



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias

**Centro de Investigación en
Ciencia y Tecnología de los Alimentos**

**“Efecto del Riego con Aguas Residuales en la Calidad
Poscosecha de Hortalizas Producidas en el Municipio De
Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México”**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN ALIMENTOS

Presenta:

VÍCTOR MORALES GUZMÁN

Dirección: Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Tulancingo de Valle de Bravo, Hidalgo Septiembre de 2010



La presente Tesis titulada “Efecto del Riego con Aguas Residuales en la calidad Poscosecha de Hortalizas Producidas en el Municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo México”, fue realizada por el Ing. Víctor Morales Guzmán, bajo la dirección de la Dra. Alma Delia Hernández Fuentes y Asesorada por Rafael Campos Montiel, José Manuel Pinedo Espinoza, Norma Güemes Vera, Isabel Reyes Santamaría, Ricardo Cedeño Magallanes y Alia Tejacal Irán, ha sido revisada y aprobada por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el título de:

MAESTRO EN ALIMENTOS

Atentamente

Comisión Revisora

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes



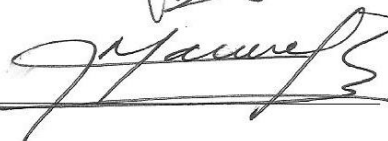
Dr. Rafael Germán Campos Montiel



Dra. Norma Güemes Vera



Dr. José Manuel Pinedo Espinoza



La presente tesis titulada “Efecto del Riego con Aguas Residuales en la Calidad Poscosecha de Hortalizas Producidas en el Municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México”, fue realizada por el Ing. Víctor Morales Guzmán, bajo la dirección de la Dra. Alma Delia Hernández Fuentes y asesorada por Rafael Campos Montiel, José Manuel Pinedo Espinoza, Norma Güemes Vera e Isabel Reyes Santamaría, ha sido revisada y aprobada por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el título de:

MAESTRO EN ALIMENTOS

Atentamente

Comisión Revisora


Dra. Alma Delia Hernández Fuentes



Dr. Rafael Germán Campos Montiel



Dra. Norma Güemes Vera



Dr. José Manuel Pinedo Espinoza





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS**

LA TESIS FUE REALIZADA EN EL MARCO DEL PROYECTO "ESTRATEGIAS PARA LA DIFUSIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN AL SECTOR PRODUCTIVO" DE LA RED NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE ALIMENTOS AGRÍCOLAS, FINANCIADO PARA EL PERIODO 2009-2010 POR EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DEL PROFESORADO SUBSECRETARIA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, SECRETARIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA.



Agradecimientos

Gracias a Dios por darme Salud, Bien Estar, Trabajo, Vida y Fortaleza para continuar con mi Superación Profesional.

Gracias a todos mis seres Queridos, Familiares, Amigos, Compañeros de Trabajo y Alumnos que a través del tiempo me han incentivado y apoyado para ser mejor persona.

Gracias a las Autoridades Institucionales: de la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez Pué., al Sr Rector M.C. Pedro Ramírez Legorreta; y del Centro en Investigaciones en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Instituto en Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Autónoma de Hidalgo, a la Dra Directora Dra. Alama Delia Hernández Fuentes por promover el convenio de apoyo al fortalecimiento del profesorado de la UTXJ en estudios de Maestría.

Gracias al Programa de Mejoramiento del profesorado Subsecretaria de Educación Pública, PROMEP, por el apoyo en la realización de esta tesis.

Gracias a la directora de tesis y a los asesores por las contribuciones a la misma.

Gracias a los docentes del CFCyTA que apoyaron el proceso enseñanza-aprendizaje durante mi formación académica.

Dedicatorias

Dedico este trabajo especialmente a Mis Hijos: Itzel Morales Torres y Víctor Emiliano Morales Torres para que sean conscientes y promuevan el cuidado sustentable de los recursos naturales viviendo más amablemente con la naturaleza:

"Fábula de Maya: El hombre, los animales y la tierra"

Y el hombre se encontraba solo perdido en su amarga tristeza, por lo que todos los animales se acercaron y hablaron con él...

-Los animales bondadosos le dicen: "No nos gusta verte triste, ¿Por qué no imaginas lo que tu deseas?, nosotros lo compartiremos y tu lo tendrás".

-El hombre dice: "quiero tener buena vista.

-El Búho contesta: "tendrás la mía".

-El hombre dice: "quiero ser fuerte.

-El jaguar habla: te daré mi fortaleza, serás fuerte como yo".

-El hombre pide: "anhelo los secretos de la tierra.

-La serpiente acepta: "yo te enseñare..."

Y así fue, el hombre pidió y todos los animales lo apoyaron... cuando el hombre tuvo todos los dones que se le podían dar, se marchó lejos.

Posteriormente, los otros animales lo observaron en silencio y se quedaron

juntos meditando, pues el hombre aún seguía triste...

-Después, el búho dice: "si, ya el hombre sabe mucho y puede hacer muchas cosas; creo que ahora deberíamos sentir miedo".

-El siervo exclama: "pero si ya tiene todo lo que necesita, ahora por fin terminará su tristeza y será feliz al fin".

-El búho sapiente aclara: "Ino, no no!... he visto un enorme vacío en el hombre... el cual, este jamás saciará; es lo que lo hace triste y lo que hace que para siempre quiera más... y más... seguirá queriendo, seguirá teniendo y bebiendo... hasta que... un día el mundo dirá ya no, no tengo más, ya no hay más de mí para beber y no habrá para ninguna de nuestras especies".

RESUMEN

México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en reutilizar aguas residuales para riego agrícola con 350 mil hectáreas, de las cuales 90 mil por problemas de escases de agua, son del Valle del Mezquital, Hidalgo (Garza, 1994).

La sustentabilidad del riego agrícola con agua residual se debe el aporte de nutrientes y la disminución de gastos de fertilización; pero existe riesgo sanitario y toxicológico, especialmente en especies hortícolas (Cuenca *et. al.*, 2001).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del riego con aguas residuales en la calidad poscosecha de las hortalizas producidas en el Valle del Mezquital.

La caracterización de las fuentes de agua para riego agrícola indicó diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre las fuentes Ojo de Agua, Manantial Manón, Presa Endho, Canal Requena, Canal G5 y Canal de Cadenas en función de las propiedades fisicoquímicas, el contenido de coliformes y de metales pesados aunque dentro de los límites permisibles de la NOM 001 Ecol 1996.

La evaluación de la desinfección de las hortalizas de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria indico diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre las hortalizas desinfectadas con Hipoclorito de Sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada respecto a coliformes, enterococos, salmonella, hongos y levaduras. Las hortalizas desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) presentaron los mejores niveles de eliminación de microorganismos respecto a las desinfectadas con Microdin y las lavadas con agua destilada.

La determinación de metales pesados en el órgano de consumo de las hortalizas establece diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre las hortalizas de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria en relación al contenido de Fe, Mn, Si, Mg, Zn y Pb; sin embargo, todas estas hortalizas tienen concentraciones de metales pesados Incluyendo Pb, inferiores a los niveles de tolerancia para vegetales según la NOM-130-SSA1-1995.

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las hortalizas después de la desinfección de sus órganos de consumo indicó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre las hortalizas desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada respecto a % de sólidos

solubles totales, % pérdida de peso, % de clorofila, color en relación a L, a, b y firmeza. Observándose que las hortalizas de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria a los 9, 14, y 21 días de almacenamiento respectivamente; muestran que las que fueron desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin presentan mayor concentración de sólidos solubles totales, menor porcentaje de pérdida de peso, menor contenido de clorofila, menor disminución en color con respecto a L, a y b, así como la menor pérdida de firmeza.

En general, aplicar tratamientos de desinfección con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin contribuyen a la sustentabilidad de la producción de hortalizas bajo riego con agua residual conservando los parámetros fisicoquímicos de calidad, incrementando la vida de almacenamiento y disminuyendo el riesgo de salud para el consumidor.

SUMMARY

Mexico occupies the second place worldwide in re-using waste water for agricultural irrigation with 350 thousand hectares, of which 90 thousand for problems of It is absent of water, are of the Valle del Mezquital in Hidalgo's state (Garza, 1994).

The sustentabilidad of the agricultural irrigation with residual water owes to herself the contribution of nutrients and the decrease of expenses of fertilization; but there exist sanitary and toxicological risk, specially in horticultural species (Cuenca *et. al.*, 2001).

The objective of the investigation was to determine the effect of the irrigation with waste water in the quality posharvest of vegetables.

The characterization of the sources gives water for agricultural irrigation showed statistical significant difference ($P < 0.05$) between the sources Ojo de Agua, Manantial Manón, Presa Endho, Canal Requena, Canal G5 and Canal de Cadenas depending on the physicochemical properties, the content of coliformes and of heavy metals though inside the permissable limits of the NOM 001 Ecol 1996.

The evaluation of the disinfection of the vegetables of Beet, Onion, Cauliflower and Carrot indicated statistical significant difference ($P < 0.05$) between the vegetables disinfected with Hipoclorito of sodium (20 ml/L), with Microdin and the washed ones with water revealed with regard to coliformes, enterococos, salmonella, and yeasts. The vegetables disinfected with Hipoclorito of sodium (20 ml/L) presented the best levels of elimination of microorganisms respect to the disinfect them with Microdin and the washed ones with water revealed.

The determination of the heavy metals in the organ of consumption of the vegetables establishes statistical significant difference ($P < 0.05$) between the vegetables of Beet, Onion, Cauliflower and Carrot in relation to the content of Fe, Mn, Si, Mg, Zn and Pb; nevertheless, all these vegetables have concentrations of heavy metals including Pb, lower than the levels of tolerance for vegetables according to NOM-130-SSA1-1995.

The evaluation of the physicochemical properties of the vegetables after the disinfection of his organs of consumption indicated the differentiates significant

statistics ($P < 0.05$) between the vegetables disinfected with Hipoclorito of sodium (20 ml/L), with Microdin and the washed ones with water revealed with regard % of total's solves solids, % lost weigth, % Chlorophyll, the color respect to L, a, b and Firmness. Being observed that the vegetables of Beet, Onion, Cauliflower and Carrot to the times 9, 14 and 21 days of storage respectively; they show that those who were disinfected by Hipoclorito of sodium (20 ml/L) and with Microdin they present major concentration of total's solves solids, minor % of loss of weight, minor the content of chlorophyll; minor decline of the color respect to L, a, b as well as the minor loss of firmness.

In general, apply treatments of disinfection with Hipoclorito of sodium (20 ml/L) and with Microdin they contribute to the sustentability of the production of vegetables under irrigation with residual water preserving the physicochemical parameters of quality, increasing the life of storage and diminishing the risk of health for the consumer.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
RESUMEN.....	III
SUMMARY	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE TABLAS, CUADROS Y FIGURAS.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia de la Calidad de Agua para Riego Agrícola	4
2.2. Reutilización de Agua Residual para Riego Agrícola.....	5
2.3. Contaminación de Agua.....	7
2.4. Contaminación de Suelos.....	12
2.4.1. Efecto Contaminante Metales Pesados	13
2.4.2. Movilidad de los Metales Pesados en el Suelo	11
2.4.3. Acumulación y Disponibilidad de Metales Pesados en el Suelo.....	16
2.4.4. Adsorción de Metales Pesados en Tejidos Vegetales.....	17
2.4.5. Normatividad.....	21
2.5. Importancia de las Hortalizas	22
2.5.1. Importancia del Manejo Poscosecha de Hortalizas	22
2.5.2. Factores Intrínsecos de Conservación de Hortalizas.....	24
2.5.3. Factores Extrínsecos de Conservación de Hortalizas	28
2.5.4. Inocuidad de Hortalizas	30
2.5.5. Criterios de Manejo Poscosecha de Hortalizas	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. Descripción de la Zona de Estudio	36
3.2. Diagnóstico Físicoquímico del Agua de Riego de Tezontepec de Aldama, Hidalgo	38
3.3. Establecimiento del Experimento	41
3.3.1. Manejo de Muestras	42
3.3.2. Tratamientos de Desinfección.....	42
3.3.3. Variables de Estudio y Métodos.....	42
3.4. Análisis de Resultados	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
4.1. Análisis Microbiológicos de las Hortalizas Desinfectadas	46
4.1.1. Desinfección de Betabel	46
4.1.2. Desinfección de Cebolla	46
4.1.3. Desinfección de Coliflor.....	47
4.1.4. Desinfección de Zanahoria	48
4.2. Metales Pesados en Tejido de Coliflor, Cebolla, Betabel y Zanahoria.....	49
4.3. Calidad Poscosecha.....	50
4.3.1. Cambios de Poscosecha de Betabel	50
4.3.2. Cambios de Poscosecha de Coliflor	54
4.3.3. Cambios de Poscosecha de Cebolla	61
4.3.4. Cambios de Poscosecha de Zanahoria	65
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
VI. BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE TABLAS CUADROS Y FIGURAS

Índice de Tablas

	Pág
Tabla 1. Industrias del área metropolitana de la Ciudad de México que aportan aguas residuales al Valle del Mezquital.....	1
Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes básicos en aguas residuales.	11
Tabla 3. Límites Máximos permisibles de metales pesados y cianuros en aguas residuales.	12
Tabla 4. Movilidad de los metales en el suelo	13
Tabla 5. Estándares de evaluación para suelos contaminados por metales pesados	15
Tabla 6. Movilidad de los metales pesados según el potencial oxido-reductor y el pH del suelo.....	16
Tabla 7. Alteraciones fisiológicas en las plantas debidas a los metales	18
Tabla 8. Concentración de Cd,Ni y Pb en Alfalfa regada con agua residual en el Valle del Mezquital.....	19
Tabla 9. Evaluación de metales pesados en hortalizas de acuerdo a su parte comestible.....	20
Tabla 10. Metales pesados y metaloides para vegetales o sus derivados.....	20
Tabla 11. Límites permitidos de metales en hortalizas.....	21
Tabla 12. Umbrales de contaminación de metales pesados en los principales países europeos	21
Tabla 13. Clasificación de la hortalizas en base a tasa de producción de etileno.	26
Tabla 14. Clasificación de las hortalizas en base a su tasa de respiración	27

Índice de Cuadros

	Pág
Cuadro 1. Análisis de fisicoquímico en aguas residuales y de manantial de Tezontepec del Aldama, Hgo	39
Cuadro 2. Coliformes totales en aguas residuales y manantiales de Tezontepec del Aldama, Hgo.....	40
Cuadro 3. Análisis de metales pesados y cianuros de aguas residuales y manantiales de Tezontepec del Aldama, Hgo.....	41
Cuadro 4. Efecto del tratamiento de desinfección microbiológica de betabel.....	46
Cuadro 5. Efecto de los tratamientos de desinfección microbiológica de cebolla.....	47
Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de desinfección microbiológica de coliflor.	47
Cuadro 7. Efecto de los tratamientos de desinfección zanahoria	48
Cuadro 8. Metales pesados en hortalizas	49
Cuadro 9. Comportamiento de los sólidos totales disueltos del betabel durante la vida poscosecha.....	50
Cuadro 10. Comportamiento de la perdida de peso del betabel durante su vida poscosecha.....	51
Cuadro 11. Comportamiento de L del betabel durante su vida poscosecha.....	52
Cuadro 12. Comportamiento de "a" del betabel durante su vida poscosecha.....	53
Cuadro 13. Comportamiento de "b" del betabel durante su vida poscosecha	53
Cuadro 14. Comportamiento de la firmeza del betabel durante su vida poscosecha	54
Cuadro 15. Comportamiento de los sólidos totales solubles de coliflor durante su vida poscosecha.....	55
Cuadro 16. Comportamiento de la perdida de peso de coliflor durante su vida poscosecha ..	55
Cuadro 17. Comportamiento de clorofila en la hoja de la coliflor durante su vida poscosecha.....	56
Cuadro 18. Comportamiento de L en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha	57
Cuadro 19. Comportamiento de "a" en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha.....	57
Cuadro 20. Comportamiento de "b" en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha.....	58
Cuadro 21. Comportamiento L de coliflor durante su vida poscosecha	59
Cuadro 22. Comportamiento de "a" de coliflor durante su vida poscosecha.	59
Cuadro 23. Comportamiento de "b" de coliflor durante su vida poscosecha	60
Cuadro 24. Comportamiento de la firmeza de coliflor durante su vida poscosecha	60
Cuadro 25. Comportamiento sólidos totales solubles de la cebolla durante su vida poscosecha.....	61

Cuadro 26.	Comportamiento de pérdida de peso de cebolla durante su vida poscosecha.....	62
Cuadro 27.	Comportamiento L de cebolla durante su vida poscosecha	62
Cuadro 28.	Comportamiento de "a" de cebolla durante su vida poscosecha.....	63
Cuadro 29.	Comportamiento de "b" de cebolla durante su vida poscosecha.....	64
Cuadro 30.	Comportamiento de la firmeza de cebolla durante su vida poscosecha.....	64
Cuadro 31.	Comportamiento de los sólidos totales solubles en zanahoria durante la vida poscosecha.....	65
Cuadro 32.	Comportamiento del perdida de peso de zanahoria durante su vida poscosecha.....	66
Cuadro 33.	Comportamiento de L de zanahoria durante su vida poscosecha.....	66
Cuadro 34.	Comportamiento de "a" de zanahoria durante su vida poscosecha	67
Cuadro 35.	Comportamiento de "b" de zanahoria durante la vida poscosecha.	68
Cuadro 36.	Comportamiento de la firmeza de zanahoria durante su vida poscosecha	68

Índice de Figuras

	Pág
Figura 1. Presas de lamacenamiento y distribución de aguas residuales en el distrito 03 Tula y 100 Alfayucan.....	5
Figura 2. Influencia del pH sobre la absorción de metales	15
Figura 3. Contaminación cruzada de hortalizas.....	31
Figura 4. Ubicación del municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo	38
Figura 5. Localización de la zona de estudio	39

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, México ocupa el segundo lugar después de la República Popular de China en reutilizar aguas residuales para riego agrícola. La superficie agrícola regada en el país es de 350 mil ha, de las cuales 280 mil son regadas con aguas residuales sin tratamiento (Garza, 1994).

En México, la región del Valle del Mezquital del Estado de Hidalgo es una zona árida con problemas de escases de agua para las actividades agrícolas y pecuarias. Una pequeña parte de la superficie es regada con agua de manantiales y aproximadamente 90,000 hectáreas son regadas con aguas residuales o la mezcla de estas con y excesos de precipitación pluvial colectada de la zona metropolitana de la Ciudad de México (La Jornada, 2002).

