja de estos microorganismos (3UFC/mL). Lo anterior puede apreciarse mejor en la figura 5, donde se muestran las placas del conteo correspondiente, en las cuáles, se observan también diferentes tipos de colonias sobre todo en el agua proveniente del canal de Cuemanco, por lo que existe mayor diversidad de microorganismos en ese hábitat.

Respecto al contenido de microorganismos coliformes totales y fecales, el agua proveniente del humedal artificial sólo presentó coliformes totales; el agua del canal presentó más del doble de coliformes totales y presentó coliformes fecales. Esto indica, en efecto, que la calidad sanitaria del agua potable en términos microbiológicos, es la mejor. El agua tratada en el humedal artificial, pese a que presentó coliformes totales, mostró mejor calidad que el agua del canal al no contener coliformes fecales.

Las determinaciones anteriores, se realizaron con muestras tomadas durante la temporada de estiaje. Sin embargo, se cuenta con datos de los análisis microbiológicos para muestras tomadas en la temporada de lluvias, cuyos resultados indican la presencia de menor contenido de microorganismos (2, 120 y 1160 UFC/mL de mesófilos aerobios en el agua potable, agua proveniente del humedal artificial y agua del canal de Cuemanco, respectivamente). En lo que respecta a los coliformes totales, las cuentas fueron de 28 y 73 UFC/100 mL en el agua efluente del humedal artificial y del canal, respectivamente. Finalmente, sólo el agua del canal presentó coliformes fecales (9 UFC/mL). El agua usada como testigo (potable), no presentó coliformes totales ni fecales. Pese a que las cuentas obtenidas en estos tipos de microorganismos son diferentes dependiendo de la temporada, se observa la misma tendencia, es decir, la calidad sanitaria del agua del canal, mejora considerablemente al ser tratada en el humedal artificial.

Tomando como referencia la NOM-003-SEMARNAT-1997. La cuál establece los límites máximos permisibles en las aguas tratadas que se reúsen en servicios al público como lo es

el riego agrícola; aún y con las diferencias encontradas, los tres tipos de agua están dentro de especificaciones. Es posible mejorar la calidad microbiológica del agua del canal con el tratamiento en el humedal artificial debido a que en este sistema se lleva a cabo un efecto de autodepuración en el que desaparecen las sustancias orgánicas y el agua vuelve a ser rica en oxígeno. Al reducirse la materia orgánica disponible que toman como alimento las bacterias ahí presentes, su abundancia desciende drásticamente (Wood, 1995 y Keraita *et al.*, 2007).

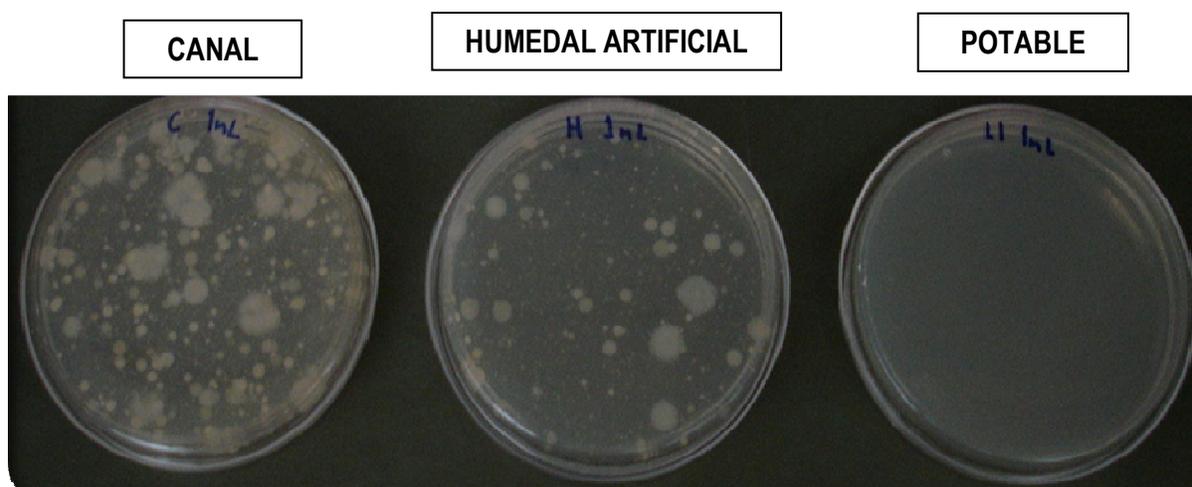


Figura 5. Placas obtenidas del conteo de mesófilos aerobios de las muestras sin diluir en el agua potable, agua del canal y agua proveniente del humedal artificial.

5.2 Viabilidad de las semillas de lechuga

Al realizar la prueba de viabilidad de las semillas, se verificó su certificación con un porcentaje de germinación superior al 80 %.

Con el sustrato conformado para este trabajo, se realizaron pruebas de germinación en el mismo, cada lote se regó con cada uno de los tipos de agua en estudio (potable, humedal artificial y canal). El conteo de semillas germinadas se realizó a los 14 días de su plantación. Los resultados se reportan en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentajes de germinación de las semillas de lechuga para las distintas aguas en estudio (potable, humedal artificial, canal de Cuemanco).

