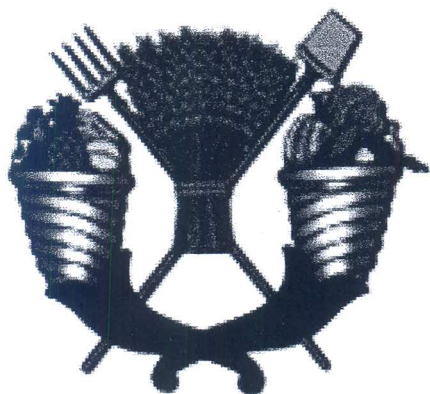




UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y
METALES PESADOS EN BROCOLI (*Brassica oleraceae* var. *itálica*)
EN MIXQUIC, D. F.**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

PRESENTA

MA. ANTONIA PEREZ OLVERA

Chapingo, México, Diciembre de 2007



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y METALES
PESADOS EN BROCOLI (*Brassica oleraceae* var. *itálica*) EN
MIXQUIC, D.F.

Tesis realizada por **Ma. Antonia Pérez Olvera** bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

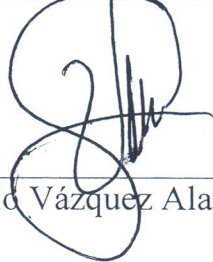
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

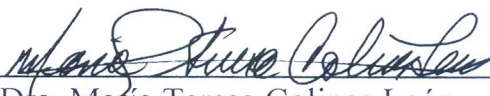
DIRECTOR:


Dra. Rosario García Mateos

ASESOR:


Dr. Antonio Vázquez Alarcón

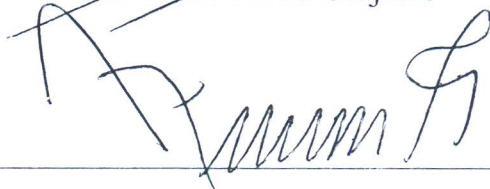
ASESOR:


Dra. María Teresa Colinas León

ASESOR:


Dr. Mario Pérez Grajales

LECTOR EXTERNO:


Dr. Hermilio Navarro Garza

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial al Instituto de Horticultura por la formación académica recibida.

Al Departamento de Suelos y Parasitología Agrícola por las facilidades otorgadas para la realización de las fases de Laboratorio de la presente investigación.

Al Laboratorio GISENA S. A. De C. V., por las facilidades otorgadas para el uso del equipo de Cromatografía de gases, en especial al Gerente General Ing. Alfonso Lucas y a la Quím. Leticia Velásquez.

A la empresa CIAES S. A. de C. V. por las facilidades y apoyo para el desarrollo de la fase de campo, especialmente al M en C. Jorge López Nolasco por todo el apoyo logístico, material y moral.

A la Dra. Rosario García Mateos, por sus consejos, apoyo, revisiones y sugerencias a la investigación y sobre todo por depositar un voto de confianza en mí.

Al Dr. Antonio Vázquez Alarcón, por el apoyo en la fase de laboratorio para el análisis de metales pesados, por sus comentarios, sugerencias y revisiones, así como por su gran disponibilidad y calidad humana.

A la Dra. María Teresa Colinas León. Por sus sugerencias, revisión, comentarios para mejorar este trabajo y sobre todo por su gran calidad humana.

Dr. Mario Pérez Grajales, por su apoyo, consejos, revisión, sugerencias y por su disponibilidad para llevar a buen término la presente investigación.

Al M en C. Antonio Segura Miranda, quien me apoyo de manera ilimitada y desinteresada en la capacitación, asesoría y uso del equipo en la fase de extracción de residuos de plaguicidas.

Al Dr. Hermilio Navarro Garza, Dr. Felipe Olivares Rodríguez, Quím. Felipe Alba Pazos y M en C. Fernando Santamaría con quienes integre un buen equipo de trabajo de campo en Mixquic y quienes me permitieron ver la problemática desde otras perspectiva.

Al personal del Laboratorio de Análisis Químico, en especial al Sr. Gabriel Vega, por todo el apoyo durante los análisis.

Al personal del Laboratorio de Química de Suelos del Colegio de Postgraduados, por la lectura de las muestras.

A la Ing. Fabiola Palma. Técnico de la Junta Local de Sanidad Vegetal, ahora Oficina de Apoyo de Sanidad Vegetal, por su ayuda en la fase de muestreos y acompañamiento de campo.

Al personal de Desarrollo Rural, por el apoyo moral, especialmente a Ana María por todo el apoyo logístico

Un agradecimiento especial a los productores de Mixquic que me permitieron trabajar y aprender con ellos y de ellos; y sobre todo por su gran arraigo a la agricultura, aun en condiciones difíciles.

A los prestadores de Servicio Social del departamento de Fitotecnia: Fatima Morales Degante y Francisco Vázquez Fuentes, por todo su apoyo.

A todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente en la presente investigación

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres † (q.e.p.d). Ejemplos de tenacidad y lucha

A mis Hijas Vianey E. y D. Paola, por ser mis grandes tesoros y mi principal motivo de superación

DATOS BIOGRÁFICOS

La Autora de la presente Investigación nació en: **Santa Cruz de Gamboa, Municipio de Apaseo el Alto, Guanajuato.**

Realizó estudios profesionales en el Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo y la Maestría en Ciencias en el Programa de Edafología, en el Colegio de Postgraduados con la investigación “Dinámica de la Materia Orgánica y el N en tepetates rehabilitados para la producción agrícola.

La autora trabajo un año en el Distrito de Desarrollo Rural en Xochimilco y desde 1993 desempeña actividades de Investigación, Docencia y Servicio en el Colegio de Postgraduados. Ha escrito artículos científicos como autora y coautora en revistas como Fitotecnia Mexicana, Terra Latinoamericana, Agrociencia y Leisa- Revista de Agroecología, entre otras y ha participado en la edición de dos libros y ha sido coautora de 4 capítulos de libros.

En el presente año a la autora le fue reconocida la Candidatura al Sistema Nacional de Investigadores por el periodo 2008-2010.

INDICE GENERAL

Contenido	Pág.
INDICE GENERAL.....	i
I. RESUMEN GENERAL.....	iii
II. GENERAL ABSTRACT.....	iv
III. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
IV. REVISION DE LITERATURA GENERAL.....	3
4.1 SEGURIDAD ALIMENTARIA.....	3
4.2 METALES PESADOS.....	5
4.2.1 Toxicidad de los metales pesados.....	5
4.3 PLAGUICIDAS.....	7
4.3.1 Residuos de plaguicidas en los alimentos.....	7
4.4 EL CULTIVO DE BROCOLI	10
V. LITERATURA CITADA	13
VI. OBJETIVOS.....	17
6.1 OBJETIVOS GENERAL.....	17
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
VII. INDICADORES AGRONOMICOS DE CALIDAD EN BRÓCOLI (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>itálica</i>) EN MIXQUIC, D. F.....	18
7.1 RESUMEN.....	19
7.2 ABSTRACT.....	20
7.3 INTRODUCCIÓN.....	21
7.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
7.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
7.6 CONCLUSIONES.....	30
7.7 LITERATURA CITADA	31

VIII. RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS EN CABEZUELA DE BROCOLI (<i>Brassica oleracea</i>) POR CROMATOGRAFIA DE GASES	34
8.1 RESUMEN.....	35
8.2 ABSTRACT.....	36
8.3 INTRODUCCIÓN.....	37
8.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
8.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
8.6 CONCLUSIONES.....	51
8.7 LITERATURA CITADA	52
IX. CONTENIDO DE Pb, Cd, Ni y Zn EN SUELO DE MIXQUIC, D. F. Y SU TRANSFERENCIA A LA PELLA DE BROCOLI (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>itálica</i>).....	55
9.1 RESUMEN.....	56
9.2 SUMMARY.....	57
9.3 INTRODUCCIÓN.....	58
9.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
9.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
9.6 CONCLUSIONES.....	75
9.7 LITERATURA CITADA	76
X. DISCUSIÓN GENERAL.....	81
XI. CONCLUSIONES GENERALES.....	86
XII. RECOMENDACIONES.....	88
XIII. ANEXOS.....	89
13.1 Glosario de términos.....	89
13.2 Criterios de clasificación de plaguicidas.....	92
13.3 Literatura citada.....	95

I RESUMEN GENERAL

La investigación se desarrolló en Mixquic, Tláhuac, D.F., localizada a 19° 13' 28" N y 98° 57' 51" W y una altitud de 2240 msnm, durante los ciclos de invierno 2004 y primavera verano 2005. Los suelos en la comunidad son de tipo Gleysol háplico y Luvisoles eutricos. Mixquic produce brócoli para el mercado nacional todo el año. Los objetivos fueron documentar el historial de manejo de plagas del cultivo, determinar los residuos de plaguicidas organofosforados en inflorescencias de brócoli comercial y cuantificar por absorción atómica el contenido de metales pesados (Pb, Cd, Ni y Zn), en suelos e inflorescencias de brócoli para estimar las tasas de transferencia suelo-inflorescencia. Se estudiaron 28 sitios de producción, irrigados con agua provenientes de siete fuentes diferentes: Tratada del canal de las chinampas (TCC), Tratada sitio de salida 1 y 2 (TS1 y TS2), Tratada canal principal y secundario (TCPYS), Tratada mezclada con negra (T+N), Residual del drenaje local (DL) y Blanca o testigo (BCA). En dichos sitios fueron obtenidas muestras de suelo y de material vegetal para las determinaciones químicas. Los resultados indican que las plagas de mayor incidencia en el brócoli fueron: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp* y *Bermisia tabaci*, reportadas por los productores, con una frecuencia de 82.5, 80, 80, 70 y 37.7 % respectivamente. El control de las mismas es químico mediante el uso de productos organofósforados, piretroides y carbamatos. Los residuos de plaguicidas encontrados con mayor frecuencia son: clorfenvinfos, malatión y diazinón en 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹; fentión y etión en 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹. El 87 % de las muestras de brócoli analizadas presentaron residuos de al menos un plaguicida organofosforado. La concentración media de diazinón en las muestras fue ligeramente superior a los límites máximos de residuos (LMR) establecidos, mientras que el resto de plaguicidas estuvieron por debajo de éstos límites. Los suelos presentaron concentraciones de Zn, Pb, Ni y Cd de 1.90 a 11.02, 3.74 a 6.42, 0.65 a 1.36 y 0.08 a 0.27 mg kg⁻¹ respectivamente. Dichos resultados dependieron del tratamiento. En inflorescencias, los contenidos fueron de 30.60 a 47.16, de 0.8 a 4.49, de 0.77 a 1.03 y de 0.5 a 4.51 mg kg⁻¹ para Zn, Pb, Ni y Cd respectivamente. Las concentraciones de Pb, Ni y Cd en la brócoli fue mayor en el tratamiento TCC. Las concentraciones de Cd, Ni y Zn en inflorescencia fueron superiores a las del suelo, lo que indica que existen otras fuentes de metales para el cultivo. La ingesta de Pb y Cd se encuentra en niveles inferiores a los máximos permisibles FAO/ OMS, si se considera un consumo de brócoli per cápita de 2.8 kg por persona por año. Los rendimientos evaluados en los tratamientos TS2; TCPYS, T+N van de 13 a 15 t ha⁻¹. Los tratamientos TCC y TS1 presentaron valores de 10.5 y 9 t ha⁻¹ respectivamente con igualdad estadística. La materia orgánica, nitrógeno y capacidad de intercambio catiónico en los suelos influyen en la dinámica de los metales pesados en los suelos e inflorescencias de brócoli. Es necesario un monitoreo continuo y el estudio del riesgo sobre la salud humana por el consumo de residuos en su conjunto.