La reutilización de aguas residuales en riego implica riesgo sanitario y toxicológico para el humano, debido a los agentes biológicos y químicos que estas contienen. Por ello, es necesario conocer en detalle la presencia, concentración, supervivencia y/o acumulación en distintos medios suelo, agua y planta de los diferentes contaminantes (Teorema Ambiental, 2000).

En el Valle del Mezquital se producen cultivos como durazno, ejote, chile, calabaza, coliflor, maíz, betabel, acelga, verdolaga, perejil, hierba buena, col, zanahoria, rábano, elote, cilantro, entre otras; las cuales son comercializadas principalmente en la central de abasto de la Ciudad de México y por ende distribuidas hacia los estados del centro del país (Melo *et. al.*, 2001).

El riego de cultivos agrícolas con aguas residuales es una práctica común que aplican los productores del Valle del Mezquital, Hidalgo (Justine *et. al.*, 2001).

Los beneficios del riego de cultivos hortícolas con agua residual son el aporte de nutrientes a las plantas y la disminución de gastos de fertilización que hacen sustentable la producción. Las limitantes de reutilizar aguas residuales no tratadas en el riego de hortalizas no son tan evidentes, sin embargo existe el riesgo de que los efectos de contaminación química o microbiológica se manifiesten en la calidad poscosecha, durante su vida de manejo poscosecha y en la salud del consumidor (Cuenca *et. al.*, 2001).

El efecto de contaminación microbiológica y química (principalmente metales pesados) en hortalizas depende de la especie y el órgano de consumo (Juárez, 2006).

El riesgo microbiológico para la salud humana debido al consumo de hortalizas regadas con aguas residuales no tratadas es la posible presencia de microorganismos, tales como bacterias coliformes (*Escheriquia coli* y *Klebsiella neumoniae*), cocos (*Streptococcus fecalis* y *E. zimogenes*), pseudomonas (*Pseudomonas spp.*), salmonelas (*Salmonellas typhi* y *S. paratyphi*) y huevecillos de helmintos (*Ascaris lumbricoides* y *Trichuris trihuria*); todos estos asociados a enfermedades como diarreas, fiebre tifoidea y parasitismo (Cuenca *et. al.*, 2001).

El riesgo de intoxicación química en las hortalizas y en la salud humana lo representa la posible absorción de metales pesados disueltos en aguas residuales utilizadas para riego. Algunos metales pesados son el Cr (VI), Pb, Ar (III), Ni, Co Cu y Cd; estos se han descrito como cancerígenos, bioacumulables y fitotóxicos (Silva *et. al.*, 2002).

En base a lo anterior, en el presente trabajo se evaluó el efecto del riego con aguas residuales en la calidad poscosecha de betabel, cebolla, coliflor y zanahoria regado con agua residual lavada y desinfectada.

1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del riego con aguas residuales en la calidad poscosecha de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria en el municipio de Tezontepec de Aldama Hidalgo, México.

1.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar la calidad de las muestras de fuentes de riego del municipio de Tezontepec de Aldama Hidalgo, México en función de propiedades fisicoquímicas, coliformes y metales pesados.

Evaluar el efecto de tratamientos de desinfección en muestras de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria considerando la carga de coliformes, enterococos fecales, hongos y levaduras

Determinar el contenido de plomo, zinc magnesio, manganeso, potasio, calcio, hierro y silicio en el órgano de consumo de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria.

Establecer el efecto de los tratamientos de desinfección aplicados en muestras de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria durante su vida del almacenamiento en función de Pérdida de Peso, Sólidos Totales Disueltos, Clorofila, Color (L, a y b) y Firmeza.

1.3. Hipótesis

El riesgo a la salud de los consumidores por alimentarse con hortalizas regadas con aguas residuales producidas en el municipio de Tezontepec de Aldama Hidalgo, México se controla aplicando técnicas de desinfección sin afectar su calidad de poscosecha.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la Calidad de Agua para Riego Agrícola

En México, existe una problemática latente con los recursos hídricos. En general: el agua es escasa; en los últimos años se han presentado condiciones de sequía; la infraestructura de distribución está mal diseñada y deteriorada; y esta, ha sido utilizada para conducir mezclas de precipitación pluvial y aguas residuales afectando la calidad del agua (Mejía *et. al.*, 2002).

La calidad del agua de ríos y de manantial puede ser aceptable debido a los procesos naturales de autodepuración; sin embargo, los altos niveles de contaminación del agua en la mayoría de los casos supera dichos procesos debido a la excesiva descarga de contaminantes de la población urbana y de la industria; por lo que se establece que la calidad del agua es variable y requiere de su monitoreo (Hahn *et. al.*, 2006).

En general, la calidad del agua se ve deteriorada debido a que menos del 5 % de las aguas residuales son tratadas y estas se mezclan con las precipitaciones pluviales contaminando cuerpos de agua (Kelly, 2002).

Al respecto, el uso del agua contaminada en la agricultura representa un problema de deterioro ambiental que afecta tanto a cultivos, suelos y mantos freáticos. En un estudio realizado por Silva *et. al.*, (2002) en la región de Atlixco, Puebla se evaluó la calidad del agua de uso agrícola; en este se encontró que pozos, manantiales, escurrimientos y ríos exceden las normas en nitritos, Cd, Pb, coliformes fecales y coliformes totales. Así mismo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo Justine *et. al.*, (2001) evaluaron el efecto del uso de agua residual en cultivos encontrando que existe contaminación de metales pesados en el suelo cual es absorbida por los tejidos de alfalfa, maíz y trigo.

Particularmente, Chaidez (2000) indica que el uso de agua residual para riego de productos hortícolas es el principal factor de riesgo en su calidad microbiológica y química.

2.2. Reutilización de Agua Residual para Riego Agrícola

La reutilización de agua residual en el riego agrícola es una opción que garantiza una fuente constante del líquido para las distintas zonas que sufre de sequía en México. Este tipo de aguas aportan nutrientes y microelementos para las plantas, favorecen el ahorro en gastos de fertilización, y sobre todo coadyuva en la sustentabilidad del sistema agrícola; aunque también, trae riesgos como contagio de enfermedades en humanos, afectaciones del cultivo, especialmente los de consumo en fresco (hortalizas), infiltraciones a los acuíferos y excedentes de riegos que llegan a ríos y otros cuerpos de agua (Vázquez *et. al.*, 2001).

Melo *et. al.*, (2002) señalan que las aguas residuales que se producen en el D.F. en mayor medida se utilizan para riego de cultivos en los Estados de Hidalgo y México.

El drenaje de la Zona metropolitana Ciudad de México funciona mediante un sistema de tres conductos principales: el Interceptor Poniente, el Gran Canal, y el Emisor Central, en los cuales se transportan las aguas residuales y las pluviales. El sistema general de desagüe y el drenaje profundo descargan en el río el Salto, estas aguas fluyen al río Tula, a la presa Endo y Requena (Figura 1), donde se utilizan para irrigación de cultivos. El río Tula desemboca en el río Moctezuma, afluente del río Pánuco, el cual fluye al Golfo de México (Cifuentes *et. al.*, 1993).

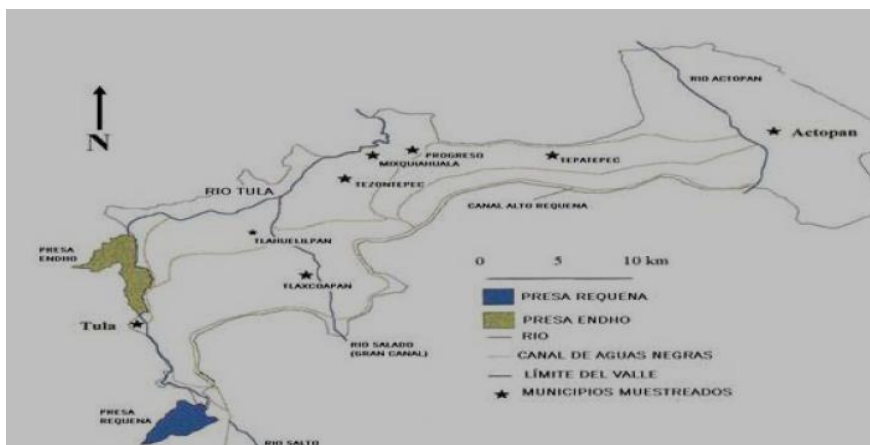


Figura 1. Presas de almacenamiento y distribución de aguas residuales en el distrito 03 Tula y 100 Alfayucan. Márquez, 1998; Citado por Acosta, 2007.

La actividad productiva (Tabla 1) en la Ciudad de México genera alrededor de 1,350 millones de m³ de agua residual. Un elemento a destacar es que en dicha zona existe 55 % de la actividad de la industria nacional. El agua es drenada al Mezquital, Hidalgo, a un caudal de 43 m³·s⁻¹ de agua residual (de origen 57 % Urbano y 43 % Industrial) (García *et. al.*, 1997).

Tabla 1. Industrias del área metropolitana de la Ciudad de México que aportan aguas residuales al Valle del Mezquital.

Principales Industrias	Nº de Plantas	Elementos vestigiales que participan en sus proceso
Refinería de petróleo	1	Pb
Plantas termoeléctricas	4	Cd, Cu, Ni y Pb
Cementeras	2	Ba
Fundidoras	8	Cr, Fe, Ag, Mn, Mo, Cd, Cu, Co, Ba, Ni, y Se
Industrias químicas	2	As y Cd
Industria de Vidrio	4	As, B, Ba, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Pb y Se

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente, 1993; Citado por Acosta, 2007.

Cifuentes *et. al.*, (1993) indica que las aguas residuales reciben un tratamiento de infiltración y lixiviación natural antes de ser almacenadas en la presa Endo y Requena, para su posterior distribución principalmente a los distritos de riego 03-Tula y 100 Alfayucan.

El uso de aguas residuales para regar parcelas agrícolas es una actividad común en el Valle del Mezquital desde 1886. Un efecto desfavorable es que debido a los altos grados de contaminantes encontrados en aguas, productos agrícolas y suelo, en parcelas continuamente regadas, han provocado problemas de salud a los productores (Rowe, 1995; Citado por Silva *et. al.*, 2002).

En estudios relacionados sobre el efecto de uso de agua residual en el riego agrícola Mascareño y Guajardo (1997), Sánchez (1985), Mejía *et. al.* (1990), Carrillo *et. al.*, (1992), Cifuentes *et. al.*, (1994) y Siebe (1994 y 1995) entre otros, Citados por Silva *et. al.*, (2002), han investigado la acumulación y distribución de metales en diferentes ambientes y observaron concentraciones de metales en agua residual para riego eran más elevados que los permitidos por la Norma

NOM-01-ECO-1996. De igual forma cuantificaron en alfalfa concentraciones de Ni y Pb influenciadas por la aplicación de riego con agua residual. Carrillo *et. al.*, (1992); Citados por Silva *et. al.*, (2002) encontraron que la concentración de Cd en agua residual fue superior al límite permisible en México. Además, alfalfa regada con aguas residuales tenía concentraciones de Cr y Pb superiores a los valores considerados normales en tejido vegetal.

Otro efecto del uso de agua residual en riego agrícola es que la única fuente de suministro de agua para la población de la zona es la del subsuelo, para lo cual cuentan con 206 pozos profundos y alrededor de 40 manantiales. Del subsuelo se extraen $7.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de agua, de la cual el 22 % es destinada para actividades agropecuarias y 14 % para consumo doméstico.

Al respecto Jiménez *et. al.*, (1997) citados por la Jornada (2002) realizaron un estudio sobre la calidad del agua de pozos profundos para consumo y uso humano, mismo que indico presencia de contaminantes. Dentro del estudio, se analizaron 276 parámetros (22 físicos; 34 metales, no metales y compuestos microbiológicos; 213 compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, y radiactividad, entre otros). El resultado mostró que los parámetros de coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, sodio, sólidos disueltos y nitrógeno amoniacal exceden la norma NOM-127-SSA1-1994.

La actividad de riego de cultivos con aguas residuales tiene efectos considerables en el ambiente. Las elevadas láminas de riego (1.5 a $2.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}$ al año), usadas para lavar las sales de los suelos dañinas para la agricultura, así como el transporte de aguas negras a través de canales sin revestir, han resultado en la recarga del acuífero local e incluso en la formación de nuevos depósitos de extensiones mucho mayores a la original. En 1998, el organismo British Geological Survey calculó que dicha infiltración asciende a por lo menos $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ equivalente a 13 veces la recarga natural sin la presencia de aguas negras. La recarga incidental ha incrementado el nivel del manto freático, de manera que en sitios donde el líquido subterráneo se encontraba a 50 m de profundidad, afloran manantiales con gastos de entre 40 a $600 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (La Jornada, 2002).

2.3. Contaminación de Agua

En condiciones naturales los cuerpos de agua tienen una elevada capacidad de auto depurarse, pero son alterados por el hombre. Las bacterias descomponen los desechos orgánicos, los cuales alimentan a los peces y plantas, que a su vez hacen retornar a la biosfera el oxígeno y el carbono. Al aumentar la población humana se complican los ciclos ecológicos de las aguas, se descargan los residuos generalmente sin depuración previa, contaminando dichos cuerpos hasta hacerlos peligrosos para la salud humana. La industria libera pesticidas, desechos químicos y metales pesados en las aguas, en cantidades que superan la capacidad de las bacterias para eliminarlas produciendo las aguas denominadas residuales. La calidad del agua cambia en el espacio y el tiempo por lo que es necesario establecer un control (Hahn *et. al.*, 2006).

Las aguas residuales son aquellas de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícola, pecuaria, doméstica, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-001-ECOL-1996).

De acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996 los contaminantes se clasifican en: Contaminantes Básicos. Comprenden a todos aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En la norma se agrupan los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda biológica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

Contaminantes Patógenos o Parasitarios. Son los microorganismos, quistes o huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que presentan riesgo para la salud humana, flora o fauna. De acuerdo a norma solo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 mL (número más probable de unidades formadoras de colonias por cada 100 mL) y los huevos de helminto medido como H/L (helmintos por Litro de agua).

De acuerdo a NMX-042-1987 los organismos indicadores son:

Los coliformes son el indicador de presencia de patógenos en el agua residual. Las bacterias coliformes totales incluyen a los generos *Escheriquia* y *Aerobacter*, aunque es posible determinar coliformes fecales y estreptococos fecales. La

técnica que se utiliza para cuantificar coliformes es el Número Más Probable. En el caso de los coliformes fecales y estreptococos existe una relación entre ellos para determinar el origen de contaminación.

Los *Enterococcus* son una bacteria Gram-positiva comensal, que habita el tracto gastrointestinal de humanos y otros mamíferos. Como otras spp. del género *Enterococcus*, puede causar infecciones comprometidas en humanos, especialmente en ambiente de hospital. La existencia de enterococos se potencia porque ha tenido la habilidad de adquirir resistencia a virtualmente todos los antibióticos en uso. El hábitat normal de estos es el tubo digestivo de animales de sangre caliente. Son indicadores de contaminación fecal, por lo que su presencia en los alimentos indica falta de higiene o defectuosas condiciones de conservación, excepto en alimentos en los que interviene como flora bacteriana natural de procesos fermentativos, como es el caso de quesos, embutidos crudos e incluso productos cárnicos. Son muy resistentes a condiciones adversas (congelación, desecación, tratamiento térmico, etc.) por lo que son buenos indicadores para valorar las condiciones higiénicas y de conservación de los alimentos congelados y desecados

Los hongos y levaduras la mayoría de estos no se consideran patógenos, algunos producen toxinas en los alimentos, estos son los que causan ETA. Al igual que las bacterias los mohos forman esporas, pero estas no tienen la función de supervivencia sino la de reproducción. Pueden desarrollarse en diferentes tipos de alimentos y con diferentes características, como por ejemplo: Temperaturas altas o bajas, (aw) alta o baja, pH alto o bajo, medios dulces o salados, etc. Por lo general se desarrollan en alimentos con baja (aw) y ácidos como frutas, verduras y otros, donde las bacterias no se desarrollan con tanta facilidad. Las altas temperaturas pueden destruirlos, pero las toxinas que estos generan son resistentes y no se pueden destruir. La refrigeración también retarda el desarrollo de los mohos y la congelación lo detiene, pero ninguna los elimina.

Complementando, los principales agentes infecciosos que se encuentran en aguas residuales son bacterias, virus y parásitos intestinales (protozoos y helmintos). La

supervivencia de estos organismos en el agua y planta es variable dependiendo de la temperatura y presencia de una flora competitiva (Chaidez, 2000).

Por otra parte, la contaminación química en aguas residuales se define con base en los metales pesados (Ar, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), cianuros, grasas y aceites (NOM-001-ECOL-1996).

De estos, los metales pesados son importantes debido a que tienen capacidad de bioacumulación y biomagnificación que producen alteraciones en la salud humana; de los cuales el arsénico, el cadmio, el mercurio y el plomo con el avance de las técnicas instrumentales ha sido más fácil su determinación y diagnóstico de efecto dañino para la salud (Kirk *et. al.*, 2000).

Las aguas residuales son el medio de contaminación de metales pesados que contaminan el suelo y planta, aunque otra fuente de contaminación se atribuye al uso de agroquímicos (Juárez, 2006).

La calidad del agua residual de riego es debe ser monitoreada en base a la norma NOM-001-ECOL-1996; para determinar los riesgos sanitarios y tóxicos para la salud del consumidor. Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

De acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996 existen 2 categorías de riego con aguas residuales considerando el tipo de cultivo producido. La primera es el Riego no restringido consiste en utilizar el agua residual en la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras. La segunda es el Riego restringido consiste en utilizar el agua residual en la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas. La concentración de contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado (Tabla 2).

Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes básicos en aguas residuales.

Parámetros mg/L excepción cuando indique	a	Ríos				Embalses Naturales y Artificiales			
		Uso de Riego Agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Uso de Riego Agrícola (B)		Uso Público Urbano (C)	
		P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura ° C (1)		N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40
Grasas y Aceites (2)		15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)		ausente	Ausente	ausente	ausente	Ausente	Ausente	ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (mL/ L)		1	2	1	2	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales		150	200	75	125	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅		150	200	75	150	75	150	30	60
Nitrógeno Total		40	60	60	15	40	60	15	25
Fósforo Total		20	30	20	30	20	30	5	10

A Instantáneo; (2) Muestra Simple Promedio Ponderado; (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006, P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual, N.A.= No es aplicable; (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

Otro parámetro es el pH. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se toma como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente (NOM-001-ECOL-1996).