TIPO DE AGUA	% GERMINACIÓN EN EL SUSTRATO **
POTABLE	88 ± 6
HUMEDAL ARTIFICIAL	80 ± 7
CANAL	56 ± 9

**Los datos representan el promedio de tres réplicas.

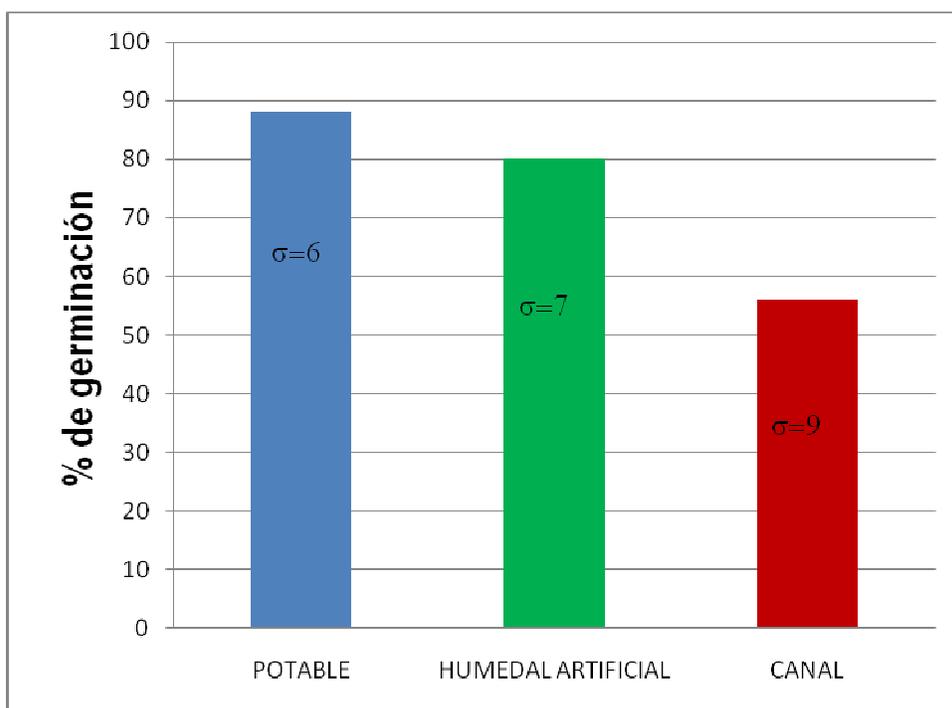


Figura 6. Porcentajes de germinación de las semillas de lechuga regadas con las distintas aguas en estudio (potable, humedal artificial, canal de Cuemanco).

Los resultados mostrados en la tabla 6 y figura 7, reflejan un efecto inhibitorio de germinación, por parte del agua procedente del canal (56 %), lo cual podría ser un indicio de

la presencia de elementos tóxicos en este tipo de agua. Mientras que para el agua tratada por el humedal artificial (80 %) es prácticamente la misma que con el agua potable (88 %).

Cabe señalar que, en la literatura especializada sobre el tema, se considera que una germinación menor al 50 % representa alta fitotoxicidad (Emino y Warman, 2004, Lallana *et al*, 2008). No obstante, a pesar de que en los tres casos estudiados en este documento, la germinación está por arriba del 50 %, en el caso del agua del Canal de Cuemanco, el valor obtenido es muy cercano (56 %).



Figura 7. Viabilidad de las semillas de lechuga al utilizar las distintas aguas en estudio.

5.3 Biomasa obtenida de las lechugas cultivadas

Tabla 7. Peso húmedo de las lechugas cultivadas con el agua del canal, del humedal artificial y agua potable o testigo.

TIPO DE AGUA DE RIEGO	peso \bar{x} de la lechuga en g **	# hojas **
POTABLE	6.94 \pm 0.77	9.2
HUMEDAL ARTIFICIAL	7.47 \pm 0.70	9.8
CANAL	5.77 \pm 0.58	8.3

**Los datos son el promedio de cinco réplicas.

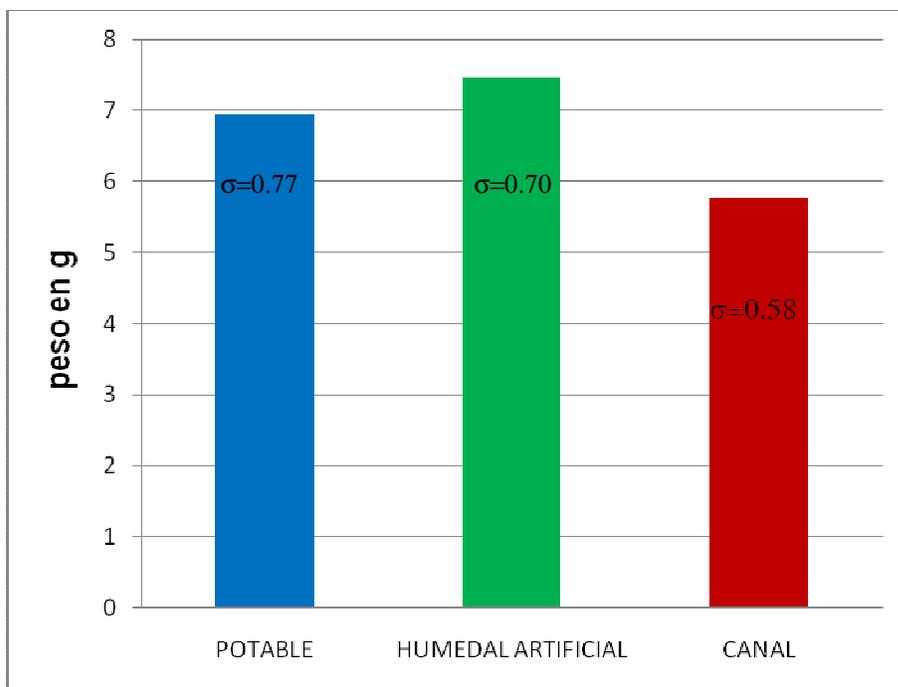


Figura 8. Biomasa vegetal acumulada de las lechugas cultivadas con el agua proveniente del canal de Cuemanco, del humedal artificial y agua potable o testigo.

Tomando como base los pesos obtenidos de la porción comestible de las lechugas recolectadas (ver tabla 7, figura 8), se observa que las lechugas cultivadas con el agua del canal, generan el menor de los pesos promedio registrados en los tres lotes. Por otra parte, el peso promedio más alto lo registró el lote que se regó con el agua proveniente del humedal artificial aunque no existe diferencia significativa (a un nivel de significancia del 95 %), entre los pesos al trabajar con agua potable y con agua proveniente del humedal artificial; sin embargo, sí hay diferencia significativa cuando comparamos estos pesos con los obtenidos con el agua del canal. En la figura 9 se ilustran estas diferencias.

Lo anterior, no coincide con la hipótesis establecida al inicio del trabajo, sin embargo; al realizar las pruebas de germinación con las semillas de lechuga, ya se observaba un efecto inhibitorio al trabajar con agua del canal, efecto que sigue confirmándose considerando que el peso de las hortalizas al trabajar con este tipo de agua fue el más bajo.

Es un hecho que la materia orgánica contenida en el agua contribuye al crecimiento de la vegetación determinando las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Proporciona asimismo, nitrógeno, fósforo y azufre, principalmente, para el crecimiento de la flora y microbiota del suelo. Además, es de importante influencia en la capacidad de intercambio de cationes del suelo. La descomposición que llevan a cabo los microorganismos (hongos y bacterias), producen CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , y SO_4^{2-} , que son los compuestos más disponibles para las plantas (González y Ruiz, 2001).