Palabras clave: Mixquic, Brócoli, metales pesados, residuos de plaguicidas.

II GENERAL ABSTRACT

The research was developed in Mixquic, Tlahuac, and D.F., located at 19° 13' 28" L and 98° 57' 51" L and 2240 m altitude. The soils in the community are Haplic Gleysol and Eutric Luvisol. Mixquic produces broccoli for the domestic market all year round. The objectives were to document the historic file of crop pest management, to determine the organophosphate pesticide residues in commercial broccoli inflorescences, and to quantify the heavy metal content (Pb, Cd, Ni and Zn), through atomic absorption, in soils and broccoli inflorescences to assess the soil-inflorescence transference rate. Twenty-eight production sites irrigated with water originating from seven different sources were studied: Treated from the channel of chinampas (TCC); Treated exit sites 1 and 2 (TS1 and TS2); Treated main and secondary channel (TCPYS); Treated mixed with blackwater (T+N); Residual from the local drainage (DL) and Freshwater or control (BCA). From these sites, samples of soil and plant material were taken for chemical determinations. The results indicated that the pests with the greatest incidence in broccoli were: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp* and *Bermisia tabaci*, reported by the producers, with a frequency of 82.5, 80, 80, 70 and 37.7%, respectively. These pests are controlled chemically with the use of organophosphate, pyrethroid and carbamate products. The most frequent pesticide residues are: Chlorfenvinphos, malathion and diazinon with 5.78, 2.67, and 1.16 mg kg⁻¹; fenthion and ethion with 0.041 and 0.024 mg kg⁻¹. 87% of the analyzed broccoli samples contained at least one organophosphate pesticide residue. The average concentration of diazinon in the samples was slightly superior to the maximum residue limits (MLR) established, while the rest of the pesticides were below these limits. The concentrations of Zn, Pb, Ni and Cd in the soils were from 1.90 to 11.02, 3.74 to 6.42, 0.65 to 1.36, and 0.08 to 0.27 mg kg⁻¹ respectively, depending on the treatment. In inflorescences, the contents were from 30.60 to 47.16, from 0.8 to 4.49, from 0.77 to 1.03, and from 0.5 to 4.51 mg kg⁻¹ for Zn, Pb, Ni and Cd respectively. The concentrations of Pb, Ni and Cd in broccoli were greater in treatment TCC. The concentrations of Cd, Ni, and Zn in inflorescence were greater than those of the soils, which indicate that there are other sources of metal pollution. Intake of Pb and Cd are below the maximum levels established by the FAO-WHO, considering a per capita broccoli consumption estimate of 2.8 kg by person by year. The yields evaluated in treatments TS2, TCPYS and T + N were 13 to 15 t ha⁻¹. Treatments TCC and TS1 had statistically equal values of 10.5 and 9 t ha⁻¹, respectively. Organic matter, nitrogen, and cationic exchange capacity in soils affect the dynamics of heavy metals on soils and broccoli inflorescences. Continuous monitoring and the study of risk for human health from the consumption of residues on the whole are necessary.

Key words: Mixquic, broccoli, heavy metals, pesticide residues.

III INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad, la reutilización de las aguas residuales es una práctica mundialmente extendida. Esta tendencia puede deberse a dos grandes motivos de acuerdo con Garza (2000): una actitud conservacionista y otra desde el punto de vista sanitario acorde a un pensamiento de protección al ambiente, donde países como Alemania, Australia, Canadá, España o Estados Unidos, le dan un tratamiento purificador al agua residual y luego la reciclan en pequeñas cantidades. Después del tratamiento del agua, la devuelven a cuerpos de agua superficiales; al riego de campos de golf, campos deportivos, parques o bosques y, en menor escala, al riego de cultivos que no representan riesgo al consumo humano; o bien a una necesidad causada por la escasez o la falta de agua para la sobrevivencia o el desarrollo, como es el caso de Brasil, Chile, India, Israel, Marruecos, México o Perú, donde se reutiliza el agua residual en el desarrollo local o regional, empleándose en actividades agrícolas o acuícolas.

Las aguas residuales son utilizadas para riego, y como fuente de nutrimentos para las plantas, como: nitrógeno, fósforo y potasio, entre los principales, lo que permite a los agricultores reducir y en algunos casos eliminar la necesidad de usar fertilizantes químicos y/o material orgánico.

De acuerdo con el origen el agua, puede contener sustancias que contribuyen a contaminar el ambiente donde se conduce, se deposita o se emplea; sus constituyentes principales son: materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrimentos (principalmente N, P y K), organismos patógenos y otras sustancias como metales pesados y residuos de agroquímicos.

La actividad agrícola de una superficie considerable en el Distrito Federal, en el estado de México y en el Estado de Hidalgo, depende en gran medida de las aguas residuales que se producen en la ciudad de

México, ya que éstas abastecen la necesidad de agua de riego en estas zonas. Aunado a este problema, la utilización indiscriminada de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades repercute en la calidad final de los productos, que en la mayoría de los casos y sobre todo en los productos de consumo nacional, esta calidad es desconocida.

Tláhuac es una zona productora de hortalizas de gran importancia, debido a que se cultivan alrededor de 5,000 has con cultivos en los que destacan: brócoli, acelga, maíz, lechuga, frijol, apio, romero y calabaza y constituye la delegación más importante en la producción hortalizas y en particular para el cultivo de brócoli, donde destaca por superficie y por volumen de producción la comunidad de Mixquic. Los productores no solo cultivan los suelos de este ejido sino también parcelas de cultivos de ejidos colindantes, tanto de la misma delegación de Tláhuac, como del municipio de Chalco, en el estado de México (Junta Local de Sanidad Vegetal de Tláhuac, 2003).

Los estados productores de brócoli, col y coliflor en la República Mexicana son: Baja California, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Zacatecas, Puebla, San Luís Potosí y México. Sin embargo, el principal estado productor de crucíferas es Guanajuato, en donde hasta el verano de 1997 se habían cosechado 30,000 ha, que representa el 85 % de la producción total nacional (Bustos, 1998). Sin embargo, la mayor parte de esta producción es destinada al mercado internacional, lo cual le confiere a Mixquic, además de su cercanía a la central de abasto más grande del país, una mayor importancia como proveedor de brócoli para el mercado nacional.

Con esta perspectiva nace la necesidad de documentar el historial de manejo y control de plagas del brócoli y, evaluar los residuos de plaguicidas organofósforados y residuos de metales pesados en el brócoli y los principales recursos empleados en el proceso de producción.

IV REVISION DE LITERATURA GENERAL

4.1 SEGURIDAD ALIMENTARIA

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) es el principal organismo de las Naciones Unidas especializado en los aspectos relacionados con la calidad e inocuidad de los alimentos en todas y cada una de las fases de producción, cosecha, almacenamiento, transporte, elaboración y comercialización de los alimentos. La FAO plantea un enfoque de la calidad y la inocuidad de los alimentos basados en la cadena alimentaria, de tal manera que todos los que intervengan en la misma comparten la responsabilidad de abastecer alimentos inocuos, sanos y nutritivos.

Ante la presencia de residuos químicos remanentes del control de plagas implementados por los productores agrícolas, y de residuos o contaminantes provenientes del agua utilizada para su producción, principalmente; los gobiernos han establecido una serie de medidas tendientes a restringir y regular su uso con el fin de proteger tanto a los agricultores como a los consumidores, a la vida silvestre y al ambiente.

En México, no existen suficientes estudios que permitan estimar la magnitud real o potencial de los daños ambientales y a la salud humana del uso indiscriminado de plaguicidas y aguas negras en la producción agrícola, sin embargo, existen estudios puntuales en los cuales hay indicios de residuos de pesticidas y metales pesados en agua, en suelos, en animales, en plantas y en alimentos y productos agrícolas. Pero hasta el momento no ha existido un seguimiento puntual acorde con las normas establecidas.

Otro tipo de estudios indican la persistencia de diferentes tipos de plaguicidas que tienen o se presentan en algunas zonas agrícolas, en diferentes tipos de suelo, de manejo y de condiciones ambientales, así como la influencia de las características físicas y químicas de los suelos en los procesos de degradación o de acumulación de grupos específicos de pesticidas. Sin embargo, son pocos los estudios que se han realizado en los productos de consumo humano, sobre todo tratándose de los productos de consumo nacional.

De acuerdo con el origen, el agua puede contener sustancias que contribuyen a contaminar el ambiente donde se conduce, se deposita o se emplea; sus constituyentes principales son: materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrimentos (principalmente N, P y potasio), organismos patógenos, otras sustancias como metales pesados y residuos de agroquímicos y algunos residuos de industriales (colorantes, disolventes, etc.).

Los contaminantes pueden ser identificados por su estado físico, composición química o descripción genérica. De acuerdo con el volumen de generación y la concentración éstos compuestos pueden ocasionar riesgos ambientales. Los contaminantes más dañinos son aquellos que poseen propiedades tóxicas, de persistencia ambiental o de bioacumulación.

La persistencia es relacionada con la tendencia del contaminante a permanecer en el ambiente, por su resistencia a la degradación asociados a los procesos naturales. Los residuos persistentes pueden resultar de una exposición o acumulación en las cadenas alimenticias. Dentro de los contaminantes, algunos compuestos organoclorados y metales pesados como el plomo, el cadmio y el mercurio son ejemplos típicos de contaminantes con elevada persistencia ambiental. Los residuos en el ambiente pueden ser

ingeridos y retenidos en altas concentraciones, por los organismos, ocasionándoles serios trastornos e incluso la muerte (INE y SEMARNAP, 1997; SEMARNAP; 1996-2000).

4.2 METALES PESADOS

4.2.1 Toxicidad de los metales pesados

Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aun, el efecto que tienen en un determinado medio. Cabe recordar que de hecho los seres vivos "*necesitan*" (en pequeñas concentraciones) a muchos de estos elementos para funcionar adecuadamente. Ejemplos de metales requeridos por el organismo incluyen el cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio, y zinc. El caso del hierro es notable entre éstos, por ser vital para la formación de hemoglobina.

Las concentraciones naturales de estos elementos pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas, así por ejemplo, el Ni puede aparecer en concentraciones tóxicas en suelos derivados de rocas ultrabásicas. Concentraciones muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en las plantas y tener efectos negativos para los animales que las consumen. También se debe considerar que las actividades volcánicas, emiten metales pesados, tales como: As, Hg, Se, etc. (García y Dorronsoro, 2004).

Los organismos expuestos a estos contaminantes, pueden acumular los metales en sus tejidos a concentraciones mas altas que las que normalmente encontramos en el ambiente y que es el proceso

conocido como bioacumulación; algunos de estos organismos son consumidos por el hombre dado su valor comercial (Páez y Frías, 2001).