Para determinar la contaminación por parásitos se toma como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido (NOM-001-ECOL-1996).

El nivel de contaminación de metales pesados y cianuros en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no deben exceder el valor indicado en el agua residual (Tabla 3).

Tabla 3. Límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en aguas residuales.

Parámetros (*) mg/L a excepción cuando se indique	Ríos				Embalses Naturales y Artificiales			
	Uso de Riego Agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Uso de Riego Agrícola (B)		Uso Público Urbano (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.1	0.02	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1.0	0.2	0.4	0.5	1.0	0.4	0.5
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total; P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual N.A.= No es aplicable; (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

2.4. Contaminación de Suelos

La contaminación de los suelos agrícolas con metales pesados se ha incrementado sustancialmente como consecuencia del empleo intensivo de agroquímicos y del riego con aguas residuales (Méndez *et. al.*, 2000).

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental debido a que no son bio-degradables, no son termo-degradables, generalmente no percola a las capas inferiores de los suelos y pueden acumularse sutilmente a concentraciones tóxicas para las plantas y animales. La duración de la contaminación por metales pesados en los suelos puede ser por cientos o miles de años (Juárez, 2006).

Desde el punto de vista químico, los metales pesados son aquellos elementos cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1 % y casi siempre menor del 0.01 %. También tienen esta consideración aquellos que presentan orígenes y comportamientos semejantes como el As, B, Ba y Se. Desde

el punto de vista biológico, se distinguen dos grandes grupos, aquellos que no presentan una función biológica conocida y los que tienen la consideración de oligoelementos o micronutrientes. La presencia de los primeros en seres vivos, en cantidades mínimas, lleva aparejada graves disfunciones orgánicas; estos resultan altamente tóxicos y pueden acumularse en los organismos vivos; principalmente son Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn, Sb, Bi. Los oligoelementos o micronutrientes se requieren en pequeñas cantidades, o cantidades traza, por las plantas y animales; todos ellos son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital pero superado un cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, entre otros (Juárez, 2006).

2.4.1. Efecto Contaminante de Metales Pesados

Los metales pesados participan en varios procesos desde que son incorporados en el suelo, principalmente por actividades antropónicas; se pueden incorporar al ciclo del agua, acumularse en tejidos vegetales o en el suelo como resultado de diversas transformaciones químicas vía proceso de absorción, solubilización, precipitación y cambios de estado de oxidación Rubio *et. al.*, (1996); Citado por Acosta, 2007.

2.4.2. Movilidad de los Metales Pesados en el Suelo

Chang *et. al.*, (1992); Citado por Juárez (2006) indica que los metales pesados que ingresan en pequeñas cantidades en los suelos encuentran lugares específicos de adsorción donde son retenidos fuertemente en los coloides orgánicos e inorgánicos. Adiciones continuas de metales pesados pueden acumularse en los suelos hasta alcanzar niveles tóxicos para el crecimiento de las plantas. Los suelos arenosos contienen menores concentraciones de metales pesados que los suelos arcillosos. La movilidad de los metales depende de la forma química de fijación al suelo (Tabla 4).

Tabla 4. Movilidad de los metales en el suelo.

Forma de Retención en el Suelo	Disponibilidad Relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible.
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos.
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles.
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química.
Incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición.
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización.

Fuente: Juárez, 2006.

La sensibilidad de los suelos a los agentes contaminantes depende de las características edáficas (Juárez, 2006).

Chen et. al., (1996); Wang et. al., (1994); Citados por Juárez, (2006) realizaron para el gobierno de China una clasificación propuesta para monitorear y evaluar los niveles de metales pesados en lugares contaminados. Esta clasificación se basa en las propiedades del suelo y el efecto de los metales pesados sobre la calidad de agua, en la actividad de los microorganismos en los suelos, en la salud humana y en los rendimientos y calidad de las cosechas. Los niveles para evaluar la contaminación del suelo con metales pesados son: Los Valores A (límite superior de concentración frecuente de metales pesados en suelos), Valores de B (nivel aceptable de metales pesados en suelos), y valores de C (intervención, es necesario el control de la contaminación). Los niveles de concentración de metales pesados consideran no solo el contenido total en suelos, si no también el nivel asimilable por las plantas (Tabla 5).

Tabla 5. Estándares de evaluación para suelos contaminados por metales pesados.

Elemento	Valor A		Valor B		Valor C	
	Extracción 0.1 M HCL	Concentración Total	Extracción 0.1 M HCL	Concentración Total	Extracción 0.1 M HCL	Concentración Total
ppm (base seca)						
Arsénico	-	16	-	30.0	-	40.0
Cadmio	0.4	2.0	11.0	4.0	2.0	5.0
Cromo	12	100.0	25.0	250.0	40.0	400.0
Plomo	18	50.0	150.0	300.0	200.0	500.0

Valor A: Límite superior de concentración frecuente de metales pesados en suelos.

Valor B: Nivel aceptable

Valor C: Límite de intervención. Es necesario el control de la contaminación.

Fuente: Juárez, 2006.

Juárez (2006) menciona que los factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad de metales pesados para ser absorbidos por las plantas son: el pH, la textura, la estructura, la mineralogía de las arcillas, la materia orgánica, la capacidad de cambio, las condiciones redox, los carbonatos, y la salinidad (Figura 2).

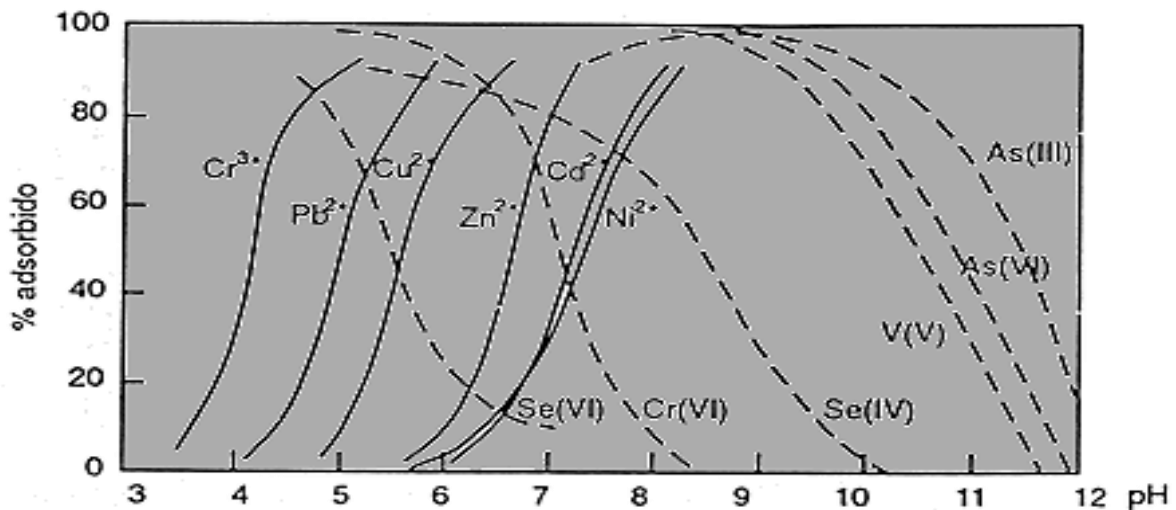


Figura 2. Influencia del pH sobre la absorción de metales. Juárez, 2006.

La disponibilidad de estos elementos para ser absorbidos por las plantas depende principalmente del pH del suelo. Las plantas absorben trazas de estos elementos para cumplir funciones metabólicas, aunque un exceso produce fitotoxicidad, esto varía en función de la especie (Juárez, 2006).

La movilidad y disponibilidad de los metales pesados se afecta por el pH y Eh (Tabla 6).

Tabla 6. Movilidad de los metales pesados según el potencial oxidoreductor y el pH del suelo.

Movilidad	Oxidante	Ácido	Neutro y Alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Fuente: Juárez, 2006.

2.4.3. Acumulación y Disponibilidad de Metales Pesados en el Suelo

Siebe *et. al.*, (1994, 1995) estima que existe un proceso de acumulación de metales pesados en la región del Valle del Mezquital, la cual sería de tres a seis veces superior a lo que ocurre en suelos no irrigados con aguas residuales. Una preocupación es que la fracción más activa de metales en el suelo se esta incrementando, respecto a la disponibilidad para las plantas. Esta autora registró un aumento en la concentración de la fracción móvil de Cd y Pb en alfalfa.

Tamariz *et. al.*, (1992) citados por Vázquez *et. al.*, (2001) realizaron un trabajo donde compararon la disponibilidad relativa de metales: Pb, Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn, y Zn en suelos agrícolas afectados uso de aguas residuales y uso elevado de insumos agrícolas. Las afectaciones se dieron en mayor medida por el riego de aguas negras, aunque el Fe³⁺ se acumulo mayormente en suelos con alto uso de agroquímicos. El Cd fue el que presento mayor disponibilidad relativa. Los metales de más baja disponibilidad en los tres suelos fueron Co y Cr.

Carrillo *et. al.*, (1992) en un estudio sobre un predio irrigado con aguas residuales ubicado en Progreso Edo. de Hgo. observaron que la acumulación de Cr, Pb, Cd, Cu, Mn y Zn debido al riego rodado fue mayor a la entrada del predio, que incluso los niveles de Cr, Pb Cd y Zn fueron 10 veces más altos. De todos los metales analizados el Cu y Cd alcanzaron niveles que pueden considerarse dañinos

(70 ± 10 y 3 ± 0.5 mg Kg⁻¹). Estos metales se encuentran en forma absorbida en mayor proporción y están fijados en el suelo.

De acuerdo con Page y Chang (1981); Citados por Vázquez *et. al.*, (2001), la cantidad máxima de Cd permitida en el suelo regado con aguas residuales es de 5 a 20 Kg·Ha⁻¹. Esta concentración puede ser toxica para los consumidores de productos agrícolas cultivados en esos suelos. Con base en el Valor promedio detectado en el agua residual se estima que la acumulación límite será alcanzada dentro de 13-52 años.

Las cantidades de Pb, Ni y Cd del suelo regado con agua residual se acumulan en función del tiempo; el Ni y el Pb presentan la mayor tasa de acumulación mientras que el Cd tiene una tasa inferior a 4.3 veces en relación al Ni (Vázquez *et. al.*, 2001).

Amado y Ortiz (1999) en un estudio realizado en sobre producción de frijol señalan la relación estrecha entre el nivel de contaminación de agua con Pb, Ni y Cr a través de la cadena trófica en suelo, planta y grano, registrando trazas de estos elementos en cada nivel que no involucran riesgo para la salud.

De acuerdo con Méndez. *et. al.*, (2000) indican que las aguas residuales del rio Atoyac utilizadas para riego presentan niveles de contaminación aceptable de metales pesados de acuerdo a norma, a excepción de Mn; pero en el suelo existen niveles de contaminación considerables; por lo que se atribuye la contaminación del suelo al uso de pesticidas y fertilizantes diluidos por el agua residual.

2.4.4. Absorción de Metales Pesados en Tejidos Vegetales

Las plantas necesitan de nutrimentos para su crecimiento y desarrollo. La mayor demanda de estos elementos lo constituyen los macro nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio, sin embargo también son necesarios los elementos denominados micronutrientes por ser trazas tales como cobre, calcio, zinc, entre otros (MC Grath y McCormack, 1999).

El término fitotoxicidad es asociado al fenómeno causado por una sustancia potencialmente dañina a los tejidos vegetales, este afecta el crecimiento y

desarrollo de las plantas. Los metales pesados son absorbidos por las plantas, estos constituyen un grupo nutrimental que cumple una función específica y responde diferente de acuerdo a la especie. Los elementos Cu, Fe, Ni y Zn participan en reacciones enzimáticas; sin embargo de muchos de estos micronutrientes aun es desconocido su función en la planta. Los altos niveles de absorción producen fitotoxicidad que afecta fisiológicamente, por ejemplo el Cu^{2+} a altas concentraciones daña o fractura la membrana y el daño del Zn no es visible (MC Grath y McCormack, 1999).

Generalmente por similitudes las plantas responden de igual forma, aunque pueden existir diferencias entre especies (Tabla7).

Tabla 7. Alteraciones fisiológicas en las plantas debidas a los metales.

Metal	Efecto
Aluminio	Inhibición y alteración de las funciones de la membrana celular, a nivel de citoplasma.
Arsénico	Reducción del crecimiento y alteración de la concentración Ca, K, P y Mn en planta.
Cadmio	Inhibición de la fotosíntesis y la trasportación. Inhibición de síntesis de clorofila. Modificación de la concentración de Mn, Ca y K
Cobre	Desbalance iónico, alteración de la permeabilidad de la membrana celular, reducción del crecimiento e inhibición de fotosíntesis.
Cromo	Degradación de la estructura del cloroplasto, inhibición de la fotosíntesis, alteraciones de la concentración de Fe, Ca, K y Mg.
Mercurio	Alteración de la fotosíntesis, el crecimiento y de la acción enzimático.
Plomo	inhibición de la fotosíntesis, del crecimiento y la actividad enzimático
Zinc	Alteraciones de la permeabilidad de la membrana celular, inhibición de la fotosíntesis, alteraciones en las concentraciones de Cu, Fe y Mg

Fuente: Nastusch, 1997.

En general, la absorción de nutrientes en las plantas se realiza cuando la raíz y sus pelos radicales selectivamente permean los elementos y el agua a través del tejido epidérmico, para posteriormente transpórtalos en el tejido de xilema hacia las diversas partes vegetativas y ser absorbido en las células. Los pelos absorbentes poseen un tejido definido como endodermis, este se compone de células endodérmicas y la banda de caspary, esta última es impermeable y regula el paso del agua y de los minerales.

A nivel célula vegetal, la vacuola puede almacenar las sustancias toxicas sin dañar los otros orgánelos, Cuando un metal entra a la célula, este es inmovilizado por

sustancias orgánicas quelantes (fitoquelinas) formando iones complejos, los cuales se almacena en la vacuola y evita la toxicidad en la planta (Nobel, 1989).

La capacidad de las plantas de absorber y almacenar metales se llama bioacumulación y esta varía en función de la especie y la disponibilidad en el suelo de los metales (Nobel, 1989).

Vázquez *et. al.*, (2001) establecieron que las plantas absorben metales pesados del suelo regado con aguas residuales. El nivel de absorción en el tejido varía según la especie y la parte vegetal de la misma (Tabla 8).

Tabla 8. Concentración de Cd, Ni y Pb en Alfalfa regado con agua residual en el Valle del Mezquital.

Cadmio (mg·Kg ⁻¹)	Níquel (mg·Kg ⁻¹)	Plomo (mg·Kg ⁻¹)	Referencia
0.5-2.0	NC*	0.2-0.35	Siebe (1984)
0.02	NC*	0.1-0.42	Siebe (1995)
0.4-0.6	5.7-11.9	8.9-14.5	Cuajuste <i>et. al.</i> , (1991)
0.5-0.8	2.0-8.6	7.0-17.0	Carrillo <i>et. al.</i> , (1992)
0.3-1.05	6.0-10.9	4.4-11.3	Mejía <i>et. al.</i> , (1990)
1.0-8.0	2.2-13.0	8.0-19.0	Carrillo y Cuajuste (1995)
0.7-2.3	3.8-7.2	1.2-5.7	Vázquez <i>et. al.</i> , (2001)

* No cuantificado.

Fuente: Vázquez, 2001.

Juárez (2006) indica que el comportamiento de absorción de metales pesados en hortalizas depende de la parte vegetativa producida. La capacidad de absorción de las plantas con respecto a metales pesados es variable, lo que abre la posibilidad de adaptar la elección de cultivos según el grado y tipo de contaminación. Por lo general, las cantidades mayores de metales pesados se acumulan en las hojas y raíz, mientras que los contenidos más bajos se encuentran en las semillas y en frutos como tomates y pimientos (Tabla 9).

Tabla 9. Evaluación de metales pesados en hortalizas de acuerdo a su parte comestible.

Elemento	Hortalizas de Fruto mg/kg(n=90)	Hortalizas de Hoja mg/kg (n=144)	Hortalizas de Raíz mg/kg (n=112)
Arsénico	0.05	0.12	0.05
Cadmio	0.11	0.24	0.21
Cromo	0.26	0.02	0.03
Plomo	2.11	3.69	2.58

Fuente: Juárez, 2006.

El contenido normado de metales pesados en hortalizas procesadas se muestra a continuación.

Tabla 10. Metales pesados y metaloides para vegetales o sus derivados.

Metal pesado y metaloide	Limite máximo (mg/kg)
Plomo (Pb)	1.0
Arsénico (As)	1.0
Cadmio (Cd)	0.2
Estaño (Sn)*	100.0

* Sólo para aquellos envasados en hoja de lata sin barniz o envase barnizado con tira interior de estaño

Fuente: NOM-130-SSA1-1995.

La normatividad relacionada con el nivel máximo permitido de algunos metales pesados en hortalizas es la establecida por la Comunidad Europea (Tabla 11).

Tabla 11. Límites permitidos de metales en hortalizas.

Productos	Contenido máximo (mg·Kg ⁻¹ peso fresco)	Metal
Hortalizas, excluidas las del Género Brassica, las hortalizas de hoja, las hierbas frescas y las setas. En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a patatas peladas	0.10	Plomo
Hortalizas del Género Brassica, hortalizas de hoja y setas cultivadas.	0.30	Plomo
Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de hoja, las hierbas frescas, las setas, los tallos jóvenes, los piñones, las hortalizas de raíz y las patatas.	0.050	Cadmio
Hortalizas de hoja, las hierbas frescas, setas cultivadas y apio nabos.	0.20	Cadmio
Tallos jóvenes, hortalizas de raíz y patatas, excluidos los apionabos. En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas.	0.10	Cadmio

Fuente: Unión Europea, 2007.

2.4.5. Normatividad

En cuanto a la legislación sobre umbrales mínimos que se consideran contaminantes para el suelo, la siguiente tabla muestra los valores aceptados por la Unión Europea y los correspondientes a algunos países, como Holanda especialmente sensibles a este problema. Establecimiento de niveles estándar de elementos traza para la valorización de la contaminación del suelo, constituye el principal requisito de calidad y protección de las funciones agrícolas y ecológicas (Kabata-Péndias, 1995).

Tabla 12. Umbrales de contaminación en los principales países europeos.