A través del proceso de fotosíntesis, la planta utiliza la energía de la luz solar para producir azúcar a partir de bióxido de carbono, aire, agua y minerales del suelo. Este azúcar es convertido después en proteínas, almidones y otros compuestos que constituyen el peso seco de la planta.

Por otro lado, tenemos que la fracción de microorganismos presentes en los humedales artificiales, ejercen gran influencia en la capacidad de intercambio de cationes de un suelo. Diversos elementos que actúan como nutrientes forman parte de la materia orgánica como nitrógeno, fósforo, azufre, boro y demás micronutrientes.

Una planta u organismo vivo, al desarrollarse en el suelo; asimila el nitrógeno en forma de nitrato, convirtiéndolo en proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados. El amoníaco, aunque es un nutriente vegetal apropiado, resulta menos eficaz que el nitrato.

Como se mencionó anteriormente, existen estudios de la calidad fisicoquímica que presenta el agua utilizada en este trabajo (antes y después de pasar por el tratamiento en el humedal artificial); se encontró un decremento significativo en la materia orgánica cuando el agua es tratada en el humedal artificial, ya que se obtiene hasta un 85 % de remoción de la misma (Sánchez, 2009). El contenido de nitrógeno (como nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos) y de fosfatos en el agua proveniente del canal, es mayor al encontrado en el agua tratada en el humedal artificial. En este caso también se encontraron porcentajes de remoción

superiores al 50 % (Sánchez, 2009). Con estos datos, seguimos suponiendo que el crecimiento de las plantas que se regaron con agua del canal debió haber sido mayor, pero no hay que olvidar que estos compuestos que pueden ser nutrientes, en ciertas cantidades pueden resultar tóxicos para el desarrollo de los organismos vivos.

Es posible que la presencia de productos farmacéuticos, sus metabolitos y/o productos de transformación, están llegando a ser de suma importancia en el medio ambiente porque pueden tener efectos adversos en organismos vivos; ya sean plantas o animales, ya que son cada vez más usados en medicina humana y veterinaria y son descargados continuamente en el medio ambiente sin regulación (Nikolaou *et al.*, 2007; Matamoros *et al.*, 2009).

Generalmente se asume que los posibles agentes contaminantes en las aguas residuales son eliminados a través de tratamientos convencionales. Sin embargo, no todos los agentes contaminantes son eliminados a través de los tratamientos estándar. Una serie de compuestos persisten a través del proceso de tratamiento terciario en forma inalterada. Entre estos compuestos persistentes se encuentran productos químicos de origen muy diverso; caracterizados por su alta producción y consumo, lo cual, da lugar a su presencia continua en el medio ambiente. Desde la última década, se ha tomado gran interés por estos compuestos cuyos efectos sobre el medio ambiente y la salud humana aún se desconocen. Entre éstos se encuentran, los medicamentos (antibióticos, analgésicos, etc), productos de diagnóstico, los esteroides y las hormonas, antisépticos, productos de cuidado personal (cremas, fragancias, etc), aditivos para gasolina, metales pesados y metaloides, surfactantes, disruptores endocrinos, etc. Muchos productos farmacéuticos son medicamentos de venta libre y pueden ser potencialmente peligrosos para el ser humano o los ecosistemas (Teijon *et al.*, 2010). Dichos efectos no han sido bien identificados ni establecidos, pero ya se ha empezado a hablar de ellos alrededor del mundo; es entonces necesario sumar esfuerzos y trabajar conjuntamente para ir esclareciendo el comportamiento y los efectos de este tipo de compuestos.



HUMEDAL ARTIFICIAL



CANAL



POTABLE

Figura 9. Lechugas cultivadas con agua proveniente del humedal artificial, agua del canal de Cuemanco y agua potable o testigo a las 20 semanas de su plantación.

5.4 Calidad nutrimental de las hortalizas cultivadas

Tabla 8. Análisis químico proximal de la lechuga (g/100 g en base húmeda).

Tipo de agua	Humedad*	Proteína*	Cenizas*	Fibra cruda	Extracto etéreo
Potable	94.24 ± 0.49	1.14 ± 0.31	0.77 ± 0.062	1.41	0.005
Humedal artificial	94.06 ± 0.32	1.18 ± 0.26	1.04 ± 0.026	0.94	0.63
Canal	93.77 ± 0.85	1.31 ± 0.33	1.06 ± 0.085	1.19	0.58

*Los datos reflejan el promedio de tres réplicas.

Tabla 9. Análisis químico proximal de la lechuga (g/100 g en base seca).

Tipo de agua	Proteína*	Cenizas*	Fibra cruda	Extracto etéreo
Potable	19.77± 0.31	13.29± 0.062	24.55	0.08
Humedal artificial	19.80± 0.26	17.60± 0.026	15.74	10.56
Canal	21.05± 0.33	17.07 ± 0.085	19.13	9.32

*Los datos reflejan el promedio de tres réplicas.

El análisis estadístico, se muestra en el anexo.

En la tabla 8, no se observan diferencias en el porcentaje de humedad de las muestras.

Con base en los datos mostrados en la tabla 9, en el contenido de cenizas, sí se observan diferencias significativas (con una probabilidad del 95 %) en los tres lotes trabajados. Con el agua del canal de Cuemanco, se muestra menor contenido de cenizas que en el lote regado

con agua del humedal artificial. Cabe mencionar que en el caso del agua utilizada como testigo, el contenido de cenizas fue significativamente menor. Considerando que en las cenizas no sólo están presentes minerales sino también sales minerales, lo anterior es de esperarse pues la conductividad eléctrica en las aguas de trabajo presenta la misma tendencia que el contenido de cenizas en la hortaliza.

En cuanto al lote que se trabajó con agua del canal de Cuemanco, el contenido de proteína es ligeramente mayor y estadísticamente distinto, que el obtenido al regar el cultivo con agua efluente del humedal artificial. Se considera entonces que al variar el agua de riego, sí se afecta el contenido de proteína debido a que el agua proveniente del canal contiene mayor cantidad de nitrógeno amoniacal y nitratos (Sánchez, 2009); los cuáles, son transformados en proteína y compuestos nitrogenados propios de la planta.