Berman (1980) menciona que el cadmio es un elemento de acumulación en los organismos, debido a prolongada vida media que puede ir hasta los 38 años. Adicionalmente, Albert (1990) señala que el cadmio es un elemento tóxico a la mayoría de las formas de vida y que su ingestión puede provocar náuseas, salivación abundante y vomito, entre otros síntomas. También menciona que la ingestión crónica puede causar efisema pulmonar y anemia.

En el caso del plomo, Chinni *et al.* (2000) encontraron que el Pb inactiva varias enzimas de la glucólisis de varios tejidos, y observaron que ocasiona alteración del epitelio branquial en animales acuáticos, provocando un estancamiento en la perfusión de la hemolinfa y provocando inhibición del intercambio gaseoso. Manahan, (1994) menciona que el plomo tiene un efecto dañino directo sobre el hígado al igual que otros metales tiene un efecto neurotóxico, daña el sistema nervioso central y periférico y puede acumularse en la sangre de manera temporal y en los huesos de manera permanente (Roebuck, 1992). Este mismo autor menciona que el mercurio causa efectos neurológicos, como es el cambio en la personalidad, irritabilidad y fácil alteración. El mercurio en la agricultura es un compuesto ampliamente usado, sobre todo como antifúngico para el tratamiento de semillas.

4.3 PLAGUICIDAS

4.3.1 Residuos de plaguicidas en los alimentos

La fracción de plaguicidas que se aplica sobre la planta es de especial interés tanto para el agricultor como para el consumidor, ya que además de actuar sobre la plaga específica, una parte de ella es la responsable de la inevitable presencia de residuos en los cultivos al momento de la cosecha.

Los dos grupos principales de pesticidas persistentes en el ambiente y los bioacumulables son los organoclorados y los fosforados. Los organoclorados son peligrosos para la salud, principalmente por sus efectos crónicos, son detectados comúnmente como contaminantes en alimentos, en tejidos humanos y animales y en el ambiente. Por citar algunos clordano, heptacloro, grupo de los drines, lindano y el pentaclorofenol.

Los organofosforados de alta toxicidad aguda para el hombre y para los organismos a los que no estaba dirigido el control; son los culpables de la mayoría de los casos de envenenamientos a nivel mundial. Son menos persistentes y bioacumulables que los organoclorados, como ejemplo tenemos el paratión y malatión.

Se estima que 35 % de los alimentos adquiridos por los consumidores norteamericanos tienen niveles detectables de residuos de pesticidas (FDA, 1990). Entre 1 y 3 % de estos alimentos tienen niveles de residuos de pesticidas que están por encima de los niveles legales de tolerancia (FDA, 1990). Los niveles de los residuos pueden ser aún mayores que esto porque los métodos analíticos que se usan hoy en los EEUU solo detectan como un tercio de los pesticidas en uso (Minyard y Roberts 1991). Sin duda alguna, la

tasa de contaminación es más alta para frutas y hortalizas, porque estos alimentos reciben las dosis más altas de pesticidas.

Aproximadamente un 3.6 por ciento de los alimentos frescos en Europa contiene residuos de pesticidas por encima de las concentraciones recomendadas. Entre los que se encuentran frutas, hortalizas y cereales. El nivel más alto se encontró en Holanda, seguida de Francia y Bélgica. Los restos se encontraron principalmente en uvas (60 %), fresas (51 %), lechuga (49 %) y tomates (33 %). Los límites se exceden sobre todo en lechuga (3.9 %), fresas (3.3 %), uvas (1.8 %), tomates (1.5 %) y manzanas (1.1 %).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha demostrado que algunos residuos de pesticidas permanecen en las frutas y hortalizas aún después de haberlas lavado, pelado y sacado la parte central (Wiles y Campbell, 1994). En consecuencia, hay muchas razones para justificar por qué el consumidor está preocupado por los residuos de pesticidas que puedan contener sus alimentos (Pimentel y Greiner, 1996).

Arsenio *et al.* 1991 en un estudio realizado en manzanas para conocer las concentraciones de Diazinón y Clorpirifos por cromatografía de gases, realizando el estudio bajo condiciones de laboratorio (*in vitro*) y sobre los árboles (*in vivo*). Los autores encontraron que los dos plaguicidas fueron degradados más rápidamente *in vivo* que *in vitro*.

Albert (1990), estudió el grado de disipación de metomil aplicado al follaje de la fresa, tomate y pepino, encontró que los residuos alcanzaron niveles de 0.55, 0.2 y 0.6 mg kg⁻¹ respectivamente, después de 7 días de haber sido aplicado dicho producto. Los resultados también mostraron que en los frutos tratados con aspersiones de agua se removieron considerables cantidades del metomil.

Los efectos agudos como los efectos crónicos de los pesticidas sobre la salud justifican preocupación y atención. Mientras que la toxicidad aguda de la mayoría de los pesticidas está bien documentada (Ecobichon *et al.* 1990), la información sobre las enfermedades humanas crónicas tales como el cáncer para muchos, no es válida. Sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer encontró evidencias comprobadas de carcinogenicidad en dieciocho pesticidas y evidencia en otros dieciséis pesticidas (WHO/UNEP 1989). Otros estudios han reportado un aumento en la incidencia de ciertas clases de cáncer en agricultores (Cantor *et al.* 1992). Al respecto se estima que menos del 1 % de los casos de cáncer humano en los EEUU se pueden atribuir a exposición de los pacientes a los pesticidas (Pimentel y Greiner, 1996). Anualmente hay aproximadamente 1.2 millones de casos de cáncer (USBC, 1995).

Thomas y House, (1989), encontraron abundantes evidencias obtenidas en estudios hechos con animales que sugieren que los pesticidas pueden producir diversas alteraciones entre las que se encuentran las funciones inmunológicas. En un estudio hecho en mujeres que habían ingerido de manera crónica agua subterránea contaminada con bajos niveles de Aldicarb con concentraciones promedio de 16.6 ppb. Fiore *et al.*, (1986) reportaron evidencias de una significativa reducción en la respuesta inmunológica, aunque estas mujeres no exhibieron evidentes problemas de salud.

En un estudio realizado, se encontró que el pesticida dibromocloropropano (DBCP), recientemente prohibido, se usa para el control de patógenos, causa alteraciones en las funciones de los testículos de algunos animales estudiados (Shemi *et al.* 1989), también se encontró relacionado con la infertilidad de

trabajadores humanos que habían estado expuestos a este producto químico (Potashnik y Yanai-Inbar, 1987).

Berman (1980) llevó a cabo experimentos a corto y largo plazo sobre suelos podzólicos y chernozem y demostraron que los tubérculos de papa y las raíces de betabel acumularon de 3 a 46 % de los herbicidas y fungicidas usados a las dosis recomendadas. Esto sugirió que los efectos ecológicos de los residuos de plaguicidas (incluyendo sus metabolitos potencialmente tóxicos), debían ser evaluados por bioensayos y por métodos físicos y químicos.

4. 4 EL CULTIVO DE BROCOLI

El brócoli tiene su origen en la zona noreste del Mediterráneo (desde Grecia hasta Siria), por lo que se considera el centro de origen más probable de esta hortaliza. A pesar de ser conocida y consumida en época de los romanos, recién se ha generalizado su cultivo en diversas áreas del mundo, presentando una tasa alta de expansión y un incremento notable de su producción en los últimos años. En Estados Unidos, las primeras descripciones de brócoli datan de inicios del siglo XIX (LeStrange *et al.*, 2003); hoy en día es el principal país productor y consumidor (BANCOMEXT, 2001). El brócoli es una planta herbácea muy vigorosa, su producto comestible es la inflorescencia, pertenece la familia de las crucíferas (*Brassica oleraceae var. itálica*). Es un cultivo de clima templado frío, para su óptimo desarrollo requiere temperaturas entre los 8 y los 17 °C como ideal, aunque puede soportar de 2 a 25 °C y un fotoperiodo de 11 a 13 horas luz, clima templado a ligeramente frío y humedad relativa de intermedia a baja.

En México, los principales estados productores de brócoli son: Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, Sonora, Zacatecas, Puebla, San Luís Potosí y México (COFOCE, 1995; SIACON, 2006).

Las principales fases que integran el sistema de producción de brócoli en Mixquic y el posible riesgo de contaminación tomando en cuenta los supuestos señalados con anterioridad se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Prácticas de manejo agronómico del cultivo de brócoli y los posibles riesgos de contaminación química, así como la fuente posible de la misma

Labores de cultivo	Posibilidad de riesgos de contaminación	Posible fuente
Producción de la plántula	++	Los lodos de los canales pueden contener metales pesados y residuos de plaguicidas por efecto de sedimentación
Transplante	/	/
Control de plagas y enfermedades	+++	Uso de plaguicidas, sobre todo cuando se aplican muy cercanos a la cosecha
Riegos	++	Uso de aguas residuales tratadas
Cosecha y transporte	+	Uso de los vehículos para transporte de plaguicidas

++ = positivo o presente; + posibilidad media; / = o ausente

En el estado de Guanajuato, los estándares de calidad para el cultivo de brócoli, los establecen los países a los cuales se vende el producto, limitando la comercialización a lotes de producto con presencia de contaminantes físicos, químicos o biológicos. Adicionalmente, los países establecen el paquete tecnológico

a utilizar, dentro del cual se consideran los productos para el control de plagas y enfermedades (Bustos, 1998).

La SAGARPA, por su parte ha promovido y certificado, a través del establecimiento y aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM FIT-005, referente a la aplicación de buenas prácticas agrícolas y de empaque de frutas y hortalizas frescas. Esta norma ha sido ampliamente adoptada por productores cuyo destino de la producción es la exportación y en muy contados casos por productores cuya producción tiene como destino final el mercado nacional.

El brócoli en Mixquic, D.F., constituye el cultivo principal, se siembra en cerca de 400 ha y hasta en tres ciclos al año, en la misma parcela. El destino de la producción es para el mercado nacional, sin embargo, no se han realizado estudios relacionados con la problemática derivada del uso de aguas residuales tratadas y sin tratar, por lo cual es necesario abordar esta problemática tomando en cuenta los siguientes supuestos:

- a) Los lodos de los canales utilizados para producir las plántulas pueden contener acumulaciones de metales pesados, producto de la sedimentación.
- b) El agua utilizada para el riego proviene del Cerro de la Estrella, la cual ha pasado por un tratamiento secundario, pero de manera local se mezcla con aguas residuales. Por su origen puede contener metales pesados, los cuales no se eliminan fácilmente con el tratamiento.
- c) La inflorescencia, que constituye la parte útil del cultivo, puede contener residuos de plaguicidas, por el uso indiscriminado de los mismos y por inadecuadas prácticas de aplicación, durante el proceso de

producción, como puede ser el no respetar los intervalos de seguridad de los plaguicidas entre la última fecha de aplicación y el corte del cultivo.

Para abordar esta problemática es necesario partir del historial de manejo del cultivo, sobre todo en el uso y manejo del control de plagas y enfermedades, las características químicas del suelo, del agua y de los recursos empleados en su producción, así como evaluar los principales indicadores agronómicos de calidad del producto final.