Metal (mg·kg ⁻¹)	Holanda Contaminación	Holanda Necesidad de saneamiento	España Adición de Lodos	Unión Europea (máximo permitido)
Cr	100	800	100-1000	-----
Co	20	300	-----	-----
Ni	50	500	30-300	75
Cu	50	500	50-1000	140
Zn	200	3000	150-250	300
As	20	50	-----	-----
Mo	10	200	-----	-----
Cd	1	20	1-20	3
Sn	20	300	-----	-----
Ba	200	2000	-----	-----
Hg	0.5	20	1-16	1.5
Pb		600	50-750	300

Fuente: Kabata-Péndias, 1995.

2.5. Importancia de las Hortalizas

Las hortalizas frescas han formado parte de la dieta humana desde los albores de la Historia. En actualidad la imagen pública de las hortalizas ha mejorado considerablemente debido a los avances de la Nutrición y los profesionales de la salud, quienes recomiendan aumentar su consumo (Kader *et. al.*, 1992).

El interés por el valor nutritivo de las hortalizas se ha visto estimulado por la prevalencia de diversas enfermedades degenerativas en las sociedades ricas y sedentarias. La preocupación por la obesidad y las enfermedades coronarias se ha traducido en la recomendación de reducir los niveles de grasa en la dieta y ha llevado a considerar a la fibra dietética como un factor que reduce o impide numerosos trastornos o enfermedades, como apendicitis, cáncer de colon y recto, estreñimiento, diabetes, diverticulitis, litiasis biliar (piedras en la vesícula hepática), hemorroides, hernia de hiato y venas varicosas (Course *et. al.*, 1983).

El nivel de consumo de hortalizas frescas se ha visto favorecido también por la tendencia internacional hacia los alimentos frescos naturales, que se consideran superiores a los procesados. Las hortalizas proporcionan variedad a la dieta, a la que aportan diversidad en el color, en la forma, en el gusto, en el aroma y en la textura de platillos diversos, lo que promueve un atractivo sensorial y tiene un valor comercial (Kader *et. al.*, 1992).

2.5.1. Importancia del Manejo Poscosecha de Hortalizas

Las hortalizas se cosechan, idealmente, cuando alcanzan la calidad visual o comestible óptima. Sin embargo, como son sistemas biológicos vivos, se deterioran después de la cosecha. La velocidad de deterioro varía de acuerdo a las especies, pero en muchos casos es de forma rápida. Su transferencia del productor al consumidor final a través de las cadenas de comercialización tiene lugar en un corto período de tiempo. Sin embargo, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados, la proliferación de grandes urbes con sistemas de comercialización complejos y el incremento del comercio internacional, han aumentado de forma considerable el tiempo entre la recolección y su llegada al consumidor final. A este tiempo, imprescindiblemente para que el

producto llegue desde el productor hasta el consumidor final, debe añadirse el del almacenamiento intencionado de ciertos productos, para lanzarlos al mercado en el momento más oportuno, teniendo en cuenta la relación entre oferta y demanda. Las modernas cadenas de comercialización, que han incrementado la demanda de estos productos, han hecho imprescindible la aplicación de tecnologías poscosecha que permitan el mantenimiento de la calidad a lo largo de períodos de tiempo cada vez más prolongados (Hotchkiss, 1992).

El manejo poscosecha de hortalizas no adecuado es un problema que afecta gravemente a la economía tanto de productores, comercializadores y consumidores (Liuf, 1992).

En los países desarrollados se estima que las pérdidas por poscosecha de los productos hortícolas alcanzan del 5 % al 25 %, en tanto, en los países en vías de desarrollo estas alcanzan del 20 % al 50 %, y en algunos casos más (Kader, 1992).

En los productos hortícolas manejados en fresco se deteriora su calidad y acorta vida útil, lo que impide que estos alcancen mercados exigentes y distantes. Por tal motivo, es importante analizar la conveniencia de invertir en tecnología de manejo poscosecha, antes de pensar en el incremento de la producción de cultivos (NAS, 1978).

También es importante contemplar que el manejo poscosecha de productos hortícolas no mejora la calidad del producto cosechado, es decir, que el buen manejo agrícola esta vinculado y es de vital importancia. Antes de aplicar tecnología de manejo poscosecha a cualquier producto hortícola, se debe establecer su comportamiento de vida y manejo poscosecha considerando los denominados Factores Intrínsecos y Factores Extrínsecos (Pantástico, 1984).

Los factores intrínsecos describen el comportamiento fisiológico y bioquímico de productos hortícolas, desde su madurez hasta su senescencia. Estos son: la producción del etileno, la respiración y la transpiración. Los factores extrínsecos son aquellos que establecen las condiciones de almacenamiento y conservación de las hortalizas. Estos incluyen descripción del medio en base a: temperatura, % de humedad relativa, composición de gases atmosféricos, la luz de incidencia,

presencia de etileno exógeno, condiciones de manejo y las condiciones sanitarias. Además, la manipulación de los factores extrínsecos incide en la modificación del comportamiento de los factores intrínsecos al promover la conservación de las hortalizas evitando la senescencia (Kader, 1992).

2.5.2. Factores Intrínsecos de Conservación de Hortalizas

Desarrollo y Maduración

Los productos hortícolas tienen un momento óptimo de corte que debe determinarse en forma particular en función de la especie, variedad, tipo y exigencia del mercado. Para asegurar una calidad aceptable, los productos se deben de cortar en su madurez hortícola, la cual se interpreta como el estado de desarrollo de una planta y órgano vegetal que al cabo de cierto desarrollo satisfaga los requisitos necesarios para su utilización, ya sea en estado fresco o industrial; de manera que un producto puede estar maduro en cualquier etapa de su desarrollo (Pantástico, 1984).

En la mayoría de las hortalizas, la madurez hortícola coincide con su madurez fisiológica entendida ésta como el estado de desarrollo de las plantas o de los órganos vegetales en que prácticamente han alcanzado su máximo crecimiento y a partir de la cual, éstos pueden ser aprovechados (Kader, 1992).

Kader (1992) menciona los cambios deseables e indeseables que ocurren los procesos de desarrollo y de maduración:

- La pérdida de clorofila (color verde) es indeseable en vegetales.
- Desarrollo de carotenoides (color amarillo y anaranjado) es deseable en frutos como tomates, el licopeno en chiles, el beta-caroteno en zanahoria.
- Cambios de carbohidratos incluyen la conversión de almidón a azúcar (indeseable en papa, en granos de elote).
- Conversión de almidón a azúcar y posteriormente a CO₂ y agua a través de la transpiración.
- Desdoblamiento de pectinas y otros polisacáridos resultan en pérdida de firmeza e incrementan la susceptibilidad de daños mecánicos.

- Cambios en el contenido de ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos que resultan en cambios de sabor. La calidad nutricional se ve afectada principalmente en la disminución de vitamina C.

Producción de Etileno

El etileno (C_2H_4), es el compuesto orgánico que determina el funcionamiento fisiológico de las plantas, este es un producto natural del metabolismo de tejidos de las plantas superiores (Kader, 1992).

El C_2H_4 es una hormona vegetal que regula el crecimiento, desarrollo y senescencia. A nivel fisiológico es activo a concentraciones traza (menos de 1.000 ppm). También esta hormona juega un rol en la abscisión de órganos de las plantas. El aminoácido metionina es convertido a s-adenosil metionina (SAM), el cual es un precursor de 1-aminociclopropano-1-ácido carbixílico (ACC), el precursor inmediato de C_2H_4 es la enzima ACC sintetasa, la cual convierte SAM a ACC, la cual es el punto de control de biosíntesis de etileno. La conversión de ACC en etileno es mediante la enzima ACC oxidasa. La síntesis y actividad de ACC oxidasa es influenciada por factores genéticos y las condiciones ambientales, que incluyen la temperatura, la concentración de oxígeno y de dióxido de carbono (Pantástico, 1984).

Los productos hortícolas se clasifican de acuerdo al nivel de producción de C_2H_4 (Tabla 13).

Tabla 13. Clasificación de las hortalizas en base a tasa de producción de etileno.

Clase	Rango a 20 ° C (68 ° F) (μ L C ₂ H ₄ / Kg * hr)	Comodities
Muy Bajo	Menos de 0.1	Coliflor, esparrago, raíces vegetales, hojas vegetales, entre otros.
Bajo	0.1-1.0	Pepino, oliva, entre otros.
Moderado	1.-10.0	Tomate
Alta	10.0-100	Aguacate
Muy Alta	>100	Mamey

Fuente: Kader, 1992.

Generalmente la producción de etileno se incrementa con la madurez de cosecha, por los daños físicos, incidencias de enfermedades, incremento de la temperatura superior a 30 ° C (86 ° F), y el estrés hídrico. La producción de etileno puede ser reducida para productos hortícolas en almacenamiento bajo condiciones controladas de baja temperatura, reducir el nivel de concentración de O₂ (menos de 8 %), y elevar el nivel de concentración de CO₂ (más de 2 %) (Pantástico, 1984).

Respiración

La respiración de productos hortícolas es el proceso en el cual los compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas, grasas) son desdoblados en compuestos finales simples para obtener energía. El oxígeno es utilizado en el proceso y se transforma en dióxido de carbono (Pantástico, 1984).

Los productos hortícolas se clasifican de acuerdo a su nivel de respiración (Tabla 14).

Tabla 14. Clasificación de las hortalizas en base a su tasa de respiración.

Clase	Rango a 5 ° C (41 ° F) (mg CO ₂ ·kg ⁻¹ hr ⁻¹)	Comodities
Muy Bajo	< 5	Vegetales secos, etc
Bajo	5-10	Manzana, sandía, etc.
Moderado	10-20	Col, zanahoria, lechuga, oliva, tomate, etc.
Alta	20-40	Aguacate, zanahoria, coliflor, etc.
Muy Alta	40-60	Brócoli, flores de corte, cebolla, etc.
Extremadamente Alta	>60	Espárragos, espinacas, etc.

Nota: Calor vital (BTU·ton⁻¹ día⁻¹) = mg CO₂· kg⁻¹hr⁻¹·220; Calor vital (kcal ·1000 kg⁻¹día⁻¹) = mg CO₂· kg⁻¹ hr⁻¹ ·61.2

Fuente: Kader, 1992.

Transpiración y Pérdida de Agua

La pérdida de agua en los tejidos vegetales significa deterioro de la calidad de los productos hortícolas. Los efectos directos son disminución cuantitativa de peso (mermas), degradación de apariencia (corrugación y agrietamiento de cutícula), disminución de calidad de textura (ablandamiento y flacidez), y disminución del valor nutricional (Pantástico, 1984).

El sistema dermal de los productos hortícolas se encarga de regular los mecanismos de pérdida de agua. Este sistema incluye la cutícula, las células epidermales, los estomas, los tricomas y las lenticélas. La cutícula esta compuesta de ceras, y polímeros de carbohidratos (Kader, 1992).

La velocidad de transpiración (evaporación de agua de los tejidos) es influenciado por factores internos (morfológicos, anatómicos) y por factores externos relacionados con la el porcentaje de humedad relativa y la temperatura ambiental (Pantástico, 1984).

2.5.3. Factores Extrínsecos de Conservación de Hortalizas

El *primer factor extrínseco* es el control adecuado de los factores ambientales durante el almacenamiento que promueve la conservación de la calidad de productos hortícolas en fresco e incrementa su vida de anaquel (Kader, 1992).

Los factores ambientales a controlar en el almacén según Kader (1992) son:

1. **Temperatura.** Al bajar la temperatura del medio, sin sobrepasar la temperatura crítica o el punto de congelación de la hortaliza: se disminuyen los procesos de respiración, transpiración, producción de etileno y la sensibilidad del mismo; además, se retardan los procesos de maduración y senescencia, disminuyendo la pérdida de peso, la actividad microbiana y mitigando el efecto de daños mecánicos.
2. **Humedad Relativa.** La elevación de la Humedad Relativa del medio disminuye la transpiración y la pérdida de peso de los productos hortícolas, pero favorece el desarrollo de microorganismos. Por lo cual, es necesario considerar la Humedad Relativa de Equilibrio de acuerdo a la hortaliza.
3. **Composición Atmosférica.** La reducción de los niveles de oxígeno y la elevación del contenido de CO₂, sea intencional (uso de atmósferas controladas o modificadas, uso de empaque especiales) o intencional (ventilación restringida), puede ser favorable por retardar los procesos metabólicos pero, si pasa de ciertos límites que dependen nuevamente de productos, variedades y formas de cultivo, pueden causar daño fisiológico y daños graves de sabor.
4. **Luz – Posición.** La incidencia de luz puede causar decoloraciones en papas y otros productos. El geotropismo puede alterar la forma del producto como es el caso del espárrago, si no se lo almacena en posición vertical.

Por otra parte, el *segundo factor extrínseco* lo constituye el control de los daños mecánicos que ocurren durante el manejo en campo, en el empaque, transporte y almacenamiento en anaquel. Los productos hortícolas están sujetos a daños superficiales o profundos; estos son causados debido al impacto, abrasión, corte y/o vibración; a su vez causan deterioro de los tejidos internos, produciendo decoloraciones, pérdida de textura, incremento de la transpiración y de la

respiración, y en consecuencia, deterioro general de la calidad y disminución de la vida útil (Kader, 1992).

Los daños mecánicos ocurren esencialmente en campo durante la cosecha y el transporte al empaque; y en este último, durante las operaciones de lavado, selección, clasificación o incluso en el empaque (Pantástico, 1984).

Al presentar daños mecánicos los productos hortícolas, estos se convierten en vías de penetración de infecciones que aceleran el deterioro (Kader, 1992).

El *tercer factor extrínseco* a controlar es la acción de microorganismos. Estos pueden ser patógenos, hongos y bacterias que atacan de preferencia los tejidos afectados por daños mecánicos o fisiológicos (Kader, 1992).

El ataque de microorganismos es favorecido por temperaturas superiores a 30 ° C y humedades relativas mayores a 95 %. Además su acción destructiva puede ser muy rápida y puede pasar de productos enfermos a productos sanos, por contacto superficial (Pantástico, 1984).

El deterioro de poscosecha producido por hongos y bacterias en el producto fresco causa daño físico, aumenta la pérdida de agua, incrementa la respiración y la senescencia (Kader, 1992).

La contaminación del producto por bacterias se produce comúnmente por contacto con agua infectada o por contacto con bacterias del suelo. Las bacterias proliferan mediante una rápida multiplicación celular y se introducen en el producto principalmente a través de cortes en la superficie o de puntos de abscisión naturales (Pantástico, 1984).

La contaminación por hongos puede provenir a través de cortes en la superficie o puntos de abscisión naturales o por la penetración de patógenos al producto. Los hongos proliferan por extensión y división celular o formando esporas que son dispersadas por el aire, el agua, animales vectores e insectos (Kader, 1992).

La entrada de patógenos a los tejidos sanos e intactos está reducida a unos cuantos organismos; generalmente la entrada se realiza a través de cortes en la superficie, tejido dañado o tejido que sufre algún "stress" por razones diversas (Kader, 1992).

La contaminación microbiológica de los productos hortícolas puede tener origen durante la fase de producción agrícola, debido principalmente al riego con aguas negras y en general a la falta de aplicación de buenas prácticas agrícolas; así mismo, en la fase de manejo poscosecha, las limitantes críticas son el tratamiento de desinfección eficiente durante la fase de lavado y el manejo sanitario en el almacenamiento comercial (Kader, 1992).

2.5.4. Inocuidad de Hortalizas

Una gran variedad de factores contribuye a la contaminación de hortalizas por microorganismos causantes de enfermedades a los humanos. Algunos de los factores que pudieran considerarse de riesgo en la calidad microbiológica de los productos frescos incluyen: el uso de agua de riego contaminada con heces fecales de humanos y animales; procesos inadecuados en los campos de cultivo; prácticas deficientes de desinfección; condiciones inapropiadas durante empaque; higiene deficiente de los trabajadores; y el mal manejo durante almacenamiento y transporte (Chaidez, 2000).

Aunado a esto, una vez que ocurre la contaminación, muchos microorganismos patógenos poseen la capacidad de sobrevivir por largos períodos de tiempo en hortalizas frescas. Algunos microorganismos son también capaces de sobrevivir a procesos de desinfección, e incluso de multiplicarse en el producto durante almacenamiento (Chaidez, 2000).

Los microorganismos que pueden contaminar los productos frescos y causar enfermedades en los seres humanos, se pueden mencionar algunos protozoarios, virus y bacterias (Cazares *et. al.*, 2003).

Entre las bacterias patógenas que han sido asociadas con el consumo de hortalizas frescas se pueden mencionar *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella*, *Listeria*, *Campilobacter*, *Clostridium* y *Staphylococcus*, entre otras (Cazares *et. al.*, 2003).

Chaidez *et. al.*, (2000) cita que en 1997, la U.S. Food and Drug Administration (FDA) y el Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN), expidieron los lineamientos sobre buenas prácticas agrícolas y de manufactura, dando a conocer

la Guía para reducir al mínimo el riesgo de contaminación cruzada de tipo microbiano en las hortalizas (Figura 3).

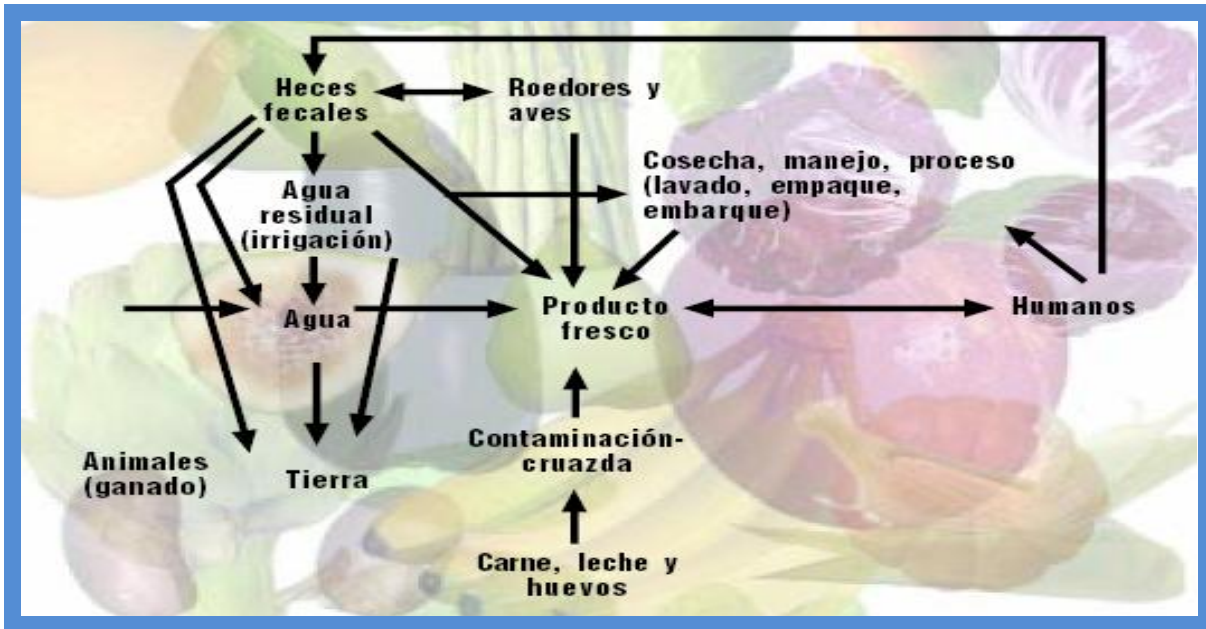


Figura 3. Contaminación cruzada de hortalizas. Chaidez, 2000.