Para el contenido de fibra cruda y extracto etéreo, como no se realizaron suficientes repeticiones en los análisis; no se aplicaron las pruebas estadísticas como en los casos anteriores, sin embargo, a simple vista se nota que el contenido de fibra cruda en las hortalizas cultivadas con agua potable, es considerablemente mayor que en los dos casos restantes y en el caso del lote que se regó con agua tratada en el humedal artificial, el contenido de fibra cruda es el 64.11 % con respecto al valor obtenido con el agua potable.

Finalmente, el contenido de fibra cruda en el lote del canal, es del 77.92 % también referido al agua potable.

En lo que respecta al contenido del extracto etéreo, éste es mayor cuando se trabaja con agua tratada en el humedal artificial y con agua del canal de Cuemanco.

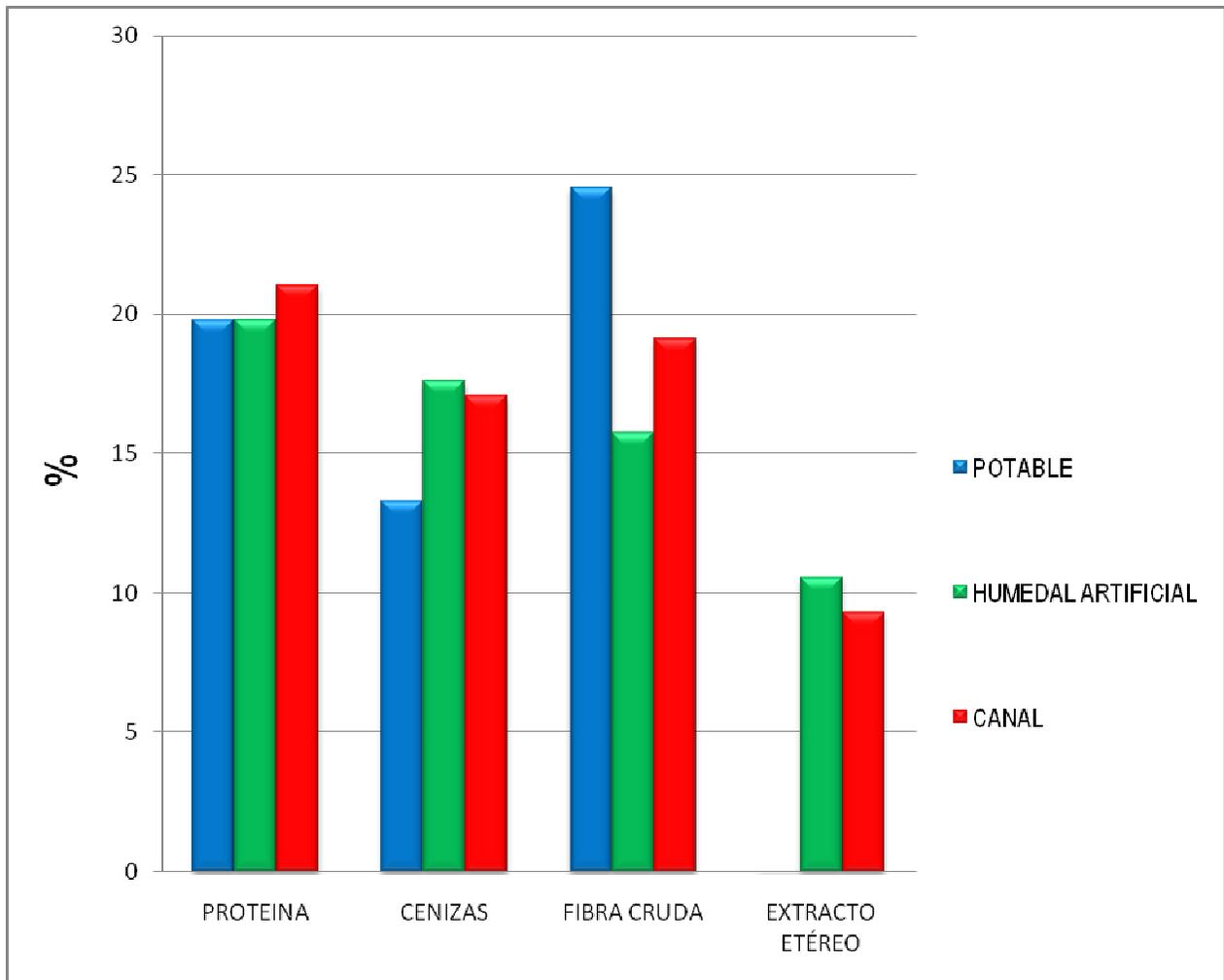


Figura 10. Análisis químico proximal (como índice de calidad nutrimental) de las lechugas cultivadas en los tres casos (datos tomados en base seca).

Las plantas vasculares presentes en los humedales artificiales, retiran nutrientes del agua residual y brindan soporte a las colonias de microorganismos depuradores que aceleran la degradación de la materia orgánica (Sánchez, 2009). Debido a esto, las plantas tienen más disponibles los nutrientes que necesitan y pueden alcanzar mayor cantidad de biomasa.

En los canales de la zona de Xochimilco, hay un detrimento de la calidad del agua debido a que adquiere un color verdoso, olor y sabor desagradable y posible presencia de toxinas producidas por cianobacterias (Rodríguez, 2004).

5.5 Calidad sanitaria de las hortalizas cultivadas

Tabla 10. Contenido de mesófilos aerobios y coliformes totales y fecales en las lechugas recolectadas como índice de calidad sanitaria.

TIPO DE AGUA DE RIEGO	MESÓFILOS AEROBIOS UFC/g **	COLIFORMES TOTALES UFC/g	COLIFORMES FECALES UFC/g
POTABLE	962 ± 171	-----	-----
HUMEDAL ARTIFICIAL	1032 ± 87	4	No presentó
*CANAL	5806 ± 320	23	No presentó

**Los datos son el promedio de tres determinaciones

*Las colonias presentaron características típicas de hongos filamentosos.

La NOM-093-SSA1-1994, establece como límite: 150 000 UFC/g de mesófilos aerobios y 100 UFC/g de coliformes fecales en alimentos que se consuman en crudo.