V LITERATURA CITADA

Albert, 1990. Curso básico de Toxicología ambiental. Limusa-Noriega. D. F. México. 692 pp.

BANCOMEXT. 2001. Base de datos. The world Trade Atlas. México, D. F.

Berman, E. 1980. Toxic metals and their análisis. Edit. Heyden and Son LTD. London, England. Pp 65-176.

Bustos, C. D. 1998. Evaluación de la implementación de la estrategia de MI de la palomilla Dorso de Diamante (*Plutella xylostella* L) en crucíferas del Estado de Guanajuato. Tesis de Maestría en Ciencias. Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados.

Cantor, K. P., A. Blair, G. Everett, R. Gibson, L. F. Burmeister, L.M. Brown, L. Schuman y F. R. Dick. 1992. Pesticides and other agricultural risk factors for non-Hodgkin's lymphoma among men in Iowa and Minnesota. Cancer Research 52: 2447-2455.

Chini, S., Khan R.N. y Yallapragada P.R. (2001). Larval growth in postlarve of *Penaeus indicus* on exposure to lead. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 67: 27-34.

COFOSE, 1995. Agronegocios en Guanajuato. Coordinadora de Fomento al Comercio exterior del estado de Guanajuato. Secretaría de Desarrollo Económico. Software.

Cooksey, M. y W. Barnett, 1979, Sequential Multielements Atomic Absorption Analysis of agricultural Samples. At. Absorpt. Newls. 1 pp.

Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias Tóxicas (CICLOPLAFEST), (2005). . México D.F. p: 81-84.

Coscollá, R.; 1993; Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales; Ed. Mundi-Prensa.

Ecobichon, D. J., J. E. Davies, J. Doull, M. Ehrich, R. Joy, D. McMillan, R. MacPhail, L. W. Reiter, W. Slikker y H. Tilson. 1990. Neurotoxic effects of pesticides. Pages 131-199 en C. F. Wilkinson and S. R. Baker, eds. The Effect of Pesticides on Human Health. Princeton Scientific Pub. Co., Inc.: Princeton, NJ.

FDA. 1990. Food and Drug Administration Pesticide Program Residues in Foods: 1989. Jour. Assoc. Off. Anal. Chem. 73: 127A-146A.

FDA. 1998 Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos, en el caso de frutas y vegetales frescos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades.

Fiore, M. C., H. A. Anderson, R. Hong, R. Golubjatnikov, J. E. Seiser, D. Nordstrom, L. Hanrahan y D. Belluck. 1986. Chronic exposure to aldicarb-contaminated groundwater and human immune function. Environ. Res. 41 : 633-645.

García, I. y C. Dorronsoro. 2004. Dinámica de Metales Pesados en Suelos. En: Contaminación por Metales Pesados. Apuntes. <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>

Garza, Almanza V. 2000. Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México), en el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública en Salud Pública y Nutrición Vol 1(3):

Grobs R. L. et al. 1985. "Modern Practice of Gas Chromatography". Ed. Jhon Wiley & Sons, N.Y. 897p.

INE y SEMARNAP. 1997. Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural 1997-2000, Primera edición. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca. Instituto Nacional de Ecología. 207 p.

Junta Local de Sanidad Vegetal. 2003. Base de datos de productores de la comunidad de Mixquic asociados a la Junta local de Sanidad Vegetal de Tlahuac. Documento interno de Trabajo.

LeStrnge, M., K. Mayberry, S. Koyke y J. Valencia. 2003. Producción de brócoli en California. Centro de Información e Investigación de hortalizas. Serie de Producción de hortalizas. Universidad de California. División of Agricultura and Natural Resources. California, estados Unidos 4 pg.

Manahan, S.E. 1994. Environmental Chemistry. 6th ed. CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida. p 811.

Minyard, J. P. y W. E. Roberts. 1991. A state data resource on toxic chemicals in foods. Páginas 151-161 en B. G. Tweedy, H. J. Dishburger, L. G. Ballantine, y J. McCarthy, eds. Pesticide Residues and Food Safety: A Harvest of Viewpoints. Washington, DC: American Chemical Society.

Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2002. Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de enfermedades transmitidas por vector.

Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA1-1993, PLAGUICIDAS. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado.

Páez-Osuna, F., Frías-Espericueta M.G. y Osuna-López, J.I. (1995). Trace Metals in Relations to seasonal and Gonadal Maturation in the Oyster *Crassostrea iridescens*. Marine Environmental Research, 40: 19-31.

Pimentel, D. y A. Greiner. 1996. Environmental and socio-economic costs of pesticide use. En D. Pimentel, ed. Techniques for Reducing Pesticides: Environmental and Economic Benefits. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons.

Potashnik, G. y I. Yanai-Inbar. 1987. Dibromochloropropane (DBCP): an 8-year reevaluation of testicular function and reproductive performance. Fertility and Sterility 47 : 317-323.

Ramos, B. Rosalia., L. Cajuste, D. Flores, y N. García. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. TERRA 35: 385-395

B. Roebuck. 1992. Dietary fat and the development of pancreatic cancer. *Lipids*:27 (10): 804-806

SAKATA. 2006. Híbridos de Brócoli-Paquetes tecnológicos- <http://www.sakata.com.mx/paginas/ptbrocoli.htm>. (junio 2005).

SEMARNAP.1996-2000. Identificación y Caracterización de Sitios Contaminados con Residuos Peligrosos. 19 Pág. Información proporcionada por la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. INE, México.

SIACON-SAGARPA.2006. Estadísticas agrícolas 2005. (<http://www.nay.sagarpa.gob.mx/seder/entidades/archivos/siacon/siaconagri.php>. 30 de septiembre de 2007.

Thomas, P. T. y R. V. House. 1989. Pesticide-induced modulation of immune system. Pages 94-106 en N. N. Ragsdale and R. E. Menzer, eds. *Carcinogenicity and Pesticides: Principles, Issues, and Relationships*. Washington, DC: Am. Chem. Soc., ACS Symp. Ser. 414.

USBC. 1994. Statistical Abstract of the United States 1994. Washington, DC: U.S. Bureau of the Census, U.S. Government Printing Office. Wigle, D. T., R. M. Samenciw, K. Wilkins, D. Riedel, L. Ritter, H. I.

Morrison y Y. Mao. 1990. Mortality study of Canadian male farm operators: non-Hodgkin's lymphoma mortality and agricultural practices in Saskatchewan. *J. Nat. Canc. Inst.* 82: 575-582.

WHO/UNEP. 1989. Public Health Impact of Pesticides Used in Agriculture. Ginebra: Organización Mundial de la Salud /Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Wiles, R. y C. Campbell. 1994. Washed, Peeled--Contaminated: Pesticide Residues in Ready-To-Eat Fruits and Vegetables. Washington, D.C.: Environmental Working Group.

VI OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento económico, así como los indicadores agronómicos y químicos de la calidad de brócoli fresco: peso, color, perímetro y diámetro de la inflorescencia, residuos de plaguicidas organofosforados y el contenido de metales pesados, en Mixquic D.F.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Caracterizar el sistema de producción de brócoli, con énfasis en el control de plagas de mayor importancia, control de las mismas, productos utilizados, frecuencia de aplicación, entre otras, que permitan definir el tipo de plaguicidas que más se emplea.

Evaluar el rendimiento económico, así como los indicadores de calidad agronómica mediante la evaluación de las variables: peso, color, perímetro, diámetro de cabezuela de brócoli.

Determinar la presencia de residuos de plaguicidas organofósforados mediante cromatografía de gases en inflorescencias de brócoli comercial.

Cuantificar el contenido de metales pesados: Pb, Cd, Ni y Zn en suelo e inflorescencias de brócoli comercial y determinar los índices de transferencia suelo-cabezuela.

**VII INDICADORES AGRONOMICOS DE CALIDAD EN BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* L var. *Italica*) EN
MIXQUIC, D.F.¹**

¹ Ma. Antonia Pérez O, Rosario García M., Mario Pérez Grajales, Teresa Colinas L. Antonio Vázquez A. y Hermilio Navarro
Propuesta elaborada para la Revista Chapingo, Serie Horticultura.

7.1 RESUMEN

El brócoli es el cultivo principal en Mixquic, D.F., produciéndose en tres ciclos al año. El destino de la producción es para el mercado en fresco, que se comercializa en su totalidad en la central de abasto de la ciudad de México. Con la finalidad de evaluar su calidad se analizaron 27 muestras de parcelas cultivadas con brócoli (variedad Legend) e irrigadas con agua provenientes de diversas fuentes: Tratada del canal de las chinampas (TCC); Agua tratada sitio de salida 1 y 2 (TS1 y TS2); Tratada canal principal y secundario (TCPYS); Agua tratada mezclada con negra (T + N); Residual del drenaje local (DL). En la evaluación de calidad agronómica del producto se consideraron como principales indicadores el peso, perímetro, diámetro y color de la cabezuela del brócoli, además del rendimiento.

Los suelos en los que se cultiva el brócoli son suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica, fósforo y una alta capacidad de intercambio catiónico. El peso, diámetro, perímetro y color de la cabezuela encontrados se cubren en comparación comparados con los requerimientos para el mercado nacional. La prueba de comparación de medias produjo diferencias mínimas significativas. Los sitios irrigados con agua tratada más negra y los sitios irrigados con agua negra del drenaje local fueron los que presentan los valores más altos en dichas variables, pero con igualdad estadística con el resto de los tratamientos a excepción del tratamiento TS1. Los rendimientos medios evaluados en los tratamientos TS2; TCPYS, T + N van de 13 a 15 t ha⁻¹. Los tratamientos TCC y TS1 presentaron valores de 10.5 y 9 t ha⁻¹ respectivamente con igualdad estadística.

Palabras clave: *Brassica oleraceae*, diámetro de cabezuela, rendimiento de brócoli

7.2 ABSTRACT

Broccoli is the main culture in Mixquic, D.F. It is cultivated in three cycles to the year. The destiny of the production is for the fresh market in commercializing in its totality in the power station of supply of the Mexico City. With the purpose of evaluating their quality 27 plots cultivated with broccoli (Legend variety) and irrigated were analyzed with water originating of diverse sources: Treated about the channel of chinampas (TCC); Water treated site about exit 1 and 2 (TS1 and TS2); Treated main and secondary channel (TCPYS); Water dealt mixed with black (T + N); Residual of the local drainage (DL), the agronomic quality of the product, considering as main indicators the weight, perimeter, diameter and color of the small head of broccoli, in addition to the yield. The grounds in which broccoli is cultivated are fertile grounds with high content of organic matter, phosphorus and a high capacity of cationic interchange. The weight, diameter, perimeter and color of the small head found compared with the requirements for the national markets are covered. The test of comparison of averages presents/displays significant minimum differences, being the sites irrigated with water dealt more black and the irrigated sites with black water of the local drainage those that present/display the highest values in these variables, but integrating he himself group of averages with the rest of the treatments with the exception of the sites that are irrigated with water treated about the site of exit one that the one that show the lowest value and statistically different from the rest. The production mean in treatments TS2; TCPYS, T + N were from 13 to 15 t has⁻¹. Treatments TCC and TS1 presented 9 y 10.5 t ha⁻¹ of production, respectively, with statistical equality.