2.5.5. Criterios de Manejo Poscosecha de Hortalizas

Betabel

El betabel o remolacha (*Beta vulgaris*) subsp rubra es originaria de las regiones mediterráneas y de Asia Occidental. Es una raíz comestible de alto contenido de azúcar y color rojo púrpura (Wills *et. al.*, 1992).

La madurez del betabel se alcanza cuando las hojas se mustian. El índice de calidad coincide con el diámetro de 3.75 cm. Las condiciones de almacenamiento de 0 °C y de 95-98 % H.R. conservan la hortaliza por un periodo de 10-15 días. Se recomienda cosechar la raíz retorciéndola y jalándola para evitar daños (Suslow *et. al.*, 2002).

Cebolla

La cebolla (*Allium cepa*) es una hortaliza caracterizada por su sabor picante que se utiliza ampliamente en la cocina ya sea en estado fresco o cocido. El índice de

cosecha de cebollas está determinado principalmente por el tamaño. Las cebollas son bulbos de variedades blancas seleccionadas. La madurez de cosecha es generalmente aceptada debe medir de 2 a 3 cm en el tallo seco, raíz de 2 cm máximo, el brote interno debe de tener como máximo un 50% con respecto al tamaño longitudinal del bulbo, de buen color y textura firme (Wills *et. al.*, 1992).

El índice de calidad de las cebollas de calidad es de bulbos bien formados (como máximo levemente curvados o angulares), uniformes, con cuello delgado, turgentes, de color brillante, bien limpios, y libres de excesivas raíces, pudriciones, daño de insectos, daño mecánico, hojas quebradas o rotas, o puntas cortadas deshidratadas (Wills *et. al.*, 1992).

La cebolla se conserva a 0 °C (32 °F) y 98 a 100 % H.R.. El comportamiento fisiológico de la cebolla es característico de una tasa de respiración a 20 °C de 40-90 mL CO₂/kg-hr y de Tasa de Producción de Etileno <0.1 µL /kg-hr a 20 °C. La cebolla no es sensible al etileno externo. La aplicación de atmósfera controlada de 2 % de oxígeno y 5 % de dióxido de carbono a 0 °C (32 °F) permite conservar durante 6 a 8 semanas de almacenaje. El comportamiento fisiológico de la cebolla presenta daños por congelamiento a -1 °C (Suslow *et. al.*, 2002).

Coliflor

La coliflor es una planta bianual, perteneciente a la familia Cruciferae y cuyo nombre botánico es (*Brassica oleracea*). var. Botrytis (NMX-FF-49-1982).

El índice de cosecha de las coliflores es el tamaño y grado de compactación de la cabeza o inflorescencia. Las cabezas maduras tienen entre 11-17 cm de diámetro ecuatorial. Partes florales protuberantes o sueltas, que crean una apariencia granulosa, son señal de sobre madurez. Las coliflores, después de ser deshojadas, son embaladas típicamente en cajas de cartón con 12 a 24 cabezas, siendo 12 lo más común (NMX-FF-49-1982).

La coliflor se comercializa principalmente deshojada (a excepción de las hojas envolventes de la cabeza) y envuelta en un film plástico perforado. El envoltorio debería proveer cuatro a seis perforaciones de 6 mm (1/4 pulgada) por cabeza para permitir una adecuada ventilación. La calidad se basa en una cabeza firme y

compacta de inflorescencias blancas a blanco-cremoso rodeadas por una corona de hojas verdes, turgentes y bien cortadas. Entre los índices de calidad se encuentran el tamaño, la ausencia de amarillamiento debido a la exposición al sol, la ausencia de defectos debidos al manejo y pudriciones, y la ausencia de granulosidad (NMX-FF-49-1982).

Las condiciones de almacenamiento son de 0 °C (32 °F) y 95-98 %H.R. Generalmente no se recomienda el almacenaje de la coliflor por más de 3 semanas para una buena calidad visual y sensorial. La marchitez, el pardeamiento, el amarillamiento de hojas y las pudriciones tienden a incrementarse en almacenajes de más de 3-4 semanas o a temperaturas mayores a las recomendadas (Suslow *et. al.*, 2002).

El comportamiento fisiológico de la coliflor es característico de una tasa de respiración a 20 °C es de 37-42 mL CO₂/kg*hr y de Tasa de Producción de Etileno < 0.1 µL /kg*hr a 20 °C. La coliflor es altamente sensible al etileno. La exposición a bajos niveles de etileno durante la distribución y/o corto almacenaje lleva a la decoloración de las inflorescencias, amarillamiento acelerado y desprendimiento de las hojas envolventes (Suslow *et. al.*, 2002).

Las atmósferas controladas o modificadas usualmente ofrecen un beneficio moderado a bajo para la coliflor. Daño por bajo O₂ (< 2 %) o elevado CO₂ (> 5 %) puede no expresarse visualmente y volverse evidente recién después de la cocción, cuando las inflorescencias se vuelven grisáceas, extremadamente blandas y emiten un fuerte olor. Niveles altos de CO₂ (>10 %) inducen este daño dentro de 48 horas. Un nivel bajo de O₂ combinado con niveles levemente elevados de CO₂ (3-5 %) atrasan el amarillamiento de las hojas y el comienzo del pardeamiento de las inflorescencias por algunos días (Suslow *et. al.*, 2002).

En el manejo la coliflor según Suslow *et. al.*, (2002) se pueden presentar las siguientes fisiopatías:

- El daño por congelación se puede iniciarse a -0.8 °C (30.6 °F) y los síntomas incluyen inflorescencias grisáceas y con zonas acuosas, generalmente acompañado con hojas marchitas o con zonas acuosas.

- El daño físico se debe cuidar para prevenir daño a las inflorescencias altamente sensibles. La coliflor nunca debe ser manipulada por la parte de las inflorescencias de la cabeza.
- Los desórdenes patológicos por enfermedades son Pudriciones bacterianas blandas (principalmente *Erwinia* y *Pseudomonas*), "Manchas negras" (*Alternaria alternata*), Moho Gris (*Botrytis cinerea*), y pudrición por *Cladosporium* son patologías comunes.

Zanahoria

La zanahoria (*Daucus carota*) es originaria de Europa. Se caracteriza por ser una planta bianual de raíz napiforme, de forma y color variables. Además es muy rica en b-caroteno; por lo que a crecenta a su consumo (Suslow *et. al.*, 2002).

En la práctica, el índice de cosecha de zanahoria se basa en un estado inmaduro cuando las raíces han alcanzado suficiente tamaño para llenar la punta y desarrollar un adelgazamiento uniforme. La longitud puede usarse como índice de madurez para la cosecha de zanahorias para procesado (cortadas y peladas), de acuerdo a la eficiencia de proceso deseada (Suslow *et. al.*, 2002).

En general, para la calidad de las zanahorias se establece que estas deben ser: firmes (no flácidas o lacias); rectas con un adelgazamiento uniforme desde los 'hombros' hasta la 'punta'; de color naranja brillante; con pocos residuos de raicillas laterales; con ausencia de "hombros verdes" o "corazón verde" por exposición a la luz solar durante la fase de crecimiento; con bajo amargor por compuestos terpénicos; con alto contenido de humedad y azúcares reductores es deseable para consumo fresco (Suslow *et. al.*, 2002).

Las condiciones de almacenamiento son de 0 °C (32 °F) y 98-100 % H.R. Las condiciones de almacenaje de largo plazo raramente logran mantener la temperatura óptima para prevenir pudriciones, brotación y deshidratación. A temperaturas de almacenaje de 3 a 5 °C, las zanahorias maduras pueden ser almacenadas con un desarrollo mínimo de pudriciones por 3 a 5 meses. Las zanahorias empacadas en 'Cello-pack' son típicamente inmaduras y pueden ser guardadas exitosamente por 2 a 3 semanas a 3-5 °C. Las zanahorias atadas son

muy perecibles debido a la presencia de los tallos. Generalmente se logra mantener una buena calidad por sólo 8 a 12 días, aún en contacto con hielo. Las zanahorias mínimamente procesadas (frescas-cortadas, cortadas y peladas) pueden mantener una buena calidad por 2 a 3 semanas a 3 a 5 °C (Suslow *et. al.*, 2002).

El comportamiento fisiológico de la zanahoria atada es característico de una tasa de respiración a 20 °C de 46- 95 mL CO₂· kg⁻¹hr⁻¹ y de Tasa de Producción de Etileno >0.1 µL /kg·h a 20 °C. La zanahoria sin tallo presenta una tasa de respiración a 20 °C de 87 a 121 mL CO₂·kg⁻¹hr⁻¹ y de Tasa de Producción de Etileno similar (Suslow *et. al.*, 2002).

La exposición al etileno induce el desarrollo de un sabor amargo debido a la formación de isocumarina. Exposición de tan sólo 0.5 ppm de etileno externo resulta en un amargor perceptible al cabo de 2 semanas bajo condiciones normales de almacenamiento. Por lo tanto, las zanahorias no se deberían almacenar en conjunto con otros productos que produzcan etileno (Suslow *et. al.*, 2002).

La atmósfera controlada posee un efecto limitado en las zanahorias y no extiende la vida de poscosecha más allá que almacenadas en aire. Concentraciones de CO₂ sobre el 5 % han demostrado incrementar las pudriciones. Concentraciones bajas de oxígeno, bajo el 3 %, no son bien toleradas y resultan en mayor pudrición bacteriana (Suslow *et. al.*, 2002).

En el manejo la zanahoria según Suslow *et. al.*, (2002) puede presentar las siguientes fisiopatías.

Raíces Intactas. Magulladuras, perforaciones y puntas quebradas son señales de un manejo descuidado. Las zanahorias tipo "Nantes" son particularmente susceptibles. La brotación ocurre cuando las zanahorias desarrollan nuevos tallos después de cosechadas. Esta es una razón por la cual es esencial el manejo de baja temperatura en poscosecha. Desórdenes comúnmente asociados incluyen el marchitamiento, la deshidratación o el desarrollo de textura "gomosa" debido a la desecación. Raíces Blancas es una fisiopatía debida a condiciones de producción

subóptimas que resultan en parches o rayas de bajo color en las raíces de la zanahoria.

Intactas o Frescas-cortadas. Amargor puede resultar por stress de precosecha (frecuencia inadecuada de riego) o exposición a etileno proveniente de cámaras de maduración o de mezclas con otros productos tales como manzanas. El daño por congelamiento resulta típicamente a temperaturas de -1.2 °C (29.5 °F) o inferiores. Zanahorias congeladas generalmente exhiben un anillo externo de tejido infiltrado, visto en forma transversal, el cual se ennegrece en 2 a 3 días.

Frescas-cortadas (mínimamente procesadas). Blanqueamiento, debido a deshidratación de los tejidos cortados o pelados por abrasión, ha sido un problema en zanahorias cortadas frescas. El uso de hojas de cuchillos bien afiladas y humedad residual en la superficie de las zanahorias procesadas puede atrasar significativamente el desarrollo del desorden.

Desórdenes Patológicos. Las enfermedades de poscosecha de mayor consideración son Moho Gris (*Botrytis rot*) Pudrición Acuosa (*Sclerotinia rot*), Pudrición de Rhizopus, Pudrición Bacteriana Blanda, inducida por *Erwinia carotovora* subesp. *carotovora* y Pudrición Amarga (*Geotrichum*). Un manejo adecuado y bajas temperaturas durante el almacenaje y transporte son los mejores métodos para minimizar las pérdidas.

Un pronto hidrogenfriamiento después de cosechadas es altamente recomendado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la Zona de Estudio

La investigación se llevo a cabo en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. El municipio tiene una superficie de 120,80 km² y una población de 38,682 habitantes; este se ubica en las coordenadas de latitud norte de 20°11'35" y longitud oeste 99°16'24", a una altura de 2100 m.s.n.m.al suroeste del estado de Hidalgo (Figura 4).



Figura 4. Ubicación del Municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. INEGI, 2000.

El municipio colinda al noroeste con el municipio de Chapantongo; al norte con el municipio de Chilcuautla; al este con los municipios de Mixquiahuala y Tlahuelilpan; al sur con los municipios de Tlaxcoapan y Tula de Allende; y al oeste con Tepetitlán .

El municipio limita al noreste con Mixquiahuala, al sureste con Tlahuelilpan, al suroeste con Tula de Allende y al oeste con Atengo. El clima del municipio es templado semiseco, con una temperatura media anual de 16.6 °C y una precipitación pluvial de 500 milímetros por año. El período de lluvias es de mayo a octubre (INEGI, 2000) (Figura 5).

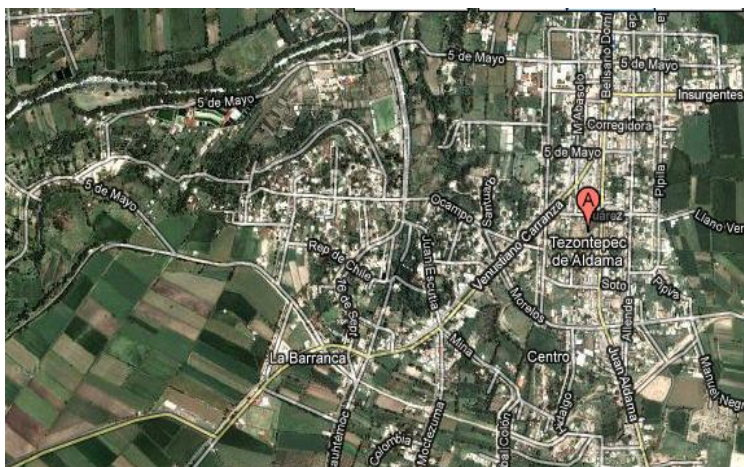


Figura 5. Localización de la zona de estudio. Google earth, 2010.

La flora dominante es de matorral espinoso, cuenta con pino, pirul, casuarina, sabino y aguacate. A la orilla de los ríos y manantiales se encuentran mezquites y árboles exóticos como durazno, higo, capulín, mora y granada (INEGI, 2000).

El municipio pertenece al Distrito de Riego 03 de Tula, donde los suelos agrícolas se abastecen con el riego de agua de los ríos San Luis, Tepeji, el Salto y Tula, las presas de almacenamiento Taxhimay, Requena y Endhó. Las aguas residuales utilizadas en el Valle del Mezquital solo reciben un tratamiento natural de descontaminación.

El uso agrícola comprende superficie de riego, distribuida en pequeña propiedad y en parte ejidal (INEGI, 2000).

El tipo de suelo que existe es semidesértico, rico en materia orgánica y nutriente. Las muestras de suelo de los predios donde se realizó el experimento indican un pH de 8.2, capacidad de intercambio catiónico de 17 mequ/100 g, con una relación de 15.23 a 16.35 % de arcilla, de 65.23 a 69.11 % de Arena y 14.54 a 19.54 % de Limo.

3.2. Diagnóstico Físicoquímico del Agua de Riego de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Se realizaron análisis físicoquímicos de los principales canales de riego de la región de Tezontepec de Aldama Hidalgo estudios en el municipio de Tezontepec de Aldama Hidalgo, mostrando que las fuentes de abasto de agua para riego

presentan niveles de contaminación permisibles en relación a sus propiedades fisicoquímicas, pH y temperatura (<40 °C) (Cuadro 1).

El contenido de grasas y aceites es menor en el grupo de fuentes de agua natural (Ojo de Agua y manantial Manón) que el grupo de aguas de tipo residual (Presa e Endhó, Canal Requena, Canal G5 y Canal de Cadenas), aunque ambos grupos no superan el nivel permisible (25 mg·L⁻¹).

Cuadro 1. Análisis de fisicoquímico en aguas residuales y de manantial de Tezontepec del Aldama, Hgo

Punto de Muestreo	Variable							
	pH	Temperatura (°C)	Grasas y Aceites (mg/L)	Materia Flotante	Sólidos Sedimentables (mg/L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Demanda Bioquímica (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)
Ojo de Agua	6.63c	16.00a	2.53d	Ausente	0.00c	62.00a	62.70b	1.11c
Manantial Manón	7.77a	16.00a	12.35c	Ausente	0.25c	22.00c	82.50a	1.85b
Presa Endho	7.66a	16.00a	19.56a	Ausente	0.50b	66.00a	76.80a	2.56a
Canal Requena	7.61b	16.00a	16.87b	Ausente	0.80b	40.00b	74.10a	2.45a
Canal G5	7.62b	16.00a	18.57a	Ausente	3.00a	40.00b	49.50c	1.32c
Canal de Cadenas	7.73a	16.00a	18.23a	Ausente	0.80b	68.00a	58.50b	2.56a
NOM 001 Ecol 1996	5.5-8.5	40	25.00	Ausente	10.0	60	60.00	25.00
C.V.	20.54	0	45.2	-	36.4	55.4	32.5	1
D.M.S.	0.042	0	1.38	-	3.35	28	14.3	0.72
Error estándar	2.48	0	10.48	-	2.31	7,04	7.29	1.4

Abreviaciones: C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Respecto al material flotante esta en ausente en las fuentes de riego, los sólidos sedimentables son menores a 10 mg·L⁻¹.

Al respecto, del parámetro de demanda bioquímica en las fuentes de riego, este supera los límites recomendados, excepto en el Canal de Cadenas y el Canal G5.

Es importante recalcar que las fuentes de origen natural que son Ojo de Agua y Manantial Manón, el parámetro de sólidos suspendidos y demanda bioquímica supera el limite crítico; además de que estas fuentes se encuentran bajos contenidos de grasas, aceites y nitrógeno total, que no deberían estar presentes. Esto indica que los mantos acuíferos están contaminados, presumiblemente por el efecto de recarga con el uso de aguas residuales que sustento en su estudio de Jiménez *et. al.*, (1997).