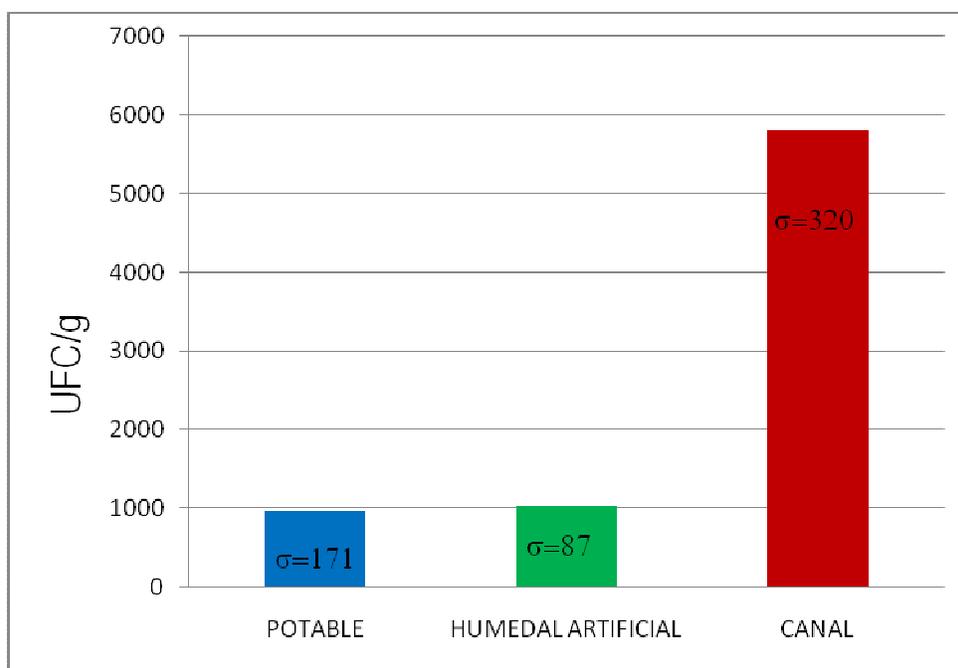


Figura 11. Contenido de mesófilos aerobios en las hortalizas que fueron regadas con agua potable, agua del canal y agua proveniente del humedal artificial.

Las cuentas obtenidas de mesófilos aerobios indican una mejor calidad sanitaria en las lechugas cuando se trabajó con agua potable y con agua proveniente del humedal artificial (tabla 10, figura 11); además, a una probabilidad del 95 % no hay diferencias significativas entre ellas; sin embargo, las muestras que se regaron con agua proveniente del canal, presentan una cuenta de mesófilos aerobios casi seis veces mayor a los dos casos anteriores. En la figura 12, se observa en las placas obtenidas de dicho conteo, que la cantidad de estos microorganismos es considerablemente mayor cuando se utiliza como agua de riego, el agua proveniente del canal de Cuemanco. En cambio, en lo que respecta a las muestras regadas con el agua tomada del humedal artificial y potable, las placas reflejan tanto menor cantidad como variedad de microorganismos presentes en ellas.

Los mesófilos aerobios son un grupo indicador importante en alimentos frescos. Reflejan la exposición de la muestra a contaminación en general, la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y la presencia de materia orgánica. Esta determinación indica el grado de contaminación de una muestra y las condiciones que han favorecido o reducido la carga microbiana (Tórtora, 1995).

Es posible afirmar, basándose en las UFC de microorganismos mesófilos como índice de calidad sanitaria, que ésta es mucho mejor cuando se utilizan como agua de riego para esta hortaliza, el agua tratada en el humedal artificial y el agua potable.

Por otra parte, y aunque ninguno de los lotes presentó coliformes fecales, el lote que fue regado con agua del canal, presentó casi seis veces mayor contenido de coliformes totales en contraste con el lote regado con agua tratada en el humedal artificial. Este hecho sigue confirmando que al utilizar como agua de riego el agua tratada en el humedal artificial, la calidad sanitaria de esta hortaliza, se incrementa notablemente. Aún con las diferencias encontradas y basándose en la (NOM-093-SSA1-1994) antes citada, las hortalizas cultivadas en los tres lotes cumplen con las especificaciones sanitarias.

Es importante señalar que, con objeto de obtener resultados más representativos y confiables, es recomendable tener un mayor número de repeticiones en los análisis practicados.