Key words: *Brassica oleraceae*, diameter of small head, yield of broccoli

7.3 INTRODUCCIÓN

El cultivo de crucíferas en México ha aumentado considerablemente. En la actualidad se siembran cerca de 50, 000 ha de las cuales 74.42 % son de brócoli (Bujanos, 2000). El incremento en la superficie de este cultivo se debe en parte al aumento en el consumo nacional, así como el crecimiento en las exportaciones hacia los Estados Unidos. La dinámica de la superficie cultivada con brócoli a Nivel nacional considerando las estadísticas de SIACON CEA-SAGARPA (2007) es la siguiente: en la década de los 80's la superficie cultivada era cercana a las 570 ha, mientras que en 1987 era de 10, 700 ha. Actualmente, la superficie cultivada asciende a 22 900 has. Los principales estados productores de acuerdo con los volúmenes de producción son: Guanajuato, Michoacán, Jalisco, D. F., Sonora, Baja California y Puebla.

El rendimiento de brócoli depende del manejo, de las condiciones climáticas y de la fertilización. Lazcano *et al.* (1997) reportan rendimientos en Guanajuato con manejo convencional ligeramente mayores a 12 t ha⁻¹, y un rendimiento comercial promedio de 7 a 12 t ha⁻¹. Aunque el potencial de producción supera a las 20 t ha⁻¹ con una densidad de población de 80,000 plantas ha⁻¹.

En Mixquic, D. F., el proceso de introducción y cultivo del brócoli siguió el mismo patrón nacional: solo que se inicia en 1987 con una superficie cultivada de 20 ha, para 1992 eran 109 ha y en 2006 se cultivaron 952 ha. Los rendimientos medios reportados al inicio del cultivo variaron de 6 a 9 t ha⁻¹ hasta 1992, año en el cual se tuvieron rendimientos cercanos a los 11 t ha⁻¹ y a partir de ahí y hasta la fecha se tienen rendimientos alrededor de los 13 t ha⁻¹ (SIACON CEA-SAGARPA, 2007). La siembra de brócoli en Mixquic, no tiene una estacionalidad marcada, prácticamente se lleva a cabo durante todo el año, y es considerado como uno de los principales cultivos, en conjunto con romero (*Suaeda diffusa* W.), espinaca (*Spinacia oleracea* L) y verdolaga (*Portulaca oleracea* L.); con los cuales se integran las principales

rotaciones de cultivo existentes. El sistema de producción de brócoli en Mixquic es uno de los más complejos y diversos (Jiménez y Nuñez, 1993), el cual se caracteriza porque integra prácticas de producción propias del sistema de chinampas, el cual de acuerdo Rojas (1991), es un sistema de producción prehispánico que combina practicas, insumos y maquinaria modernos.

La producción de plántulas se realiza de forma tradicional, en almácigos que se conocen localmente como “*Tlapehuales*”, para su elaboración se emplea una mezcla del lodo de los canales con estiércol, sin caracterizar químicamente, ni recibir un tratamiento previo como lo recomienda Coker y Matthews (1983); a diferencia, el sistema comercial de producción de plántula que es producida en charolas con alvéolos rellenos con turbas *Sphagnum*, comúnmente conocidas como “peat moss” (Ramírez *et al*, 2006). La plántula se extrae del almacigo separando esta con ayuda de una pala de tal forma que queda en la base un cuadro compacto de sustrato, y llamado localmente “*chapín*.” Durante el ciclo de producción, es común el uso de maquinaria, sobre todo en la preparación del suelo. La fertilización es mediante el aporte manual de excremento de res, en pequeños huecos hechos utilizando un tipo de “coa mesoamericana”, a esta práctica se le conoce localmente como mateado. El control de plagas es principalmente químico, el agua utilizada para riego es el agua tratada proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, la cual, en su trayecto hacia las parcelas se mezcla con aguas residuales sin tratar provenientes del canal de Chalco y del drenaje local, según las circunstancias de ubicación de las parcelas respecto a las fuentes de aprovisionamiento con los riesgos que esto implica y genera diferentes tipos y calidades de agua, las cuales en conjunto con otros factores de la producción influyen en el rendimiento, producción y calidad del producto final.

La palabra “calidad” proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es «grado de excelencia o

superioridad» (Kader *et al.*, 1985), por lo tanto constituye un conjunto de características de un producto que sirven para diferenciar unas unidades de otras y que tienen significado en la aceptación del mismo por el consumidor de acuerdo con el Pliego de Peticiones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema, PC-034-2005, (México Calidad Suprema, 2005).

Los parámetros de calidad establecidos para brócoli son entre otros: diámetro de la cabezuela o inflorescencia principal y su grado de compactación y algunos indicadores como: floretes cerrados, cabezuelas de color verde oscuro brillante y cabezas compactas (Cantwell y Suslow, 2007). Por su parte Soto (1990) menciona que el manejo agrícola del cultivo de brócoli debe estar encaminado a desarrollar las características de tamaño, peso, forma, color y aspecto.

La variedad más utilizada en la zona es la variedad "Legend", la cual tiene una buena aceptación por parte de los productores, ya que presenta un "*buen comportamiento*" durante todo el año. Esta variedad se caracteriza de acuerdo con información de la casa comercial por tener buena tolerancia a cenicilla vellosa foliar, una buena posición superior de la cabezuela que facilita la cosecha, además de mostrar granos medianos y "tallos limpios" y atractivos. Esta variedad es excelente para el mercado fresco de manojos (SAKATA, 2005).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar peso, color y perímetro de cabezuela de brócoli como indicadores de agronómicos de calidad de acuerdo con los diferentes tipos de agua utilizados para el riego, en los sistemas de producción de brócoli en Mixquic, D.F., bajo el supuesto que los principales parámetros agronómicos de calidad establecidos para brócoli son aceptables.

7.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en Mixquic, Tlahuac, D.F., ubicado al sureste de la ciudad de México, a una altura sobre el nivel del mar de 2240 m, 19° 13' 28" N y 98° 57' 51" W. Se seleccionaron 28 parcelas de productores, cultivadas con brócoli de la variedad "Legend", por medio de un muestreo estratificado tomando como fuente de variación los diferentes tipos de agua utilizados. La modalidad de uso permitió identificar una variación entre los tipos de agua utilizados los cuales fueron manejados en el análisis como fuentes de variación constituyendo seis tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos analizados en función del tipo de agua utilizada para irrigar las parcelas de brócoli en Mixquic, D.F.

Tratamiento	N	Características del agua
1 Agua tratada canal chinampa (TCC)	5	Agua proveniente de la planta de tratamiento, que permanece estancada en los canales, de donde es bombeada hacia las parcelas
2.-Agua tratada sitio de salida 1 (TS1)	5	Agua del tubo de salida ubicado cerca de los canales secundarios
3.-Agua tratada sitio de salida 2 (TS2)	5	Agua tratada, pero ocasionalmente se utiliza agua sin tratar proveniente del canal de Chalco
4.-Agua tratada canal principal y secundario (TCPYS)	3	Agua tratada almacenada y conducida por los canales principal y secundario de la zona agrícola
5.- Agua tratada+agua negra del drenaje local(T+N)	5	Agua tratada mezclada con agua residual sin tratar
6.- Agua del drenaje local (DL)	4	Agua del drenaje local o residuales sin tratar

Variables evaluadas:

a) *peso de cabezuela*: se cuantificó con una balanza granataria; b) *color*: Se determinó, utilizando la tabla de colores Munsell (1977) para tejido vegetal, considerando los valores básicos de Hue, Croma y Value; c) *perímetro de la cabezuela*: medido con cinta métrica en la sección mayor de las inflorescencia, después de cortar el tallo (Ministerio de economía, Industria y Comercio, 2003); d) *Diámetro de cabezuela*: se calculó con los valores de perímetro de cabezuela, mediante la fórmula de perímetro de una circunferencia; e) *Rendimiento*: se estimó con el peso promedio de cabezuela y la densidad de población y f) *Muestreo y análisis de suelo*: En cada uno de los sitios se tomó e integró una muestra compuesta de suelo, proveniente de la mezcla de 5 submuestras, tomadas en la parcela bajo un muestreo en zigzag. Los análisis de pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y capacidad de intercambio catiónico se hicieron de acuerdo con los métodos propuestos por la American Society of Agronomy and Soil Science Society of America (1996).

A los datos se les realizó un análisis estadístico, se estimaron las medias y varianza de los tratamientos, además se realizaron pruebas de comparación de medias Tukey ($p=0.05$).

7.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las parcelas analizadas tienen un pH medianamente alcalino con valores entre 8.1 y 8.3. Dichos valores son similares a los reportados por Ramos *et al.*, (2001) quienes reportan valores de pH de suelo de 8.3 y 8.5 para la capa arable (0-30 cm) en suelos de Tláhuac.

En el Cuadro 2 se presentan los valores de los parámetros del suelo que fueron evaluados. La conductividad eléctrica varía de 0.65 hasta 5.55 dS m⁻¹. En 12 de los sitios muestreados (42.8 %) se tienen valores de conductividad eléctrica superiores a 2.0 dS m⁻¹, valor establecido como crítico para la categoría de clasificación de salinidad de suelos moderadamente salino. Únicamente un suelo se clasificó en el intervalo de 4.1-8.0 dS m⁻¹ que corresponde a la categoría de suelo salino. El contenido de fósforo en todos los casos se clasificó como alto (NOM-021-RECNAT-2000, 2002). El contenido de materia orgánica en todos los sitios es alto, lo cual puede ser explicado en parte por el mateado (aplicación de abono orgánico en el sitio donde va a ser puesta la planta) y por el aporte del sustrato contenido en cada plántula (chapín).

Cuadro 2. Contenido de materia orgánica, nitrógeno total estimado, fósforo y capacidad de intercambio catiónico en suelos cultivados con brócoli e irrigados con diferentes fuentes de agua.

Tratamientos*	n	M. O. %	N total mg kg ⁻¹	P	CIC cmol kg ⁻¹
Tratada canal chinampa (TCC)	5	13.4 a	0.67 a	58.3 a	40.55 a
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	5	8.13 b	0.41 b	54.9 a	28.89 b
Tratada sitio de salida 1 (TS1)	5	10.59 a	0.53 a	53.5 a	31.47 b
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	3	9.41 a	0.47 a	30.8 a	28.37 b
Tratada + negra (T + N)	5	8.91 b	0.45 b	37.9 a	27.75 b
Drenaje local (DL)	4	7.67 b	0.32 b	45.9 a	28.89 b

*Sitios de cultivo de brócoli irrigado con el tipo de agua especificado. Medias con la misma letra presentan igualdad estadística.

Los suelos en los que se cultiva el brócoli en Mixquic se caracterizan por ser suelos fértiles, con alto contenido de materia orgánica, fósforo y alta capacidad de intercambio catiónico, sin embargo existe un grado de salinidad moderado el cual es necesario estudiar a mayor detalle.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados correspondientes a la caracterización del color de la cabezuela de acuerdo con la Tabla de colores Munsell (1977), para tejido vegetal. Destaca que la mayor parte de las muestras presentan una coloración H 7.5 GY con valores de Value y Chroma (3/4, 4/2 y 4/4), principalmente con un número de muestras en dichas categorías de 4, 3 y 16, respectivamente.