Se realizó un análisis en la región del Valle del Mezquital en Tezontepec de Aldama, donde se tomaron muestras de agua en: Manantial Manón, Presa Endhó, Canal Requena, Canal G5, Canal Cadenas y Ojo de agua; de las cuales se realizaron los análisis de NMP Cuadro (2).

Cuadro 2. Coliformes totales en aguas residuales y de manantial de Tezontepec del Aldama,. Hgo

Punto de Muestreo	Coliformes totales NMP/100 mL
Ojo de Agua	2300 ± 1800
Manantial Manón	4,300 ± 1200
Presa Endhó	2,355,000 ± 56,000
Canal Requena	3,245,000 ± 320,00
Canal G5	5,724,000 ± 580,000
Canal de Cadenas	502,000 ± 41,000

La NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Determina que la cantidad permitida en microorganismos de 2 NMP/100 mL en coliformes totales, por lo en los resultados obtenidos en las muestras de agua de manantial y ojo de agua no cumplen con la calidad de agua para el consumo humano.

Así mismo el análisis de metales pesados en las fuentes de riegos se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis de metales pesados y cianuro de aguas residuales y manantiales de Tezontepec del Aldama, Hgo.

Punto de Muestreo	Metales Pesados (mg/L)									
	Arsénico	Cadmio	Cianuro	Cobre	Cromo (VI)	Mercurio	Níquel	Plomo	Zinc	Fósforo
Ojo de Agua	0.00a	0.00a	0.00a	0.21f	0.00b	0.00a	0.08b	0.14c	0.00c	0.01a
Manantial Manón	0.00a	0.00a	0.00a	0.41e	0.00b	0.00a	0.11a	0.25a	0.00c	0.01a
Presa Endhó	0.00a	0.00a	0.00a	0.74a	0.00b	0.00a	0.00d	0.15c	0.00c	0.02a
Canal Requena	0.00a	0.00a	0.00a	0.61d	0.00b	0.00a	0.00d	0.18b	0.17a	0.01a
Canal G5	0.00a	0.00a	0.00a	0.71a	0.00b	0.00a	0.04c	0.19b	0.05b	0.01a
Canal de Cadenas	0.00a	0.00a	0.00a	0.69bc	0.56a	0.00a	0.00d	0.11cd	0.00c	0.01a
NOM 001 Ecol	0.20	0.20	2.00	6.00	6.00	0.01	4.00	0.40	20.00	10.00
C.V.	0	0	0	29.30	10.2	0	60	40	20	6
D.M.S.	0	0	0	0.05	.56	0	0.04	0.07	0.12	0.012
Error estándar	0	0	0	0.74	0.305	0	0.198	0.41	0.19	0.108

Abreviaciones: C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los resultados de evaluación de contenido de metales pesados en las fuentes de riego indican trazas de cobre, níquel, plomo y fósforo menor al nivel crítico recomendado en la NOM 001 Ecol 1996. Es decir cumplen con la norma.

Estos antecedentes coinciden con Vázquez *et. al.*, (2001) y confirman que el agua que se encuentra en el Valle de Mezquital por el no tratamiento de las aguas residuales procedentes de la Ciudad de México da como resultado agua con problemas de contaminación con metales pesados, no recomendable para la salud humana.

3.3. Establecimiento del Experimento

En la primera fase de experimentación se evaluó el efecto del lavado y desinfección de las hortalizas con agua y productos químicos en relación a coliformes, enterococos fecales, hongos y levaduras

Para la segunda fase se establecieron experimentos poscosecha con betabel, cebolla, coliflor y zanahoria para determinar el efecto de tratamientos de desinfección en la calidad del producto durante su vida de almacenamiento.

La tercera fase se cuantifico el contenido de aluminio, hierro, magnesio, silicio, calcio, potasio, manganeso y plomo de Betabel, Cebolla, Coliflor y Zanahoria producidos con agua del municipio de Tezontepec de Aldama, Hgo.

3.3.1. Manejo de las Muestras

Las muestras de las partes de consumo de betabel, cebolla, coliflor y zanahoria fueron producidas y cosechadas durante el ciclo primavera-verano 2008 en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México. Estas se trasladaron al Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICyTA) del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo ubicada en Tulancingo, Hidalgo, México para realizar los análisis de carga microbiológica y propiedades fisicoquímicas de almacenamiento poscosecha.

Las hortalizas se seleccionaron eliminando aquellas que tuvieran presencia de daños mecánicos, crecimiento de microorganismos con el fin de obtener un muestreo homogéneo en cuanto a tamaño, color y forma.

3.3.2. Tratamientos de Desinfección

A cada hortaliza fueron aplicados los siguientes tratamientos de desinfección.

Tratamiento 1. Desinfección de las partes de consumo por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio 20 mL de hipoclorito de sodio / Litro durante 15 min para posterior enjuague en agua destilada.

Tratamiento 2. Desinfección de las partes de consumo por inmersión en soluciones de Microdin (0.04 mL hipoclorito de sodio /Litro) con 15 min para posterior enjuague con agua destilada

Tratamiento 3. Lavado de las partes de consumo con agua destilada.

3.3.3. Variables de Estudio y Métodos

Para el estudio del efecto de los tratamientos de desinfección se determinaron al tiempo 0 días, las variables de Coliformes (UFC/g); Levaduras (UFC/g), Hongos (UFC/g) y Enterococos (UFC/g).

Los análisis microbiológicos se aplicaron a las hortalizas en base a la Norma Mexicana NMX-AA-42-1987 son: Coliformes en medio sólido, hongos, levaduras y enterococos fecales.

Posteriormente se aplicaron los tratamientos de desinfección a las muestras de la parte de consumo de la hortaliza se evaluaron en almacenamiento a 9 días para Betabel, 21 días para la Cebolla, 14 días para la Coliflor y 9 días para la Zanahoria de almacenamiento en refrigeración a 4 °C a 95 % de Humedad; determinándose las siguientes sólidos totales solubles (° Brix), pérdida de peso (% P/P), Clorofila, color en forma de luminosidad L (%), a(+/-) y b(+/-) y firmeza en función de fuerza de penetración. La unidad experimental consistió de una parte de consumo de la hortaliza en tres repeticiones por tratamiento para cada variable respuesta. Los métodos se describen a continuación.

Pérdida de Peso

Se midieron los cambios de peso que experimentaron los frutos durante el período de maduración y conservación. Para esto se utilizó una balanza digital de 4 kg. La pérdida de peso se reporto como un porcentaje de pérdidas acumuladas respecto al peso inicial de la hortaliza. El cálculo se hizo con la siguiente fórmula:

$$\%PP = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso al periodo indicado}) * (100)}{(\text{Peso inicial})}$$

Sólidos Solubles Totales (° Brix)

Para la determinación de grados Brix se utilizo el refractómetro digital PR-101 ATAGO PALETTE. Al aplicar el método se tomo una gota de jugo previamente extraído de la hortaliza, esta gota se coloco en el sensor óptico del refractómetro para obtener la lectura correspondiente, la cual se expreso como porcentaje de sólidos solubles totales.

Color

Esta determinación se realizo mediante un colorímetro por reflexión "Hunter Lab", el cual se basa en el empleo de funciones trigonométricas. Una rueda de color dividida en 360 °; con rojo púrpura situado en el extremo derecho en el ángulo 0); el amarillo en 90 °; el verde – azul en 180 ° y el azul en 270 °, el Hunter Lab, indicó el cambio de coloración en el fruto en 3 direcciones; L*, a* y b*, las cuales marcan

los cambios de brillantez. L^* mide la oscuridad a luminosidad, a^* representa el rojo si es positivo y el verde si es negativo; b^* corresponde al amarillo si es positivo y al azul en caso de ser negativo. La medición se realizó en un pequeño círculo que se marcó en la parte ecuatorial del producto, con la finalidad de que la medición siempre fuera en el mismo lado.

Clorofila

Se determinó esta variable con un medidor de clorofila (modelo SPAD. 502 Minolta Camera Co. Ltd.). El medidor de clorofila mide entre la transmisión de luz roja e infrarroja de la bráctea (hoja), lo cual corresponde al contenido de clorofila y da un valor numérico, en unidades arbitrarias.

Firmeza

Esta variable se midió a través de los cambios en firmeza registrados en un texturometro TA.XT2I con un cilindro de geometría 0.984 pulgadas X 1 pulgada de acrílico. La medición consistió en determinar la deformación experimentada por la parte de consumo de la hortaliza al someterla a una fuerza conocida de 10 kg y por un tiempo determinado de 5 s, con una distancia de deformación de 2.5-50 mm. Los resultados se interpretaron mediante la curva de Deformación vs. Tiempo, de la cual se obtuvo el Punto de Fractura al producto usando el programa Analizador de Textura Versión 5.0 (Texture technology).

Metales Pesados

Los análisis de cationes se acidificaron a pH 2 con H_2SO_4 y para los metales pesados HNO_3 hasta pH 2. El análisis de Cr(VI), Pb, Ar(III), Ni, Co, Cd y Cu se realizó de acuerdo al método descrito en (APHA, AWWA, WPCFE, 1992 y NOM-AA-51-1981) y la cuantificación mediante el programa de computo denominado "GBC AVANTA, versión 1.31".

3.4. Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados de los experimentos se utilizó el programa SAS 8.1, versión 1998. Aplicando un diseño completamente al azar y la prueba de comparación múltiple de Tukey a una $p \leq 0.05$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis Microbiológicos de las Hortalizas Desinfectadas

4.1.1. Desinfección de Betabel

En cuanto a los análisis microbiológicos de coliformes y salmonella realizados al betabel, los resultados indican que no existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las muestras de betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua. Al respecto, el betabel lavado con agua destilada presento 3 UFC/g de coliformes.

En relación a los análisis microbiológicos de los hongos, levaduras y enterococos, los valores muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) del betabel lavado con agua destilada en comparación de la desinfección con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin. En cuanto al betabel lavado con agua destilada se presentaron 100, 128 y 27 UFC/g de levaduras, hongos y enterococos respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto del tratamiento de desinfección microbiológica de Betabel.

Tratamiento	Coliformes en Placa (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Enterococos (UFC/g)	Salmonella (UFC/g)
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	0a	23b	16 b	0b	0a
Microdin 0.04 ml HS/L	0a	38b	44b	3b	0a
Agua Destilada	3a	100a	128a	27a	0a
C.V.	133.33	57.68	69.5	123.33	0
D.M.S.	3	20	23	10	0
Error estándar	0.5	12	14	12	0

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

4.1.2. Desinfección de Cebolla

En cuanto a los análisis microbiológicos de coliformes y salmonella en cebolla, los valores muestran diferencia significativa ($P < 0.05$) de los bulbos desinfectados con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin respecto a los lavados con agua destilada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos de desinfección microbiológica de cebolla.

Tratamiento	Coliformes en Placa (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Enterococos (UFC/g)	Salmonella (UFC/g)
Hipoclorito de sodio 20 ml /L	10 b	10b	3b	0a	0b
Microdin 0.04 ml HS/L	93 b	37b	3b	0a	0b
Agua Destilada	1600 a	100a	550a	0a	10a
C.V.	121.06	69.38	131.17	0	134.34
D.M.S.	90	44	156	0	10
Error estándar	20	19	55	0	3

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los bulbos lavados con agua destilada presentan valores más altos en cuanto a coliformes, hongos, levaduras y salmonella con 1600, 100, 550, y 10 UFC/g respectivamente.

Los bulbos de cebolla tratados con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y los lavados con agua destilada no presentan los enterococos.

4.1.3. Desinfección de Coliflor

En relación a los análisis de coliformes y salmonella, las inflorescencias lavadas con agua destilada muestran diferencia significativa (P<0.05) respecto a los tratamientos de desinfección con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin. Además, en las inflorescencias lavadas con agua destilada no se logra eliminar los coliformes y salmonella, presentando los valores más altos de 1833 y 6 UFC/g respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de desinfección microbiológica de coliflor.

Tratamiento	Coliformes en Placa (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Enterococos (UFC/g)	Salmonella (UFC/g)
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	0b	0a	0a	0a	0b
Microdin 0.04 ml HS/L	3b	0a	0a	0a	0b
Agua Destilada	1763a	0a	0a	0a	6a
C.V.	132.9	0	0	0	133.33
D.M.S.	200	0	0	0	6
Error estándar	42	0	0	0	2

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Con relación a los análisis microbiológicos de levaduras, hongos y enterococos realizados a la inflorescencia de Coliflor, los resultados no muestran diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en las inflorescencias de coliflor a las cuales se les aplicaron los tratamientos de desinfección con Hipoclorito de sodio (20ml/L), Microdin y el lavado con agua destilada.

4.1.4. Desinfección de Zanahoria

En cuanto a los análisis microbiológicos de coliformes, enterococos y salmonella realizados en zanahoria, los valores indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las raíces de zanahoria lavadas con agua destilada con respecto a las zanahorias desinfectadas con los Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos de desinfección microbiológica de zanahoria.

Tratamiento	Coliformes en Placa (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)	Hongos (UFC/g)	Enterococos (UFC/g)	Salmonella (UFC/g)
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	3b	0b	0b	0b	0b
Microdin 0.04 ml HS/L	3b	0b	10b	0b	0b
Agua Destilada	1833a	93a	713a	366a	9a
C.V.	132.68	132	130.5	133	133
D.M.S.	100	89	220	230	8
Error estándar	51	23	34	14	3.5

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los resultados obtenidos muestran que la zanahoria lavada con agua destilada no es suficiente para disminuir la carga bacteriana. La desinfección con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin disminuyen la carga microbiana de la hortaliza.

Los tratamientos de desinfección en hortalizas presentaron diferente grado de efectividad en función de la especie hortícola. De acuerdo con Chaidez (2000), la presencia de microorganismos coliformes, enterococos y salmonella en hortalizas se asocian a patógenos para el humano, por lo que es necesaria su desinfección. Al respecto, Cuenca *et. al.*, (2001) al aplicar el tratamiento de desinfección con hipoclorito de sodio $20 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ en 15 minutos de inmersión, similarmente a este estudio presenta datos disminución de coliformes a 0 UFC/g en bulbos de cebolla.

En el caso de los hongos, levaduras y bacterias, estos se asocian al deterioro de las hortalizas, sine embargo con el tratamiento hipoclorito de sodio 20 mL·L⁻¹ en 15 minutos de inmersión presenta los mejores resultados de desinfección en las hortalizas.

De acuerdo con Cuenca *et. al.*,(2001), los riegos a la salud humana por consumo de hortalizas regadas con aguas residuales no tratadas se reducen después de la cosecha, al aplicar tratamientos de desinfección clorada con diluciones de hipoclorito de sodio.

4.2. Metales Pesados en Tejido de Coliflor, Cebolla, Betabel y Zanahoria.

El contenido de los metales evaluados en las hortalizas indica mayor concentración de estos en la coliflor y la menor concentración en la cebolla (P<0.05). Esto hace evidente que la absorción de metales depende de la especie cultivada y de la parte vegetativa aprovechada de la planta que menciona Juarez (2006).

Los resultados del contenido de metales pesados en las diferentes hortalizas se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Metales Pesados en hortalizas.

Especie	Concentración en tejido (mg/Kg)					
	Fe	Mn	Si	Mg	Zn	Pb
Coliflor	0.577a	0.237a	0.227a	12.500b	0.291a	0.230c
Cebolla	0.354c	0.099b	0.206b	9.280c	0.196b	0.190d
Betabel	0.479b	0.237a	0.156c	14.200a	0.089c	0.500a
Zanahoria	0.315d	0.097b	0.222a	5.330d	0.004d	0.430b
C.V.	33.56	55.32	24.99	26.56	67.93	37.77
D.M.S.	0.039	0.142	0.022	1.7	0.085	40
Error estándar	0.219	0.129	0.243	0.9562	0.1569	0.1785

Abreviaciones: C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

De los metales evaluados, el más importante por su reconocimiento de efectos de toxicidad es el plomo. Los datos indican que en el tejido del organo de consumo existe una concentración del metal inferior a la normada para vegetales

procesados de acuerdo a la NOM-130-SSA1-1995 (Cuadro 8), que concide con estudios realizadose en Alfalfa por Siebe (2001).

En cuanto a los demás metales evaluados, se hace la observación de que el nivel de absorción de cada metal es diferente por especie. Así, el en caso del magnesio es mayormente absorbido por el betabel y coliflor, el potasio por la coliflor y cebolla, el plomo por el betabel y la zanahoria, el silicio por la coliflor y la zanahoria ($P < 0.05$).

Los niveles de contenido de metales pesados evaluados en las hortalizas, no están normados, pero altas concentraciones se pueden manifestar en fitotoxicidad en la planta, además de contribuir al efecto de bioacumulación por consumo humano. Al respecto Álvarez *et. al.*, (2001) mencionan que es necesario realizar estudios más profundos que confirmen esta aseveración.

4.3. Calidad Poscosecha

4.3.1. Cambios Poscosecha de Betabel

Al inicio del almacenamiento no se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de sólidos solubles totales; sin embargo a Iso 3, 6 y 9 días si se mostraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en el betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), Microdin y con agua destilada (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comportamiento de los sólidos solubles totales en betabel durante la vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Sólidos Solubles Totales (%)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	9.03a	12.26a	15.43a	12.16b
Microdin 0.04 ml HS/L	8.66a	12.63a	14.23a	12.43b
Agua Destilada	9.53a	9.93 b	11.0 b	13.10a
C.V.	7.49	4.21	13.19	14.68
D.M.S.	2.17	1.39	4.48	3.46
Error estándar	0.87	0.55	1.78	1.38

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

A los 6 y 9 días de almacenamiento, los bulbos de betabel tratado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin presentaron el mayor contenido de sólidos solubles totales y nos se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$).

El contenido de sólidos solubles totales ó °Brix evaluados en betabel, muestra que a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento se incrementa en contenido de sólidos solubles totales para posteriormente disminuir. Esto se relaciona con el metabolismo del almidón que Kader (1992) atribuye a que después de la cosecha en madurez fisiológica existe un aumento de azúcares desdoblados a partir de este para mantener el proceso de transpiración.

En relación a la pérdida de peso, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) del betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), Microdin y el lavado con agua destilada a los 3 días de almacenamiento.