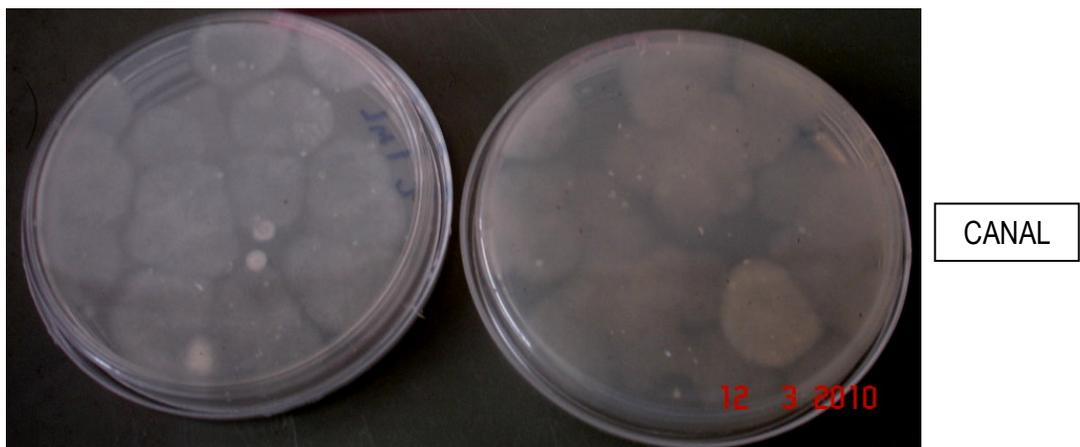
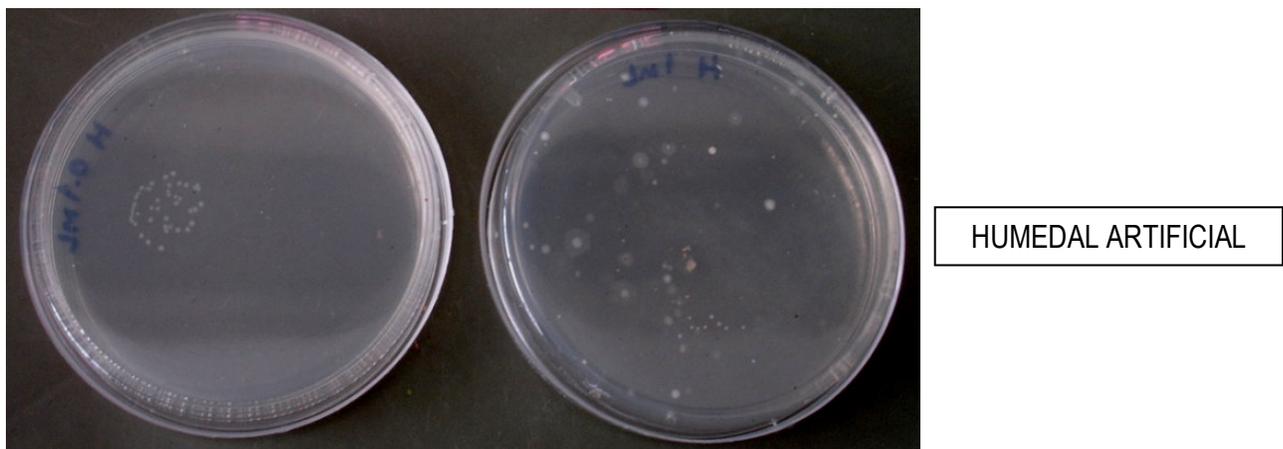
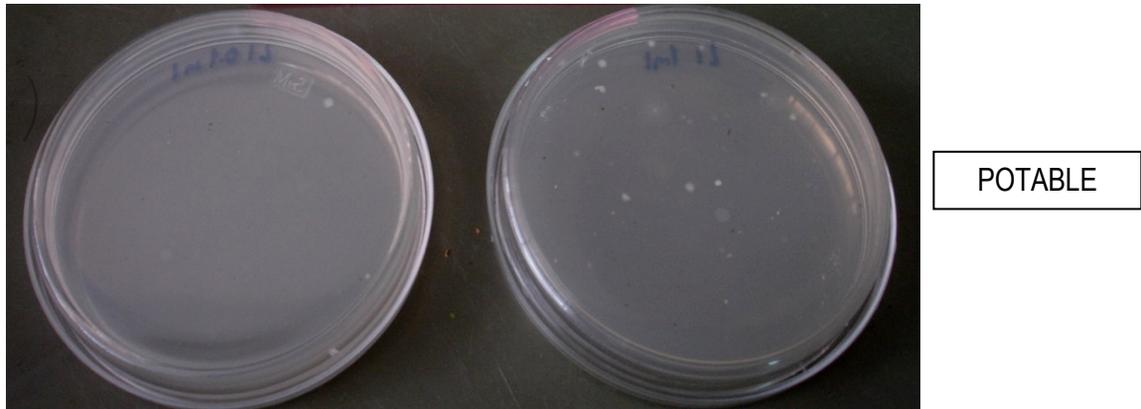


Figura 12. Placas referentes al contenido de mesófilos aerobios en las hortalizas que fueron regadas con agua potable, agua del canal y agua proveniente del humedal artificial.

Cabe señalar, que en las placas en las que se cuantificaron mesófilos aerobios correspondientes a las hortalizas cultivadas con agua proveniente del canal, mostraron presencia de colonias típicas de hongos filamentosos (figura 12).

Por lo anterior, es recomendable evaluar la presencia de hongos y levaduras en el agua proveniente del canal y en el agua tratada en el humedal artificial.

Tabla 11. Calidad sanitaria de los tipos de agua empleada y la hortaliza cultivada.

MICROORGANISMOS	Agua potable	Hortaliza c/agua potable	Agua H. A.	Hortaliza c/agua H. A.	Agua canal	Hortaliza c/agua canal
Mesófilos aerobios UFC/mL o g	3	962	1500	1032	2500	5806
Coliformes totales UFC/100 mL o g	—	—	330	4	790	23
Coliformes fecales UFC/100 mL o g	—	—	—	—	110	—

En la tabla 11 se observa que el contenido tanto de coliformes totales como fecales en las aguas (tanto del canal como la tratada en el humedal artificial), comparado con el mismo en la hortaliza cultivada, disminuye considerablemente. Puede ser debido a que dichos microorganismos, se fijan en el sustrato o en las raíces de la planta y no pasan en sí a la porción comestible de la hortaliza.

El caso de los microorganismos mesófilos, es distinto, pues en los lotes cultivados con agua potable y con agua del canal; las cuentas aumentan en la hortaliza cultivada. Sólo con el agua proveniente del humedal artificial, las cuentas llegan a ser ligeramente menores en la hortaliza.

6. CONCLUSIONES

- ★ El agua que presentó mejor calidad sanitaria, con base en el contenido de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales y coliformes fecales; después del agua potable fue el agua del canal de Cuemanco tratada en el humedal artificial.
- ★ De acuerdo con los porcentajes de germinación de las semillas utilizadas y a la biomasa acumulada en los cultivos, se observa cierto efecto inhibitorio sobre el crecimiento y la germinación al utilizar como agua de riego la que proviene del canal de Cuemanco sin un tratamiento previo.
- ★ El contenido de minerales en las hortalizas regadas con agua tratada en el humedal artificial fue mayor y estadísticamente distinto al valor obtenido en el caso de los cultivos regados con el agua del canal de Cuemanco.
- ★ El contenido de proteína en los cultivos regados con agua del canal de Cuemanco con y sin el tratamiento en el humedal artificial es de 19.8 y 21.5 %, respectivamente; por lo que existe mayor contenido proteico en los cultivos regados con el agua de canal sin tratamiento.
- ★ Las cantidades de fibra cruda en las muestras cultivadas con agua tratada en el humedal artificial y la no tratada son de 15.74 y 19.13 % respectivamente, lo que hace evidente un mayor contenido de fibra cruda en los cultivos regados con el agua del canal sin tratar.
- ★ Los cultivos obtenidos con agua potable y agua proveniente del humedal artificial, presentaron una mejor calidad sanitaria con respecto a los obtenidos al trabajar con el agua del canal sin un tratamiento previo.
- ★ Existe una relación directa entre la calidad sanitaria de la lechuga y la calidad sanitaria del agua empleada para el riego.

7. RECOMENDACIONES

Debido al tipo de colonias obtenidas de los conteos en placa, es recomendable la cuantificación de hongos y levaduras en el agua del canal de Cuemanco con y sin el tratamiento en el humedal artificial.

Para un análisis estadístico completo, es recomendable contar con un mayor número de repeticiones y de biomasa vegetal.

Es importante reiterar que el requisito fundamental de cualquier alimento es su inocuidad o seguridad, lo que significa que en el momento de su consumo esté libre de cualquier contaminante químico o microbiano.

8. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo M. 1998. Desinfectantes comerciales. Un estudio comparativo de su aplicación en hortalizas. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.

Adams M.R. y Moss M.O. 2005. *Food Microbiology*. 2ª edición. The Royal Society of Chemistry. Reino Unido. pp. 370-373, 377-380.

Association of Oficial Analytical Chemists. (AOAC). 1995. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Washington, D. C. Vol. I y II pp. 17-18, 40-62, 69-83 y 1012.

Astiasarán I. 2000. *Alimentos, composición y propiedades*. 2ª edición. Mc Graw Hill Interamericana. Zaragoza, España. Cap. 8.

Badosa E., Trias R., Parés D., Pla M. y Montesinos E. 2008. Microbiological quality of fresh fruit and vegetable products in Catalonia (Spain). *Journal Sci. Food Agric*. 88, 605-611.

Berdegú J., Balsevich F., Flores L. y Reardon T. 2005. Central american supermarkets, private standards of quality and safety in procurement of fresh fruits and vegetables. *Food Policy*. 30(3), 254-264.

Beuchat L. 1996. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce, *J. Food Prot.*, 59, 204-216.

Chaidez Q. C. 2002. Inocuidad de frutas y hortalizas frescas: Efecto del agua contaminada. *Agua Latinoamérica.*, (3), 2.

Chávez, E. J. 2003. Determinación de la calidad microbiológica de hortalizas de mayor consumo en una zona de Xochimilco. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.

Doyle M. 1997. *Food microbiology, fundamentals and frontiers*. 2ª ed. ASM Press. E.U.A.

Egan H., Kirk R.S., y Sawyer, R. 2006. *Composición y Análisis de alimentos de Pearson*. 2ª edición en español. C.E.C.S.A. México.

Emino E. y Warman P. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization*. 12 (4): 342-348.

EPA. 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, humedales de flujo subsuperficial. *Environmental Protection Agency*. 832-F-00-023. Office of water. Washington, D.C.

Fennema O. R. 2000. *Química de los alimentos*. 2ª edición. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.

Finley S., Barrington S., y Lyew D. 2009. Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops. *Water Air Soil Pollut.* 199:235–245.

García G. J. 2003. *Situación y Perspectivas de la Agricultura Orgánica con Énfasis en Latinoamérica*. V Encuentro de Agricultura Orgánica., La Habana, Cuba. Resumen, pág. 249.

Godfrey S., Labhasetwar P., Wate S. y Jiménez B. 2010. Safe greywater reuse to augment water supply and provide sanitation in semi-arid areas of rural India. *Water Science and Technology*. 62.6.

González J. y Ruiz R. 2001. *Propiedades físicas y químicas del suelo*. Colegio de ciencias y humanidades plantel Vallejo. UNAM. México.

Hench K. R., Bissonnette G. K., Sexstone A. J., Coleman J. G., Garbutt K. y Skousen J. G. 2003. Fate of physical, chemical, and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands. *Water Research*. 37, 921-927.

Jacques P. y Jean A. 2000. *Análisis Nutricional de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. España.

Jiménez C. B. 1997. Treatment of Mexico City wastewater for irrigation purpose. *Environmental technology.*, 18, 721-730.

Jiménez C. B. y Hernández C. 1999. Alternative Treatment for wastewater destined for agricultural use. *Wat. Sci. Tech.*, 40 (4-5); 355-362.

Jiménez C. B., Chávez M. A. y Silva C. V. 2002. Riego agrícola con agua residual y sus implicaciones en la salud. *Congreso interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental*. Cancún, México.

Keraita B., Konradsen F., Drechsel P., y Abaidoo R. 2007. Reducing microbial contamination on wastewater irrigated of irrigation before harvesting. *Tropical medicine and international help*. 12 (2), pp. 8-14.

Lallana M. C., Billard C. E., Elizalde J. H. y Lallana V. H. 2008. Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa*: determinación de calidad de agua en represas para riego. *Facultad de Ciencias Agrarias*. Tomo 40. N° 1. 29-38.

Lara B. J. A. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental*. Universidad Politécnica de Cataluña. España.

Lara J. A., Hernández A. 2002. Reutilización de aguas residuales: aprovechamiento de los nutrientes en riego agrícola. *Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales*. Colombia.

Luna Pabello V. M. y Ramírez-Carrillo H. F. 2008-2009. Humedales artificiales, una ecotecnología sustentable para la depuración de aguas residuales. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*. Año XXI, Núm. XXIV. 194-202.

Mata O., Rangel R. 2006. *Humedales: de la conciencia a la canción*. Revista de comunicación interna de la Comisión Nacional del Agua. Vertientes., 12,117. pp. 6-7. México

Mataix V. J. 2003. *Tabla de Composición de alimentos*. 4^{ta} edición. Instituto de nutrición y tecnología de alimentos. España.

Matamoros V., Arias C., Brix H. y Bayona J. 2009. Preliminary screening of small-scale domestic water treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *Water Research*. 43, 55-62.

Millán H. 1999. Operación de una planta piloto tipo humedal artificial de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales y su reuso para riego. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM. México, D.F.

Miller J. C. y Miller J. N. 1993. *Estadística para química analítica*. 2^a ed. Addison-Wesley iberoamericana. E.U.A.

Mondragón J. 2001. Análisis microbiológico en el tratamiento de aguas residuales por lodos activados. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Edo. México. México.

Murga-Gutiérrez S. 1995. Formas parasitarias del hombre en *Lactuca sativa*, cultivada en la provincia de Trujillo-Perú. *Boletín Peruano de Parasitología*. Perú. 11, 42-45.

National plant Food institute. 1982. *Manual de Fertilizantes*. Editorial Limusa. México.

Nikolaou A., Meric S. y Fatta D. 2007. Occurrence patterns of pharmaceuticals in water and wastewater environments. *Anal. Bioanal. Chem*. 387, 1225-1234.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 Que Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F.

OECD. 1984. *Terrestrial plants: growth test*. Guideline for testing of chemicals. N° 208. Organization for Economic Cooperation and Development. Publications service, París.

Pelczar, M. 1990. *Microbiología*. Mc Graw-Hill, México, D.F. pp. 613-618.

Qadir M., Wichelns D., Raschid-Sally L., Mc Cornick P., Drechsel P., Bahri A. y Minhas P. 2008. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agric. Water. Manage.* doi: 10.1016/j.agwat.2008.11.004.