Las cabezuelas provenientes de los sitios irrigados con agua tratada del sitio de salida número dos presentan la mayor variabilidad en color, presentando cuatro tonalidades en la coloración de la cabezuela con valores de Value/Chroma de 3/4, 4/2, 4/4 y 4/6. La variabilidad en la coloración encontrada, puede ser explicada en parte, considerando que el productor retarda la cosecha, con la finalidad de lograr un mejor precio de venta. Shewfelt *et al.*, (1984) realizaron un estudio con muestras de inflorescencias de seis variedades de brócoli fresco, con diferencias visuales de color, en las cuales se midió la concentración de clorofilas totales, encontraron que no hubo diferencias significativas y concluyen que el color es un parámetro que no afecta la calidad.

Cuadro 3. Color de cabezuelas de brócoli de acuerdo con la tabla de colores Munsell, (1977)

Tratamiento	Value/Chroma					
	3/4	4/2	4/4	4/6	5/4	5/8
Tratada canal chinampa (TCC)	2		3			
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	1	2	3	1		
Tratada sitio de salida 1 (TS1)			3			1
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	1		1		1	
Tratada + negra (T + N)		1	3			
Drenaje local (DL)			3			1
Subtotal	4	3	16	1	1	2

El análisis estadístico realizado a las variables: perímetro, diámetro y peso de cabezuela indica diferencias significativas. Los valores más altos reportados para las variables, peso, perímetro y diámetro de las cabezuelas de brócoli corresponden a las provenientes de las parcelas irrigadas con agua tratada más negra.

Los estándares de calidad para el brócoli establecen que el perímetro y peso de las cabezuelas son determinantes para la clasificación y venta del producto, la cual establece los siguientes rangos: a) Calidad para exportación, de 10-17 cm de diámetro y peso de la cabezuela superior a los 250 g, b) Calidad A: diámetro de las cabezas 10-17 cm y peso por debajo de los 125 g y c) Calidad B: cabezuelas con perímetros inferiores a 10cm o superior a 17 cm (Soto, 1991), adicionalmente menciona que las cabezuelas deben de tener excelente compactación y no presentar tallo hueco.

De acuerdo a los resultados encontrados, el perímetro y el peso de la cabezuela no son limitantes de calidad para las clasificaciones establecidas del producto (Soto, 1991; Lazcano *et al.* [1997]). Las

cabezuelas de brócoli con un peso promedio de 250 g por cabezuela y diámetros entre 8 y 20 cm pueden ser consideradas como producto de primera calidad (Lazcano *et al.*, 1997)

Cuadro 4. Perímetro, diámetro y peso de cabezuela de Pella o inflorescencia de brócoli al momento de la cosecha

Tratamientos*	Cabezuela		
	Peso (g)	Perímetro(cm)	Diámetro(cm)
Tratada + Negra (T + N)	395.75 a	46.49 a	14.80 a
Drenaje Local (DL)	391.04 a	45.44 a	14.46 ab
Tratada canal chinampa (TCC)	366.72 a	41.24 a	13.13 ab
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	333.80 a	44.71 a	14.23 ab
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	325.90 a	43.69 a	13.90 ab
Tratada sitio de salida 1 (TS1)	229.02 b	37.62 b	11.97 b
DMS	75.15	4.84	1.12

*Muestras de parcelas irrigadas con diferente tipo de agua; medias con la misma letra son estadísticamente iguales

El rendimiento evaluado presenta diferencias estadísticas con valores entre 13 y 15.5 t ha⁻¹, para los tratamientos TS2; TCPYS, T + N y DL que integran el primer grupo de medias, mientras que los tratamiento TCC y TS1 presentaron valores de 10.5 y 9 t ha⁻¹ respectivamente con igualdad estadística e integrando el segundo grupo de medias. Datos que coinciden con lo reportado por Lazcano, (1997) quien establece un rendimiento medio comercial entre 7 y 12 t ha⁻¹ y BANCOMEXT, (2001) establece 11.6 t ha⁻¹, bajo condiciones de manejo convencional. Villalobos *et al.* (2005) reportan rendimientos comerciales máximos superiores a las 20 t ha⁻¹, mediante el manejo de la humedad a 20 kPa de tensión.

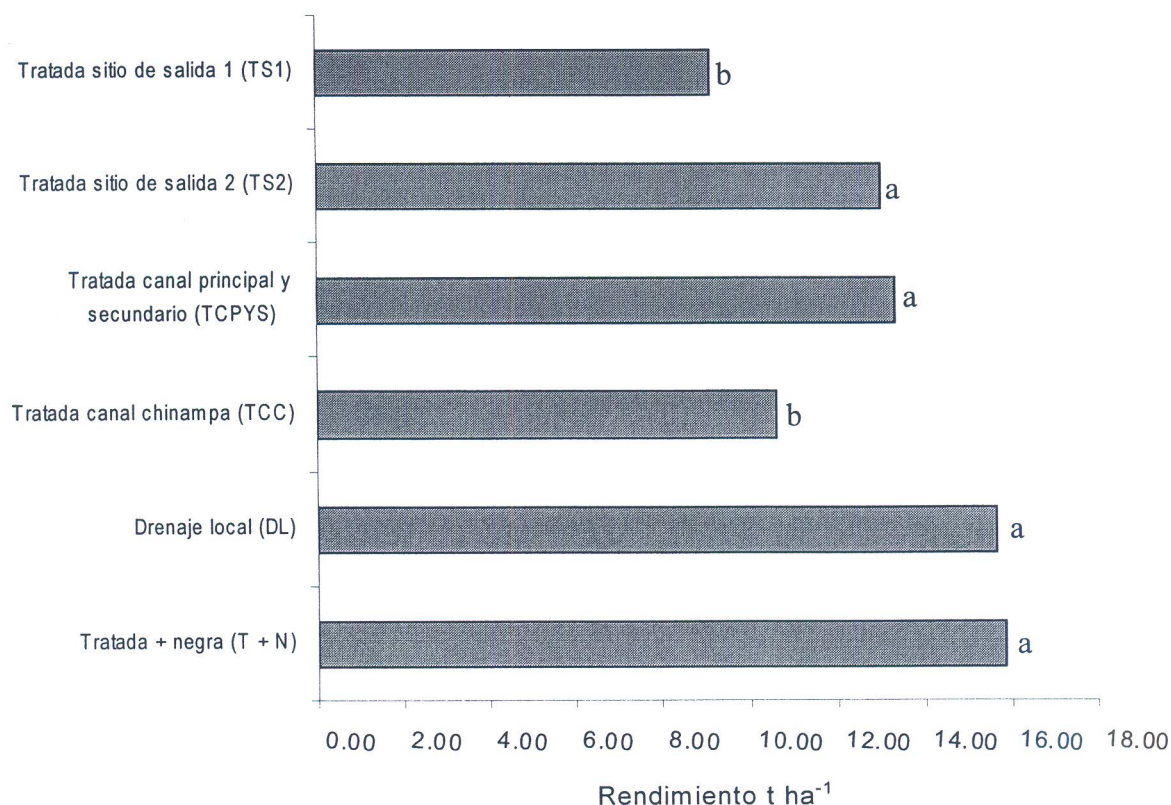


Figura1. Rendimiento de brócoli bajo irrigación con diferentes tipos de agua en parcelas de Mixquic, D. F.

7.6 CONCLUSIONES

Las variables color, peso y perímetro de las cabezuelas indican que el brócoli cumple con las exigencias propuestas por el mercado nacional, sin embargo existen factores, como el tipo de agua utilizada para el riego o el sustrato utilizado para la producción de plántulas que puede limitar la calidad y representar un riesgo potencial para la salud humana.

El rendimiento evaluado en los sitios que integran los diferentes tratamientos, presentan valores que van de 9 a 15 t ha⁻¹, las cuales se encuentran en intervalo de rendimiento reportado para brócoli de manera comercial (7-12 t ha⁻¹) y los tratamientos TS2; TCPYS, T + N y DL presentan valores mayores a este intervalo con rendimientos medios entre 13 y 15.5 t ha⁻¹.

7.7 LITERATURA CITADA

BANCOMEXT. 2001. Base de datos. The world Trade Atlas. México, D. F.

Bujanos M. R. 2000. Manejo integrado de plagas en crucíferas in: Bautista M. N., A. D. Suárez V. y O. Morales (eds). Temas selectos de fitosanidad de hortalizas. Bautista. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 47-61.

Cantwell, M. y T. Suslow. 2007. Indicadores básicos del manejo postcosecha de Brócoli. Postharvest Technology. Universidad de California, Davis E. E. U.U. 4 p.

Coker G. y Matthews J. (1983). Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. Water Science Technology 15, 209-225.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudios, muestreo y análisis. p. 98.

Jiménez O. J. y P. Núñez. 1993. La producción en chinampas diversificadas de San Andrés Mixquic, México, D. F. en Ferrera-Cerrato (ed). Agroecología sustentabilidad y educación. Colegio de Postgraduados. México. pp. 62-74.

Kader, A. A. 1985. Postharvest biology and technology: an overview. En: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Kader, A. A.; R. F. Kasmire; F. G. Mitchel; M. S. Reid; N. F. Sommer and J. F. Thompson. Capítulo 2, pp. 3-7.

Lazcano, F. I., M. McCully, y H. Chirinos. 1997. Los beneficios del uso de $K_2SO_4 - 2 Mg SO_4$. *In: La fertilización balanceada de brócoli en el Bajío de México. 3rd Fertilizer Latin America International Conference.* Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. (ed).

México Calidad Suprema, PC-034-2005. Pliego de peticiones para el uso de la marca oficial en brócoli.

Ramírez, H., J. H. Rancaño, A. Benavides, R. Mendoza y E. Padrón. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 12: 189-195

Ramos B. R., L. Cajuste, D. Flores, y N. García. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35: 385-395.

Rojas R. T. 1991. La agricultura en la época prehispánica en: Rojas T. (Coord): *La agricultura en Tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días.* Editorial Grijalbo. 420 pp. México, D. F.

SAKATA. 2006. Híbridos de Brócoli-Paquetes tecnológicos- <http://www.sakata.com.mx/paginas/ptbrocoli.htm>. (junio 2005).

Shewfelt, R. L., E. K. Heaton, K. M. Batal. 1984. Non destructive colour measurement of fresh broccoli. *Journal of food science* 49 (6): 1612-1613.

SIACON-SAGARPA.2006. Estadísticas agrícolas 2005. (<http://www.nay.sagarpa.gob.mx/seder/entidades/archivos/siacon/siaconagri.php>). 30 de septiembre de 2007.

Soto, J. A. (1990). Efecto de la fertilización nitrogenada y la población sobre el rendimiento y calidad del brócoli (*Brassica oleracea* var *itálica*) durante dos ciclos en Cartago, San José de Costa Rica.

Villalobos, R S., J. Z. Castellanos, L. Tijerina y G. Crespo P. 2005. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo. Terra Latinoamericana 23:321-328.

VIII RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS EN CABEZUELA DE BROCOLI (*Brassica oleracea*) POR CROMATOGRAFIA DE GASES²

² Ma. Antonia Pérez O., Antonio Segura M., Rosario García M., Teresa Colinas L., Mario Pérez G., Antonio Vázquez A. y Hermilio Navarro G. Propuesta para la Revista Internacional de Contaminación.