Por otra parte, a los 6 y 9 días de almacenamiento se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), registrando las menores pérdidas de peso en el betabel desinfectado con Microdin y el lavado con agua destilada respecto al desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comportamiento de la pérdida de peso del betabel durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Pérdida de Peso (%)		
	Días de Almacenamiento		
	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	11.44a	22.88a	28.98a
Microdin 0.04 ml HS/L	8.75a	17.36b	22.35b
Agua Destilada	9.42a	17.35b	21.66b
C.V.	11.7	8.34	7.11
D.M.S.	2.90	4.0	4.28
Error estándar	1.16	1.60	1.70

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

La pérdida de peso que se observó en betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), Microdin y el lavado con agua destilada a los 9 días de almacenamiento oscilan entre el 21.66 % al 28.98 %.

Al respecto, la pérdida de agua por transpiración, la degradación de compuestos y emisión CO_2 de los tejidos vegetales significa deterioro de la calidad de los

productos hortícolas. Los efectos directos son disminución cuantitativa de peso y una disminución del valor nutrimental (Pantástico, 1984).

La pérdida de peso en el betabel indica que a medida que pasa el tiempo de almacenamiento existe una disminución de peso. Esto se relaciona con el proceso natural de transpiración de la hortaliza Kader (1992), que implica la pérdida de energía, de CO₂ y de agua para mantener las actividades metabólicas de la hortaliza en fresco.

El valor observado de **L** (luminosidad o brillantes) indica que no existe diferencia estadísticamente significativas de luminosidad ($P < 0.05$) en el betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), Microdin y el lavado con agua destilada a los 0, 3 y 6 días de almacenamiento.

Sin embargo, el valor observado de **L** para el día 9 de almacenamiento indica que existe diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), registrándose en el betabel lavado con agua destilada el menor valor con 37.6 % (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comportamiento de L del betabel durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de L (%)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	47.65a	47.67a	39.33a	45.29a
Microdin 0.04 ml HS/L	46.28a	47.60a	39.33a	43.50b
Agua Destilada	45.55a	46.45a	39.33a	37.60c
C.V.	2.866	1.24	1.84	0.395
D.M.S.	3.33	1.47	1.88	0.417
Error estándar	1.332	0.587	0.753	0.166

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

El comportamiento de **L** en el betabel indica que a medida que pasa el tiempo de almacenamiento existe un decremento de brillantes. Al respecto Kader (1992) establece que el proceso natural de degradación u oxidación de pigmentos naturales presentes en las hortalizas es un indicador de senescencia, la tendencia es que en función de tiempo de pos cosecha se pierde brillantes en el producto.

Los valores de **a** muestran diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a los 6 y 9 días entre el betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) respecto al betabel desinfectado con Microdin y el lavado con agua destilada (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comportamiento de "a" del betabel durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de a (+/-)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	2.03a	1.34a	1.09b	1.02c
Microdin 0.04 ml HS/L	2.15a	1.29a	1.48a	1.10b
Agua Destilada	2.25a	1.22a	1.46a	1.18a
C.V.	3.67	8.01	8.93	3.25
D.M.S.	0.19	0.32	0.30	0.08
Error estándar	0.08	0.13	0.12	0.08

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

El comportamiento de **a** en el betabel indica que a medida que pasa el tiempo de almacenamiento existe un decremento de intensidad de color rojo.

En relación a los valores de **b**, a los 6 y 9 días de almacenamiento se encontraron diferencias estadísticas significativas (P<0.05) entre el betabel desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin respecto al lavado con agua destilada. (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comportamiento de "b" del betabel durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de b (+/-)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	-2.02b	-2.42a	-2.49a	-3.15a
Microdin 0.04 ml HS/L	-1.66a	-2.68a	-2.89ab	-3.05b
Agua Destilada	-1.72a	-2.58a	-3.31c	-5.91c
C.V.	16.94	4.384	31.66	25.12
D.M.S.	0.76	0.234	1.77	2.153
Error estándar	0.30	0.09	0.71	0.86

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **b** observados establecen un decremento en el betabel lavado y desinfectado a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, esto se debe a que posiblemente por el deterioro de los pigmentos que se oscurecen Kader (1992).

En relación a la firmeza del betabel, se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre el betabel lavado con agua destilada y el desinfectado

con Microdin respecto al Hipoclorito de sodio (20 ml/L) en el día 9 de almacenamiento.

Cuadro 14. Comportamiento de la firmeza del betabel durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Firmeza (g/cm ²)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	5151.69a	4999.21a	1570.20a	1491.2a
Microdin 0.04 ml HS/L	5140.68a	4988.87 a	1520.25a	1368.81b
Agua Destilada	5123.97a	4636.92a	1514.13a	1320.53b
C.V.	23.51	21.9106	38.28	14.38
D.M.S.	294.89	267.58	147.21	50.20
Error estándar	117.715	106.81	58.762	20.042

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de firmeza del betabel indican que a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, la firmeza disminuye, esto coincide con kader (1992) que menciona este fenómeno como un indicador de senescencia debido al deterioro de las paredes celulares de los tejidos en los productos hortícolas.

4.3.2. Cambios Poscosecha de Coliflor

El comportamiento de los sólidos solubles totales en la coliflor mostraron diferencias estadísticas significativas en el día 14 de almacenamiento (P<0.05) entre la coliflor lavada con agua destilada y la desinfectada Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin. Al respecto la coliflor lavada con agua destilada tiene el menor contenido de grados brix con 8.2 (Cuadro 15).

Cuadro 15. Comportamiento de los sólidos totales solubles de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Sólidos Solubles Totales (%)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	6.75a	8.65a	8.55a
Microdin 0.04 ml HS/L	6.60a	8.66a	8.42a
Agua Destilada	6.39a	8.26a	8.20b
C.V.	1.359	0.987	1.817
D.M.S.	0.17	0.16	0.277
Error estándar	0.089	0.084	0.140

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

El comportamiento de pérdida de peso en las inflorescencias coliflor indica que no existe diferencia estadística significativas entre las inflorescencias de coliflor desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada a los 7 y 14 días de almacenamiento (P<0.05). (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comportamiento de la pérdida de peso de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Pérdida de Peso (%)	
	Tiempo de Almacenamiento	
	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	7.42a	13.40a
Microdin 0.04 ml HS/L	6.81a	14.39a
Agua Destilada	6.82a	16.36a
C.V.	18.45	21.264
D.M.S.	2.55	6.17
Error estándar	1.29	3.13

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Por otra parte, se observa que las inflorescencias de coliflor lavadas hipoclorito de sodio 20 ml/L mostraron el menor porcentaje de pérdidas de peso a los 14 días de almacenamiento.

El contenido de clorofila en las hojas de las inflorescencias de coliflor no indica diferencias significativas entre las inflorescencias de coliflor desinfectadas con

Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavada con agua destilada ($P < 0.05$). (Cuadro 17).

Cuadro 17. Comportamiento de clorofila en la hoja de la coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Clorofila (%)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	45.70a	26.97a	18.32a
Microdin 0.04 ml HS/L	39.20a	34.45a	19.77a
Agua Destilada	37.35a	33.70a	17.17a
C.V.	14.33	18.19	41.53
D.M.S.	11.471	11.38	16.47
Error estándar	5.81	5.76	8.34

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Las inflorescencias de coliflor lavadas con agua destilada para el día de almacenamiento 14, registran el menor contenido de clorofila en las brácteas.

De acuerdo a los resultados, el contenido de clorofila en las brácteas de la coliflor disminuye en función del tiempo de almacenamiento, esto coincide de acuerdo con Pantástico (1984) con el deterioro de pigmentos que se degradan durante la senescencia de productos hortícolas.

Los valores observados de **L** en las brácteas de las inflorescencias de coliflor indican que no existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre las inflorescencias de coliflor desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento (Cuadro 18).

Cuadro18. Comportamiento de L en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de L (%)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	60.58a	57.06a	56.43a
Microdin 0.04 ml HS/L	59.56a	56.36a	56.09a
Agua Destilada	58.98a	56.13a	55.64a
C.V.	5.938	3.675	6.37
D.M.S.	6.59	3.96	7.514
Error estándar	3.34	2.00	3.80

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Para el día de almacenamiento 14, los valores de L en las brácteas de la inflorescencia de coliflor lavada y desinfectada disminuyo a un intervalo de 55.64 a 56.43 %. La mayor brillantes en las brácteas de la inflorescencia de coliflor desinfectada se registró con la desinfección con Hipoclorito de sodio (20 ml/L).

Los valores de **a** en las brácteas de las inflorescencias de coliflor no muestran diferencias estadísticas significativas (P<0.05) a los 0, 7 y 14 días entre la coliflor desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y la lavada con agua destilada (Cuadro 19).

Cuadro19. Comportamiento de "a" en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de a (+/-)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	-8.20a	-7.91a	-6.89a
Microdin 0.04 ml HS/L	-8.30a	-7.74a	-6.87a
Agua Destilada	-8.25a	-7.45a	-6.59a
C.V.	8.454	11.057	23.85
D.M.S.	1.285	1.729	3.228
Error estándar	0.651	0.876	1.635

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

El comportamiento de los valores de **a** en las brácteas de las inflorescencias indican una disminución con respecto al tiempo de almacenamiento.

Los valores de **b** en las brácteas de las inflorescencias de coliflor no muestra diferencias estadísticas significativa ($P < 0.05$) entre la inflorescencia de coliflor desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y la lavada con agua destilada (Cuadro 20).

Cuadro 20. Comportamiento de "b" en la hoja de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de b (+/-)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	11.81a	15.94a	22.94a
Microdin 0.04 ml HS/L	12.14a	13.09a	20.68a
Agua Destilada	11.54a	15.64a	22.39a
C.V.	21.131	17.018	24.546
D.M.S.	4.936	5.00	10.66
Error estándar	2.50	2.534	5.40

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **a** en las brácteas de las inflorescencias de coliflor en el día de almacenamiento 14 se encuentran en un intervalo de 22.94 a 20.68. En general, los valores de **a** muestran un incremento en función del tiempo de almacenamiento. Este fenómeno coincide con la degradación de la clorofila y la presencia de carotenos que promueven el cambio de color durante la senescencia (Kader, 2002).

Los valores observados de **L** en las inflorescencias de coliflor indican que existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) a los 7 y 14 días de almacenamiento entre la coliflor desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin respecto a la lavada con agua destilada (Cuadro 21).

Cuadro 21. Comportamiento de L en coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de L (%)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	84.77a	78.49a	72.92a
Microdin 0.04 ml HS/L	85.95a	79.95a	75.78a
Agua Destilada	84.17a	73.82b	64.82b
C.V.	1.449	8.479	7.512
D.M.S.	2.43	12.35	11.54
Error estándar	1.231	6.25	5.847

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **L** coinciden con una disminución de estos en función del tiempo de almacenamiento.

Los valores observados de **a** en la inflorescencia de coliflor indican que existe diferencia estadística significativa (P<0.05) a los 7 y 14 días de almacenamiento entre las inflorescencias de coliflor desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin respecto a las lavadas con agua destilada (Cuadro, 22).

Cuadro 22. Comportamiento de "a" en coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de a (+/-)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	-0.515a	-1.13a	-1.45a
Microdin 0.04 ml HS/L	-0.667a	-1.06a	-1.65a
Agua Destilada	-0.630a	-1.57b	-1.92b
C.V.	43.58	35.247	33.933
D.M.S.	0.519	1.571	1.683
Error estándar	0.263	0.795	0.852

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **a** coinciden con una disminución de estos en función del tiempo de almacenamiento.

Los valores observados de **b** en las inflorescencias de coliflor muestran diferencia estadística significativa (P<0.05) a los 7 y 14 días de almacenamiento entre las

inflorescencias de coliflor desinfectadas con Microdin y las lavadas con agua destilada respecto a la desinfectadas con hipoclorito de sodio (20 ml/L) (Cuadro 23).

Cuadro 23. Comportamiento de "b" de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de b (+/-)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	22.58a	23.36a	25.56a
Microdin 0.04 ml HS/L	23.91a	24.05b	24.14b
Agua Destilada	23.17a	24.42b	24.24b
C.V.	10.878	14.390	15.045
D.M.S.	5.059	5.931	6.697
Error estándar	2.562	3.004	3.392

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Las inflorescencias de coliflor desinfectadas con hipoclorito de sodio (20 ml/L) a los 14 días de almacenamiento registran el mayor valor de **b** con 25.56 y un intervalo de **b** de 24.14 a 25.56.

En relación a la firmeza de las inflorescencias de coliflor, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre las inflorescencias de coliflor desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada (Cuadro 24).

Cuadro 24. Comportamiento de la firmeza de coliflor durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Firmeza (g _f /cm ²)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	0	7	14
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	4426.6a	3311.1a	2963.9a
Microdin 0.04 ml HS/L	4464.2a	3329.3a	3110.3a
Agua Destilada	4490.2a	3631.5a	3185.9a
C.V.	53.69	99.20	123.34
D.M.S.	472.15	670.6	735.4
Error estándar	239.15	339.67	372.51

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Para el día 14 de almacenamiento, las inflorescencias de coliflor lavadas y desinfectadas muestra un intervalo de pérdida de firmeza de 2963.9 a 3185.9. Los resultados coinciden con una disminución de la firmeza a medida que incrementa del tiempo de almacenamiento.

4.3.3. Cambios Poscosecha de Cebolla

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de sólidos solubles totales ($P < 0.05$) en los bulbos de cebolla desinfectado con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), los lavados con agua destilada y los desinfectados con Microdin a los 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21 días de almacenamiento (Cuadro 25).

Cuadro 25. Comportamiento sólidos solubles totales de la cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Sólidos Solubles Totales (%)							
	Tiempo de Almacenamiento							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	7.1b	7.8b	9.5a	9.7a	9.6a	9.2c	9.3b	8.8b
Microdin 0.04 ml HS/L	6.9b	7.6b	8.3b	8.5b	9.0b	9.7a	9.8a	9.6a
Agua Destilada	7.4a	8.4a	9.6a	9.8a	9.4ab	9.5b	9.2b	8.3b
C.V.	1.49	1.06	1.10	1.2	2.14	3.48	0.97	0.77
D.M.S.	0.27	0.22	0.25	0.3	0.50	0.16	0.25	0.18
Error estándar	0.11	0.08	0.10	0.11	0.20	0.24	0.10	0.07

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los resultados en general muestran un incremento de 7 a 9 ° Brix a lo largo del tiempo de almacenamiento para la cebolla, estos datos coinciden con lo reportado por Mallorg (2008).

Los resultados de pérdida de peso en los bulbos de cebolla indican diferencia estadística significativa entre los bulbos de cebolla desinfectados con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin respecto a los lavados con agua destilada a los 3, 9, 15, 18 días de almacenamiento (Cuadro 26).

Cuadro 26. Comportamiento de perdida de peso de cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Perdida de Peso (%)						
	Tiempo de Almacenamiento						
	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	10.55b	14.32a	13.85b	14.79b	16.58b	17.31b	18.14c
Microdin 0.04 ml HS/L	11.93b	14.98a	15.55b	17.21c	18.54b	20.08b	22.25b
Agua Destilada	15.58a	15.32a	18.78a	21.22a	20.86a	23.27a	24.33a
C.V.	8.052	5.646	6.01	3.021	4.4775	5.153	6.542
D.M.S.	2.559	1.63	1.91	1.09	1.719	2.180	2.99
Error estándar	1.021	0.651	0.765	0.435	0.686	0.870	1.193

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

La pérdida de peso en los bulbos de cebolla a los 21 días de almacenamiento osciló entre 18.14 % y 24.33 %, registrando la menor pérdida en los bulbos de cebolla desinfectados con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) con 18.14 %. La pérdida de peso de las cebollas obedece a que los bulbos son estructuras de la planta en crecimiento activo con bajo nivel de reservas alimenticias y con altas tasas de respiración que resultan en pérdidas de peso y disminución de la vida útil del producto Mallorg (2008).

El color del bulbo de cebolla es blanco característico de las cebollas en fresco Mallorg; (2008). Los valores observados de **L** en los bulbos de cebolla indican que no existe diferencia estadística significativa (P<0.05) a los 0, 3, 6, 9, 12, 18 y 21 días de almacenamiento entre los bulbos de cebolla desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y los lavados con agua destilada (Cuadro 27).

Cuadro 27. Comportamiento de L en la cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de L (%)							
	Tiempo de Almacenamiento							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	81.62a	82.20a	80.88a	83.69a	81.38a	81.05b	81.75a	80.98a
Microdin 0.04 ml HS/L	82.16a	81.99a	80.64a	82.06a	81.65a	82.10a	81.61a	82.56a
Agua Destilada	79.14a	81.98a	81.04a	82.57a	78.66a	80.22b	82.81a	80.55a
C.V.	0.975	1.720	1.146	1.854	2.021	0.464	1.144	0.629
D.M.S.	1.897	3.536	2.321	3.845	4.07	0.944	2.352	1.281
Error estándar	0.757	1.411	0.926	1.535	1.62	0.376	0.938	0.511

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **L** en los bulbos de cebolla son característicos del color blanco de la hortaliza.

Los valores observados de **a** en los bulbos de cebolla indican que existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) a los 9, 12, 15, 18 y 21 días de almacenamiento entre los bulbos de cebolla desinfectados con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin respecto a los lavados con agua destilada (Cuadro, 28).

Cuadro 28. Comportamiento de "a" de cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de a (+/-)							
	Tiempo de Almacenamiento							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	-0.68a	-0.75a	-0.79a	-0.80b	-0.68b	-0.56a	-0.71a	-0.64b
Microdin 0.04 ml HS/L	-0.74a	-0.66a	-0.66a	-0.64a	-0.62b	-0.89b	-0.82b	-0.86a
Agua Destilada	-0.70a	-0.65a	-0.67a	-0.66a	-0.83a	-0.86b	-0.74a	-0.90a
C.V.	3.971	10.49	14.659	7.932	7.874	6.102	7.661	4.898
D.M.S.	0.0709	0.180	0.235	0.14	0.140	0.118	0.146	0.098
Error estándar	0.0282	0.0721	0.093	0.055	0.056	0.047	0.058	0.039

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los cambios de valor de **a** durante el tiempo de almacenamiento no son tan evidentes debido a que el color verde presente en los bulbos de cebolla es de baja intensidad.

Los valores observados de **b** en los bulbos de cebolla no muestran diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) a los 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21 días de almacenamiento en los bulbos de cebolla desinfectada con hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y los lavados con agua destilada (Cuadro 29).