Ramírez Carrillo H. F., Luna Pabello V. M. y Arredondo F. J. L. 2009. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 8(1), 93-99.

Regmi A., Ballenger N. y Putman J. 2004. Globalization and income growth promote the Mediterranean diet. *Public Health Nutr.* K., 7, 977-983.

Rodríguez P. 1998. Análisis bacteriológico de aguas residuales en las plantas de tratamiento de la Delegación de Xochimilco. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Edo. México, México.

Rodríguez R. 2004. Estudio de la actividad bacteriana nitrificante en solución acuosa y su reconocimiento "in situ". Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM.

Romero A. 2006. Estrategia para la obtención de agua para riego agrícola en chinampas de Xochimilco empleando un humedal artificial. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.

Sánchez G. H. 2009. Operación de un sistema experimental a base de humedales artificiales para tratar agua procedente del canal de Cuemanco. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.

Sandoval Y. L. y Collí M. 2006. *Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reuso en la agricultura*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.

Santaella, C. 2002. Comparación de dos métodos: NMP y A-1 para coliformes fecales para evaluar la calidad sanitaria de las paletas heladas de agua. *Tesis de licenciatura*. Escuela de Química, Universidad la Salle. México, D.F.

Sela S. y Fallik E. 2009. *Microbial quality and safety of fresh produce. Postharvest handling*. 3ª ed. 351-398.

Shual H. y Fattal B. 2003. Control of pathogenic microorganisms in wastewater recycling and reuse in agriculture. *Handbook of water and wastewater Microbiology*. 241-262.

Sobrero M.C., Ronco A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). p: 71-79. En: *Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de aguas*, G. Castillo, Ed., Ottawa, Canadá.

Spiegel R. M. y Stephens L. J. 2002. *Estadística*. 3ª ed. Mc Graw Hill. México.

Tananta V. I., Chávez V., Casas E., Suárez F. y Serrano M. E. 2004. Presencia de enteroparásitos en lechuga (*Lactuca sativa*) en establecimientos de consumo público de alimentos en el mercado de Lima. *Rev. Inv. Vet. Perú*. 15(2), 157-162.

Teijon G., Candela L., Tamoh K., Molina-Díaz A. y Fernández-Alba A: R. 2010. Occurrence of emerging contaminants, priority substances and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Science of the total Environment*. 408 (17). 3584-3595.

Tortora G. 1995. *Microbiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City, California, E. U. A. pp. 274-278.

Traviezo-Valles, L., Dávila J., Rodríguez R., Perdomo O., Pérez J., 2004. Contaminación enteroparasitaria de lechugas expandidas en mercados del estado Lara, Venezuela. *Parasitol Latinoam.*, 59: 167 - 170.

Vantin I., Jacobsin A., Monday S. y Feng P. 2008. Microbiological quality of bagged cut spinach and lettuce mixes. *Applied and environmental microbiology*. 74 (4), 1240-1242.

Vega M., Jiménez M., Salgado R. y Pineda G. 2005. Determinación de bacterias de origen fecal en hortalizas cultivadas en Xochimilco. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*. (4)4. Universidad Simón Bolívar. México, D.F.

Wood A. 1995. Constructed wetlands in water pollution control: Fundamentals to their understanding. *Water Sci. Technol*.

Bibliografía electrónica:

Anuario estadístico del Distrito federal. 2008. Disponible en: www.inegi.gob.mx (10 Feb. 2009).

Ashbolt, N.J. 2001. Indicators of microbial water quality. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Risk assessment and management for water-related infectious disease*. IWA Publishing, London.

Disponible en: www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/iwachap13.pdf (21 Mar. 2009).

Canabal B. 2004. La chinampería actual en el Valle de México- Xochimilco. Disponible en: <http://www.po.gob.mx/publica/pa070510.htm> (10 Nov. 2008).

Delegación Xochimilco 2008. Xochimilco. Diccionario Enciclopédico del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.xochimilco.df.gob.mx/delegacion/index.html> (18 Ene. 2010)

Federación internacional de movimientos de agricultura orgánica. IFOAM. www.ifoam.org y www.fao.org/organicaq (8 Abril 2010).

Food Safety Research Information Office. Disponible en: www.nal.usda.gov/fsrio (5 Ene. 2010).

World Health Organization. Disponible en: www.who.int/trade/glossary (13 Mayo 2010).

Infoagro. Disponible en: www.infoagro.com (3 Oct. 2009).

Legorreta J. 2005. Xochimilco, ante la última oportunidad para rescatarlo, La Jornada. Disponible en <http://www.jornada.unam.mx/2005/06/12/a02n1cul.php> (5 Sep. 2008).

Stevens, M., N. Ashbolt & D. Cunliffe. 2003. Recommendations to change the use of coliforms as Microbial indicators of drinking water quality. Department of Human Services, South Australia. Disponible en: http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/eh32.pdf (8 Jun. 2010).

ANEXO

Resultados estadísticos para la prueba “t de Student”.

Esta prueba se aplicó para los parámetros: biomasa, contenido de cenizas, contenido de proteína y contenido de mesófilos aerobios.

Tabla A1. Resultados estadísticos

	α (probabilidad)	g.l. (grados de libertad)	Valor tc calculado	Valor tt tablas	Criterio de decisión	Decisión
PESOS						
POTABLE-HUMEDAL	0,05	8	1,13	2,31	$T_c < T_t$	Ho se acepta
POTABLE-CANAL	0,05	8	2,73	2,31	$T_c > T_t$	Hi se acepta
HUMEDAL-CANAL	0,05	8	4,26	2,31	$T_c > T_t$	Hi se acepta
CENIZAS						
POTABLE-HUMEDAL	0,05	4	110	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
POTABLE-CANAL	0,05	4	62	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
HUMEDAL-CANAL	0,05	4	10,29	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
PROTEÍNA						
POTABLE-HUMEDAL	0,05	4	0,13	2,78	$T_c < T_t$	Ho se acepta
POTABLE-CANAL	0,05	4	4,89	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
HUMEDAL-CANAL	0,05	4	5,24	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
MESÓFILOS AEROBIOS						
POTABLE-HUMEDAL	0,05	2	0,631	4,30	$T_c < T_t$	Ho se acepta
POTABLE-CANAL	0,05	4	23,08	2,78	$T_c > T_t$	Hi se acepta
HUMEDAL-CANAL	0,05	3	24,89	3,13	$T_c > T_t$	Hi se acepta