8.1 RESUMEN

El objetivo de la investigación fue documentar el historial de manejo de plagas y enfermedades del cultivo de brócoli en Mixquic, D.F. y determinar los residuos de plaguicidas organofósforados mediante cromatografía de gases en pella o cabezuela de brócoli lista para su comercialización. Se dio seguimiento a 23 sitios de producción, mediante encuesta al productor sobre el manejo y control de plagas y enfermedades; estos sitios fueron considerados para la evaluación de residuos. Los resultados indican que las plagas de mayor incidencia en el brócoli son: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp* y *Bermisia tabaci*, reportadas por los productores con una frecuencia de 82.5, 80, 80, 70 y 37.7 % respectivamente. El control de las plagas es químico en su totalidad, se utilizan productos organofósforados, piretroides y carbamatos con 1 a 4 aplicaciones durante el ciclo de cultivo. Los residuos de plaguicidas encontrados en el análisis cualitativo con mayor frecuencia son: el malatión, el diazinón y el clorfenvinfos, encontrados en un 70, 65 y 43 % de las muestras respectivamente. En cuanto a las concentraciones se encontró: clorfenvinfos, malatión y diazinón con 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹, seguidos por el fentión y etión con concentraciones medias de 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹. El 87 % de las muestras de brócoli analizadas contienen residuos de al menos un plaguicida organofosforado. La concentración media de diazinón en las muestras es superior a los límites máximos de residuos (LMR), mientras que las concentraciones del resto de plaguicidas están por debajo de las recomendadas, sin embargo si se considera el riesgo sobre la salud humana mediante una análisis de el efecto aditivo de los residuos encontrados, se recomienda tomar las medidas necesarias para que dichas concentraciones no se vean incrementadas, lo cual se puede garantizarse mediante un monitoreo continuo.

Palabras clave: Mixquic, residuos de agroquímicos, contaminación, *Brassica oleracea*

8.2 ABSTRACT

The objective of the research was to document pest handling in the culture of broccoli in Mixquic, D.F. and to determine the residues of organophosphate pesticides by means of gas chromatography and capillary column in head of broccoli ready for its commercialization. Pursuit occurred to 23 sites of production, by means of survey to the producer on the handling and control of pest; in these sites were take for the evaluation of residues. The results indicate that the pest of greater incidence in broccoli is: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp y Bemisia tabaci*, were reported with a frequency of 82.5, 80, 80, 70 and 37.7% by the producers respectively. The control pest is chemical in its totality, using organophosphate, pyrethroid and carbamate products with 1 to 4 applications. The pesticides residues found in the qualitative analysis most frequently are: the malathion, diazinon and clorfenvinfos, found in 70, 65 and 43% of the samples respectively. As far as the concentrations one was: clorfenvinfos, malathion and diazinon with 5.78, 2.67, and 1.16 mg kg⁻¹, followed by fenthion and ethion with average concentrations of 0,041 and 0.024 mg kg⁻¹.

87% of the samples of broccoli analyzed contain one residues organophosphate pesticide. The average concentration of diazinon in the samples is superior to the maxim limit recommended (LMR); whereas those of the rest of pesticides they are below the recommended ones, nevertheless considering the risk on the human health by means of an effect analysis additive of the found remainders, it is recommended to take the necessary measures so that these concentrations are not increased, which is possible to be guaranteed by means of a continuous monitory.

Key words: Mixquic, agrochemical residues, contamination, *Brassica oleracea*.

8.3 INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas desempeñan un papel importante en el control de numerosos insectos, nemátodos, hongos, malezas y otros organismos que compiten con el hombre por productos agropecuarios y forestales (Lagunes y Villanueva, 1994). La actividad agrícola es la que más consume plaguicidas, por lo que se considera que este sector productivo es el de mayor exposición a éstos contaminantes (Pitarch *et al*, 2001). Las formas de exposición a los plaguicidas para los humanos y los animales comprende: la ingesta de alimentos contaminados, la absorción dérmica y la inhalación de vapores emitidos cuando los plaguicidas son rociados en el entorno (Jury *et al*, 1983; Mathies *et al*, 1991).

Los plaguicidas organofósforados cobraron un gran auge después de la prohibición de los plaguicidas organoclorados, y han resultado ser muy eficientes y económicos en el control de plagas (Juan *et al*., 2003); sin embargo, pese a que son menos persistentes en el ambiente, no dejan de representar un riesgo para la salud humana y para el deterioro de los ecosistemas, sobre todo si no se manejan de manera adecuada. De acuerdo con Kegley y Wise, (1998) existe un riesgo importante para varios sectores de la población, por un lado los productores y trabajadores que manejan agroquímicos y cosechan los productos agrícolas, y por otro lado los consumidores donde el sector más vulnerable lo constituyen los niños. Calonge *et al*. (2002) mencionan que los insecticidas organofosforados tienen en la actualidad un papel preponderante como plaguicidas fitosanitarios a pesar de su problemática toxicológica. Su eficacia ha sido demostrada frente a pulgones (áfidos), como el pulgón lanígero del manzano (*Eriosoma lanigerum*), insectos minadores, moscas de la fruta (*Ceratitis capitata*), ácaros, cochinillas, entre otros. Los autores recomiendan campañas de monitoreo periódico que asegure una incidencia mínima de plaguicidas en la salud humana.

En la actualidad existe un gran interés sobre los contaminantes ambientales con relación a la seguridad alimentaria. Los residuos de plaguicidas son considerados como sustancias potencialmente tóxicas, en los alimentos y constituyen motivo de preocupación en los consumidores.

La presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos se debe, principalmente al uso indiscriminado de éstos en la agricultura, la eliminación de los plaguicidas depende de diversos factores como: el crecimiento propio del vegetal, la acción de agentes atmosféricos como el viento y la lluvia, el grado de solubilidad y volatilidad del plaguicida, el tipo de degradación química que sufra y la naturaleza del propio plaguicida (Ortiz *et al.*, 2003); otro factor importante es el intervalo de seguridad recomendado para cada plaguicida.

Investigaciones realizadas desde principios del siglo pasado indican que algunos plaguicidas imitan, incrementan o inhiben la acción de las hormonas, alteran el funcionamiento del sistema endocrino, pueden dañar la salud reproductiva e incluso promover el desarrollo de carcinomas (López *et al.*, 2002). Como consecuencia de esta problemática, las normativas legales respecto al uso de plaguicidas son cada vez más estrictas, en particular en Estados Unidos, Canadá y países de la Unión Europea. Dogheim *et al.* (1999) consideran que el monitoreo de residuos en los productos puede ser un indicativo de la exposición de una población a los mismos, en particular si se trata de corregir o predecir las consecuencias a largo plazo. En México existen estudios puntuales sobre esta problemática, sin embargo no existe seguimiento ni aplicación de la normativa existente.

El cultivo del brócoli en Mixquic, D.F., constituye el cultivo principal, se siembra en cerca de 400 ha y hasta en tres ciclos al año, en la misma parcela. Es atacado por varias plagas, las cuales son controladas mediante la aplicación de productos organofosforados, piretroides y carbamatos principalmente, solos o en mezclas, sin existir un programa de manejo establecido. Las aplicaciones de estos productos dependen de

la presencia de las plagas (comunicación personal, productores de la zona y personal técnico de la Junta Local de Sanidad Vegetal de Mixquic, D.F., 2005).

El objetivo de este estudio fue documentar el control de plagas en el cultivo de brócoli en Mixquic, D. F. y evaluar la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuelas de brócoli al momento de la cosecha.

8.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la comunidad de Mixquic, Tlahuac, D. F., ubicada al sureste de la ciudad de México, a una altura sobre el nivel del mar de 2240 m, 19° 13' 28" N y 98° 57' 51" W.

Historial de uso y manejo de plaguicidas

El historial de manejo de las parcelas se elaboró mediante visitas continuas y la aplicación de entrevistas a una muestra de 23 productores y al técnico de la Junta Local de Sanidad Vegetal. Las variables consideradas fueron: considerando: plaguicida (s) utilizado (s), dosis de aplicación y frecuencia de aplicación.

Muestreo para análisis de residuos de plaguicidas

Se consideraron para el estudio 23 parcelas, de las cuales 22 se ubicaron en Mixquic y una en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, mediante un muestreo en zig-zag para obtener muestras compuestas de pella ó cabezuela de brócoli (cinco a seis cabezuelas por parcela de 1 ha

aproximadamente) tomadas al momento de la cosecha. El material vegetal fue transportado al laboratorio en condiciones de refrigeración, donde las pellas fueron cortadas y homogeneizadas para constituir una muestra representativa de cada parcela.

Extracción

La extracción se realizó por duplicado, se emplearon 100 g de material vegetal, el cual fue licuado con agua destilada relación 1:1 y 100 mL de acetona, mediante agitación durante toda la noche a 250 rpm. La separación de sólidos se hizo con un embudo y papel filtro Watman No. 2 aplicando una capa de celita aplicada con agua de manera homogénea (15 g de celita y 20 mL de agua). La muestra se filtró con ayuda de vacío y se aplicó un segundo lavado.

La separación de fases se realizó mediante dos lavados con 100 mL de benceno:diclorometano relación 4:1, más 400 mL de solución salina al 5 %. La fase orgánica se hizo pasar por un embudo de vidrio que contenía un papel filtro y sulfato de sodio anhidro para eliminar el exceso de agua. La evaporación del disolvente se realizó mediante el empleo de un rotavapor a una temperatura de 45°C, hasta alcanzar un volumen de 5 mL.

La purificación de la muestra se realizó mediante vacío, para ello se empleo una columna de celulosa microcristalina y carbón activado en una relación 9:1, como eluyente se utilizó 150 mL de benceno. La muestra recuperada fue concentrada a sequedad mediante el uso de rotavapor y el extracto se aforó a 5 mL con acetato de etilo.

Los análisis cualitativo y cuantitativo se realizaron en un cromatógrafo de gases, Claurus 500 Perkin-Elmer, equipado con detector termoiónico (nitrógeno-fósforo), un inyector automático (Perkin-Elmer), operado en modo split less con un volumen de muestra de 1.0 µL; una columna capilar Elite 1 de 15 X 0.25 mm. ID X 0.25 µm de espesor de la película. Se utilizó helio como gas de arrastre, con una tasa de flujo de 17 mL y una rampa de temperatura de 80 a 280° C. La confirmación se realizó con el mismo detector empleando una columna ZB-1701 de 30 X 0.25 mm. ID X 0.25 µm de espesor de la película. La identificación cualitativa de los residuos se realizó mediante la comparación de los tiempos de retención de los compuestos en relación con las mezcla multiresiduos de estándares de productos organofósforados y se empleo como control interno al paratión etílico. La cuantificación, se realizó mediante curvas de calibración de cada uno de los plaguicidas detectados (Luke y Doose, 1983).