Cuadro 29. Comportamiento de "b" de cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de b (+/-)							
	Tiempo de Almacenamiento							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	4.89a	5.43a	5.26a	5.49a	5.33a	5.33a	5.53a	5.20a
Microdin 0.04 ml HS/L	4.98a	5.17a	5.60a	5.26a	5.46a	5.65a	5.38a	5.05a
Agua Destilada	5.05a	5.25a	5.36a	5.61a	5.39a	5.23a	5.29a	5.47a
C.V.	4.748	8.376	5.377	6.933	2.818	9.874	3.758	8.720
D.M.S.	0.651	1.126	0.728	0.936	0.392	1.237	0.445	1.217
Error estándar	0.26	0.449	0.29	0.373	0.156	0.494	0.177	0.486

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los cambios de valor de **b** durante el tiempo de almacenamiento no son tan evidentes debido a que los pigmentos presentes en los bulbos de cebolla son de baja concentración.

En relación a la firmeza de los bulbos de cebolla, se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre los bulbos de cebolla desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) con respecto con a la desinfectados con Microdin y los lavados con agua destilada (Cuadro 30).

Cuadro 30. Comportamiento de la firmeza de cebolla durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Firmeza (g/cm ²)							
	Tiempo de Almacenamiento							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	5152.9 a	5570.4a	4509.0a	4178.4a	3166.8a	3198.1a	3507.1a	3378.2a
Microdin 0.04 ml HS/L	4922.4b	5203.8b	3568.4c	4023.6ab	2953.0a	2934.7b	2861.1b	3009.8b
Agua Destilada	4877.2b	4197.0b	3855.5b	3839.5b	3030.6ab	2824.9b	2824.9b	2812.7c
C.V.	7.328415	4.359	1.806	2.571	2.270	2.580	2.488	0.369
D.M.S.	915.0	545.0	180.05	258.58	173.5	193.03	211.8	28.38
Error estándar	365.26	217.56	71.87	103.21	69.26	77.05	84.55	11.33

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de firmeza en los bulbos de cebolla muestran una disminución a medida del incremento del tiempo de almacenamiento, esto se da en mayor

medida con el tratamiento de lavado con agua destilada. La firmeza según datos de Mallorg; (2008) se reporta en bulbos de cebolla entre 4,5 y 7 kgf/cm².

4.3.4. Cambios Poscosecha de Zanahoria

Los sólidos solubles totales en zanahoria no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre las zanahorias desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavadas con agua destilada en 0, 3, 6 y 9 días de almacenamiento (Cuadro 31).

Cuadro 31. Comportamiento de los sólidos solubles totales en zanahoria durante la vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Sólidos Solubles Totales (%)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	7.9a	8.0a	9.3a	11.5a
Microdin 0.04 ml HS/L	7.7a	8.4a	9.3a	11.6a
Agua Destilada	7.5a	8.6a	9.4a	11.5a
C.V.	0.7731	1.105	2.138	0.988
D.M.S.	0.250	0.323	0.680	0.334
Error estándar	0.10	0.129	0.271	0.133

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Para el día 9 de almacenamiento muestra un rango de 11.5 a 11.6 ° Brix. Los datos de sólidos solubles totales en las zanahorias indican que estos se aumentan progresivamente de 0 a 9 días de almacenamiento, concidiendo con los obtenido por Reyna y Bonilla; (1997).

Los resultados de pérdida de peso de las zanahorias indican diferencias significativas entre las zanahorias desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) respecto a las desinfectadas con Microdin y las lavadas con agua destilada a los 6 y 9 días de almacenamiento (Cuadro 32).

Cuadro 32. Comportamiento del perdida de peso de zanahoria durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Perdida de Peso (%)		
	Tiempo de Almacenamiento		
	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	18.37a	26.29b	28.82b
Microdin 0.04 ml HS/L	16.23a	33.4a	35.17a
Agua Destilada	15.66a	35.06a	34.91a
C.V.	5.746	5.822	2.242
D.M.S.	5.771	6.699	2.788
Error estándar	2.303	2.674	1.113

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

A los 9 días de almacenamiento, la menor pérdida de peso se presentó en las zanahorias tratadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) con 28.82 % y el rango de pérdida de peso para el mismo día fue de entre 28.82 a 35.17 %, sin embargo son los datos de pérdidas de peso son superiores a 11.5 % que reportan Reyna y Bonilla; (1997).

Los valores observados de **L** en la zanahoria indican que existe diferencia estadística significativa (P<0.05) a los 3, 6 y 9 días de almacenamiento entre la zanahoria desinfectada con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y Microdin respecto y la lavada con agua destilada (Cuadro 33).

Cuadro 33. Comportamiento de L en zanahoria durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de L (%)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	56.5a	56.5a	53.5a	56.1a
Microdin 0.04 ml HS/L	56.7a	56.6a	53.4a	55.3a
Agua Destilada	57.2a	53.3b	52.5b	50.5b
C.V.	1.868	0.915	3.353	1.751
D.M.S.	2.659	1.273	4.496	2.370
Error estándar	1.061	0.508	1.794	0.946

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

En el día de almacenamiento 9, el mayor valor de **L** lo registraron las raíces de zanahoria desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) con 56.1 % y el intervalo de **L** en este día fue de 50.5 % a 56.1%.

En relación al valor de **a** en las zanahorias, al día 9 de almacenamiento se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre las zanahorias desinfectadas con Microdin y las lavadas con agua destilada respecto a las tratadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L). (Cuadro, 34).

Cuadro 34. Comportamiento de "a" de zanahoria durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de a (+/-)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	23.05a	18.28a	20.21a	18.58a
Microdin 0.04 ml HS/L	25.10a	17.69a	19.93a	13.89b
Agua Destilada	21.03a	17.85a	21.15a	13.99b
C.V.	11.52	5.389	3.407	6.888
D.M.S.	5.694	2.422	1.744	2.672
Error estándar	2.273	0.966	3.407	6.88

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

El valor de **a** disminuye en su intensidad en función del tiempo.

Los valores observados de **b** en las zanahorias indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) a los 9 días de almacenamiento entre las zanahorias desinfectadas con hipoclorito de sodio (20 ml/L), con Microdin y las lavada con agua destilada (Cuadro 35).

Cuadro 35. Comportamiento de "b" de zanahoria durante la vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de b (+/-)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	23.9a	21.2a	22.5a	21.0a
Microdin 0.04 ml HS/L	21.4a	21.9a	21.5a	17.6b
Agua Destilada	22.3a	18.9a	19.3a	14.1c
C.V.	17.225	6.597	5.216	7.565
D.M.S.	10.02	3.368	2.937	3.332
Error estándar	4.00	1.344	1.172	1.332

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de **b** en las zanahorias disminuyen en función del tiempo de almacenamiento.

La firmeza de las zanahorias, muestran diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre las zanahorias lavadas con agua destilada respecto a las desinfectadas con Hipoclorito de sodio (20 ml/L) y con Microdin en los 3, 6 y 9 días de almacenamiento (Cuadro 36).

Cuadro 36. Comportamiento de la firmeza de zanahoria durante su vida poscosecha.

Tratamiento	Valores de Firmeza (g _f /cm ²)			
	Tiempo de Almacenamiento			
	0	3	6	9
Hipoclorito de sodio 20 ml/L	4750.8a	4263.0a	4109.6a	3522.4a
Microdin 0.04 ml HS/L	4700.5a	4222.6a	4116.1ab	3502.5a
Agua Destilada	4738.6a	4176.0b	4151.5a	3415.3b
C.V.	6.622	5.238	6.997	4.11
D.M.S.	207.67	570.62	760.4	368.74
Error estándar	82.89	227.78	303.5	147.19

Abreviaciones: HS/L= Hipoclorito de sodio por litro de solución, C.V. Coeficiente de variación, D.M.S. Diferencia de Mínima Significativa, ^{a,b} Diferente sobre índice en la columna significa diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos usando una prueba de Tukey.

Los valores de firmeza de las zanahorias muestran la pérdida de firmeza en el día 9 de almacenamiento en un intervalo de 3415.3 hasta 3522.4; coincidiendo con

acuerdo con Reyna y Bonilla (1997) en donde clasifica al producto para el día 9 como de consistencia semidura-blanda.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A nivel microbiológico, los tratamientos de desinfección química eliminan la carga microbiana en los órganos de consumo las hortalizas. Esto disminuye el riesgo a la salud del consumidor, no así el lavado con agua destilada.

Las fuentes de riego de agua residual presentan niveles de contaminación fisicoquímica inferiores a las establecidas en la norma NOM-001-ECOL-1996.

Las fuentes de manantiales naturales presentan contaminación fisicoquímica y microbiológica superior a lo establecido para agua potable de consumo humano NOM-127-SSA1-1994.

Existen concentraciones de los metales pesados como el plomo en las hortalizas, aun que se encuentran dentro de los límites de la la NOM-130-SSA1-1995, sin embargo se considera riesgo por el proceso de bioacumulación en los consumidores.

La desinfección con los productos químicos no afecta los parámetros fisicoquímicos de poscosecha evaluados en esta investigación, sino por lo contrario en algunas hortalizas tiene efectos benéficos y favorece la conservación del producto incrementando su vida de almacenamiento.

En general, el efecto negativo de la producción de hortalizas bajo riego con aguas residuales en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México, se evita al aplicar tratamientos efectivos de lavado y desinfección, contribuyendo a la sustentabilidad de la producción.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Álvarez Marcos, 2007. Determinación de Metales Pesados en el Valle del Mezquital. Tesis. Licenciatura de Biología. Instituto de Ciencias Biológicas. UAEH. Hidalgo, Méx.

Amado Álvarez Jesús P. y Ortiz Franco Pedro, 1999. Producción de frijol bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada y fosfórica usando agua residual en Bultillos, Chihuahua. *Terra Latinoamericana*. 17 (4): 337-343.

APHA/AWWA/WPCF, 1998. Standar methods for examination of water and wastewater, 20 ed. American public association. pp 2-28, 2-55, 2-60, 4-86 y 4-103.

Carrillo G., R., Cajuste L. J. y Hernández H. L., 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Terra Latinoamericana*. 10:166-173.

Cazares Diarte Gabriel, Gortares Monroyoqui Pablo, Rubio Carrasco Werner, Martínez Rodríguez Celida, Meza Astorga Paola, Chaidez Quiroz Cristóbal, 2003. Presencia y supervivencia de coliformes fecales, *Salmonella* spp. y *Listeria* spp. en agua de uso agrícola del valle de Culiacán. Boletín Informativo. Departamento de Inocuidad Alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Culiacán, Sinaloa, México.

Chaidez Quiroz Cristóbal, 2000. Inocuidad de frutas y hortalizas, efectos del agua contaminada. Boletín informativo. Departamento de Inocuidad Alimentaria. Centro de investigación y desarrollo en Culiacán, Sinaloa, México.

Cifuentes, E. H., Blumenthal, G. Ruiz-Palacios, S. Benneth, M. Quigley, A. Peasey, H. Romero Álvarez. 1993. Problemas de salud asociados al riego con agua residual en México. *Salud Pública. México*. 35(6):14-619.

Coursey, D. G., 1983. Postharvest losses in perishable foods of the developing world, in M. Lieberman (ed.) *Post-harvest physiology and crop preservation*, Plenum, New York.

Cuenca Adame Ernesto, Riestra Díaz David, Pérez Mangas Julian y Echegaray Aleman Alfredo, 2001. Uso de aguas residuales y control de organismos patógenos en la producción de cebolla. *Agrociencia* 35:255-265.

Flores Tena Francisco J., Muñoz Salas Edna M. y Morquecho Buendía Ofelia, 1999. Absorción de cromo y plomo por alfalfa y pasto ovido. *Agrociencia*. 33 (4): 381-388.

García, C.N.E., Ibáñez, H.A. Vallejo-Albarran,C.1997. Seminario sobre el uso de aguas residuales para riego. Problemática del Valle del Mezquital. Red α -Mezquital. Universidad Autónoma de México(UNAM). Pp 23.

Garza, V. 1994. Legislación Ambiental en México en referencia a la generación de aguas residuales. Salud fronteriza,

Hahn-Shlam Federico, Miranda Salgado Genaro, Pérez López Francisco, Mayo Díaz Obdulio, Rojas Serrano Freddy y Coras Merino Pablo, 2006. Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos. *Agrociencia*. 40 (3): 277-287.

Hardenburg, R. E. 1988. Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. pp. 26 -28 y 91 -110.

Haytowitz, D. B. and R. H. Matthews ,1984. Composition of foods: Vegetables and vegetable products, raw, processed, prepared, *Agriculture Handbook*, no. 8-11, US Department of Agriculture, Washington, DC.

Hotchkiss, J. H. 1992. Empacado de productos hortícolas. En: *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. (Ed. Yahía E., M. e Higuera C., J.). Ed. Limusa, Hermosillo, Sonora, México. pp. 127-147.

INEGI, 2000. El INEGI en el Estado de Hidalgo. Sistema Nacionales Estadístico y de Información Geográfica. Web: <http://www.inegi.gob.mx>. Fecha de Consulta: 25 de Junio de 2007.

Juárez Soto Henry Saúlm, 2006. Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de lima metropolitana. Tesis de Maestría. Reporte final de investigación para Agropolis - Programa Internacional de becas de investigación en Agricultura Urbana. Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú

Justin Cajuste Lenom, Vázquez Alarcón Antonio, Siebe Grabach Christina, Alcantar González Gabriel y De la Isla Bauer María de Lourdes, 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle del mezquital Hidalgo, México. *Agrociencia*. 35(3):267-274.

Kabatas-Pendias, A. Pendias H. 1984. Agricultural problems related to excessive traces metal contents of soils. En *Havey metals*, Salomons W., Förstnet U., Mader P. (Eds). *Spirnger*, Berlin. 412.

Kader, A.A.1992. Postharvest biology and technology: an overview. In: A.A. Kader (Editor), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. 3311:15-20.

Kelly A. Reynolds, 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, Identificación del problema. Agua Latinoamérica, septiembre-diciembre 2002.

Kirk R.S., Sawyer & Egan H, 2000. Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. Editorial Continental S.A. de C.V. México.

La Jornada, 2002. México el segundo país que más aguas negras reutiliza para el riego. Web: <http://www.jornada.unam.mx/>. Fecha de Consulta: 26 de febrero de 2006. La Jornada, México D.F.

Liu F. W. 1992. Sistemas de almacenamiento para productos hortícolas. En: Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas. (Ed. Yahía E., M. e Higuera C., J.). Ed. Limusa, Hermosillo, Sonora, México. pp. 103 - 117.

Mallor G. Cristina, 2008. Principales variedades de cebolla de primavera-verano. Horticultura. 2: 10-14.

Martinez A., 1988. Diseños Experimentales. Editorial Trillas. México.

McGrath, D., McCormack, R.J.; 1999. The significance of Heavy metal and organic micropollutants in soil. End of report N°4268.

Mejía Sáenz Enrique, Palacios Vélez Enrique, Exebio García Adolfo y Santos Hernández Ana Laura, 2002. Problemas operativos en el manejo de agua en los distritos de riego. Terra Latinoamericana. 20(2):217-225.

Melo Sánchez F.M., Márquez Estrada C., Juárez M., Martínez F. J., Miranda Reyes P., Esquivel Ruiz L.F., Juárez M., 2002. Artículo de Divulgación. Departamento de Química, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, I.P.N., México D.F..

Méndez García T., Rodríguez Domínguez L. y Palacios Mayorga S., 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. Terra latinoamericana. 18(4): 277-288.

Metcalf and Hedí, 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill. México.

Nastschu, J.1997. Application and Development of contaminated site remediation technologies in Australia. ANZAC Fellowship report to Department of internal Affairs, Wellington, New Zeland and Department of Foreign Affairs and Trade, Canberra Australia.

National Academy of Sciences, 1978. Postharvest food losses in developing countries, Washington, DC.

NMX-AA-51-1981. Determinación de metales pesados por el método espectrofotométrico de absorción atómica.

NMX-AA-42-1987. Calidad del agua, determinación del número más probable(NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termolerantes) y Escueriquia coli presuntiva.

NMX-FF-49-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano hortalizas en estado fresco – coliflor.

Nobel, P.S., 1989. Phisicochemical and Enviromental Plant Physiology. Academic Pres. San Diego.

NOM-001-ECOL-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, 24 diciembre de 1996. México, D. F.

NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilizacion".

NOM-130-SSA1-1995. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

Pantástico E.R. B., 1984. Fisiología de la post-cosecha, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial CECSA, segunda edición Méx

Reyna Carlos Emilio y Bonilla Olaya Jhon Fredy, 1997. Manejo poscosecha y evaluación de calidad para la zanahoria (*Daucs carota L*) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Tesis del Programa de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería Universidad Supercolombiana. Neiva Colombia.

Sieb, Ch. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula Hidalgo, México. Rev. Contaminación Ambiental. 10(1):15-21.

Siebe, Ch. 1995. Heavy metal availability to plantas in solis irrigated with wastewater from México City. Wather Sciencie. Technology. 32 (12):29-34.

Silva Gómez Sonia Emilia, Muñoz Orozco Abel de la Isla de Bahuer, María Lourdes y Infante Gil Said, 2002. Contaminación Ambiental en la Región de Atlixco Pue. Terra Latinoamericana. 20(3): 243-251.

Teorema Ambiental, 2000. Riego con aguas residuales tratadas opción ventajosa y sustentable. Web: <http://www.teoremaambiental.com.mx>. Fecha de Consulta: 20 de Agosto de 2007.

Trevor V. Suslow, Jeffrey Mitchell y Marita Cantwell, 2002. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha de Zanahoria. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616. Traducido por Rodrigo A. Cifuentes Department of Pomology, University of California, Davis.

Trevor V. Suslow, Jeffrey Mitchell y Marita Cantwell, 2002. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha de Cebolla. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, CA 95616. Traducido por Rodrigo A. Cifuentes Department of Pomology, University of California, Davis.

Unión Europea, 2007. El Reglamento (CE) nº 466/2001. Contenido máximo de determinados contaminantes: nitratos, micotoxinas (aflatoxinas, ocratoxina A y patulina), metales pesados (plomo, cadmio y mercurio), 3-monocloropropano-1,2-diol (3-MCPD), dioxinas y PCB similares a las dioxinas, así como el estaño inorgánico.

Vázquez Alarcón Antonio, Justin Cajuste Lenon, Siebe Grabach Christina Alcántar Gonzalez y De la Isla de Bauer María de Lourdes, 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en Agua Residual, Suelo y Cultivos en el Valle del mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*. 35: 267-274.

Wills, R.H. y Ice, T.H. 1992. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Editorial ACRIBIA, México.