8.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Plagas de brócoli y control

En el Cuadro 1 se presentan las principales plagas y frecuencias reportadas por los productores para el cultivo de brócoli en Mixquic, D.F, durante el ciclo de verano 2005. Destaca que las plagas que más comúnmente atacan el brócoli son: el pulgón de la col, el gusano falso medidor, el gusano del corazón de la col y la mariposita blanca de la col. Estos resultados coinciden con los reportados para este mismo cultivo en Acatzingo, Puebla por Barrios *et al.*, (2004), quienes reportan a *B. brassicae* (49.65 insectos/planta), *P. xylostella* (4.5 insectos/planta) y *C. consueta* (0.48 insectos/planta) como las especies de plagas más abundantes.

Cuadro 1. Plagas del brócoli, en Mixquic, Tlahuac, D.F. y frecuencia de incidencia reportado por productores

Principales plagas	Frecuencia (%)
Pulgón de la col (<i>Brevicoryne brassicae</i>)	82.5
Mosca Blanca (<i>Trialeurodes</i> sp y <i>Bermisia tabaci</i>)	37.5
Gusano falso medidor (<i>Trichoplusia ni</i>)	80.0
Gusano del corazón de la col (<i>Copitarcia consueta</i>)	80.0
gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)	2.0
Mariposita blanca de la col (<i>Artogeia rapae</i>)	70.0
Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)	9.1
Palomilla dorso de diamante (<i>Plutella xylostella</i>)	2.0

El control de las plagas en la totalidad de los casos se realiza de forma química con productos químicos (Cuadro 2). El número de aplicaciones de acuerdo con los datos proporcionados por el productor obedece casi siempre a la presencia de la plaga, se reportan una, dos y hasta cuatro aplicaciones en proporción de 35, 61 y 4 % de los productores respectivamente.

Cuadro 2. Productos utilizados en el control de plagas de brócoli en Mixquic, D.F.

Producto	Ingrediente activo	Grupo de plaguicidas	Toxicidad ¹	Frecuencia (%)
Foley	Paratión metílico	Organofosforado	Extrema	34.78
Folidol	Paratión metílico	Organofosforado	Extrema	8.70
Tamaron	Metamidofos	Organofosforado	Alta	8.70
Diazinon/Basudin	Daizinón	Organofosforado	Moderada	26.09
Paratión metílico	Parathión metílico	Organofosforado	Extrema	21.74
Karate	Lambda cyalotrina	Piretroide	Moderada	39.13
Pirimor	Pirimicarb	Carbamato	moderada	65.22

¹NOM-045-SSA1-1993-Salud Ambiental

La guía de plaguicidas autorizados de uso agrícola (CICLOPLAFEST, 2005), recomienda para el control de plagas del brócoli los productos que se señalan en el Cuadro 3. Adicionalmente se presenta el intervalo de seguridad y el límite máximo de residuos de estos productos que establece la guía de plaguicidas y los reportados por el Codex alimentario.

Comparativamente los límites máximos de residuos del Codex alimentario son más bajos, dadas las exigencias internacionales en el control de los mismos y para algunos productos no se reportan los límites establecidos, debido a que son plaguicidas prohibidos en algunos países, como es el caso del parathión metílico en Estados Unidos.

Cuadro 3. Plaguicidas autorizados para el cultivo de brócoli.

Plaguicidas autorizados	LR † mg kg ⁻¹	LR ††	Intervalo de Seguridad* Días
Diazinon	0.7	0.5	5
Dimetoato	2	-	7
Endosulfan	2	0.5	7
Fenvalerato	2	2	3
Fosfamidon	0.5	-	3
Malatión	8	5	3
Metamidofos	1	-	14
Metomilo	3	-	3
Paratión metílico	1	0.2	21
Endosulfan +Paration metilico	2+1	-	7
Carbarilo+ Endosulfan	10+2	-	7
Azadiractina	Exento	-	Sin límite
Carbarilo	10	-	3
Azinfos metílico	2	1	15
Permetrina	1	2	1
Lambda cyalotrina	0.4		1
Naled	1		7

LR= Límite de residuos, † CICLOPLAFEST, (2005) y †† FAO/OMS, (2006)

Análisis cualitativo de presencia de residuos de plaguicidas órganofosforados

La presencia de residuos de plaguicidas órganofosforados se realizó por medio de los tiempos de retención de cada uno de los plaguicidas contenidos en la mezcla multiresiduo de estándares utilizados y los tiempos de retención de los residuos en la muestra.

En la Figura 1, se presentan los resultados correspondientes a la presencia de residuos órganofósforados, en la totalidad de las muestras. Es importante señalar que se detectaron algunos plaguicidas no reportados por el productor. Los residuos de plaguicidas encontrados con mayor frecuencia son: el malatión (70 %), el diazinón (65 %) y el clorfenvinfos (43 %).

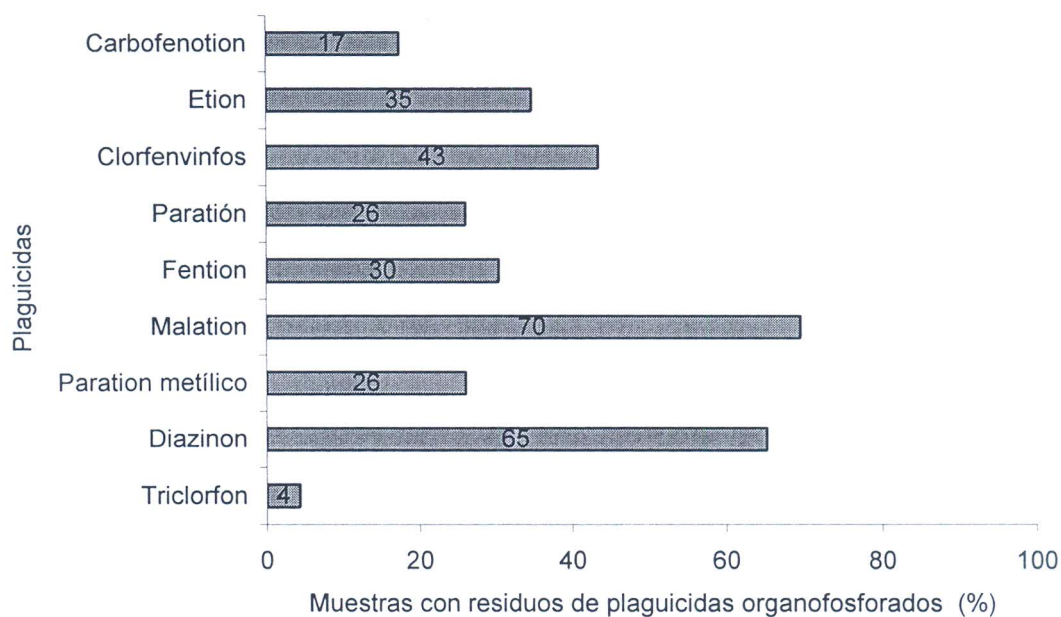


Figura 1. Residuos de plaguicidas órganofósforados detectados en muestras de brócoli provenientes de Mixquic, D.F.

En la Figura 2 se muestra el número de residuos detectados de manera cualitativa en las muestras. Destaca que en solo tres de las 23 muestras (13 %) no se detectan residuos de plaguicidas y en el resto se detecta desde un residuo (13 %), dos (17.4 %), tres (4.3 %), cuatro (13 %), cinco (17.4 %), seis (4 %) hasta siete residuos de productos organofosforados (17.4 %).

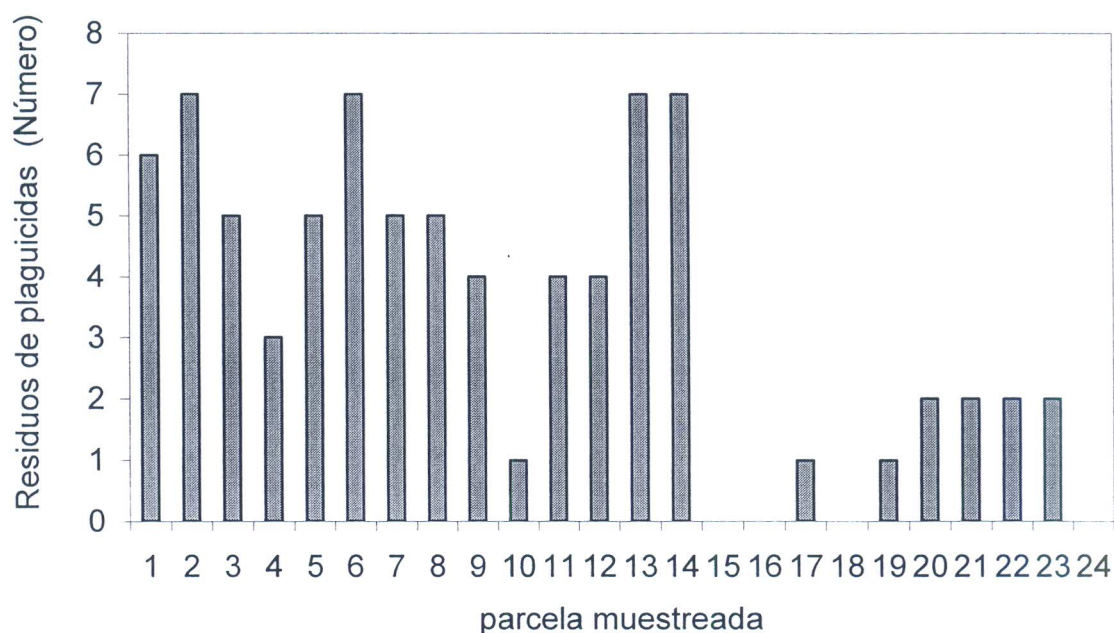


Figura 2. Número de residuos de plaguicidas organofosforados detectados en muestras de brócoli provenientes de Mixquic, D.F.

Tiempos de retención

Los tiempos de retención para los diferentes plaguicidas, bajo las condiciones descritas en materiales y métodos se presentan el Cuadro 4. Destaca la consistencia en los tiempos de aparición de los compuestos y el orden de los mismos para ambas columnas.

Cuadro 4. Tiempos de retención de residuos organofosforados analizados por cromatografía de gases, con dos columnas capilares

Plaguicida	Tiempo de retención (min.)	
	Columna capilar Elite 1 de 15 X 0.25 mm. ID X 0.25 μ m de espesor de la película	Columna ZB-1701 de 30 X 0.25 mm. ID X 0.25 μ m de espesor de la película
Diclorvos	7.45	3.17
Dioxatión	14.22	6.05
Diazinón	14.89	6.16
Disulfotón	15.1	6.23
Malatión	17.12	7.25
Fentión	17.34	7.38
Paratión metílico	17.44	7.74
Clorfenvinfos	18.24	8.0
Etión	20.10	10.36
Carbofenotión	20.60	10.93

La Figura 3 (a y b) muestra cromatogramas multiresiduo con estándares organofosforados a una concentración de $1\mu\text{g g}^{-1}$ con detector NPD, en las dos columnas analizadas. La Figura 3b muestra un cromatograma correspondiente a una muestra de brócoli, en ella se observa un pico bien definido coincidente con los tiempos de retención del malatión de la Figura 3a y otros dos picos coincidentes con los tiempos de retención de clorfenicol y con etion respectivamente pero de tamaño pequeño, lo cual probablemente se deba a las bajas concentraciones de éstos compuestos en la muestra.

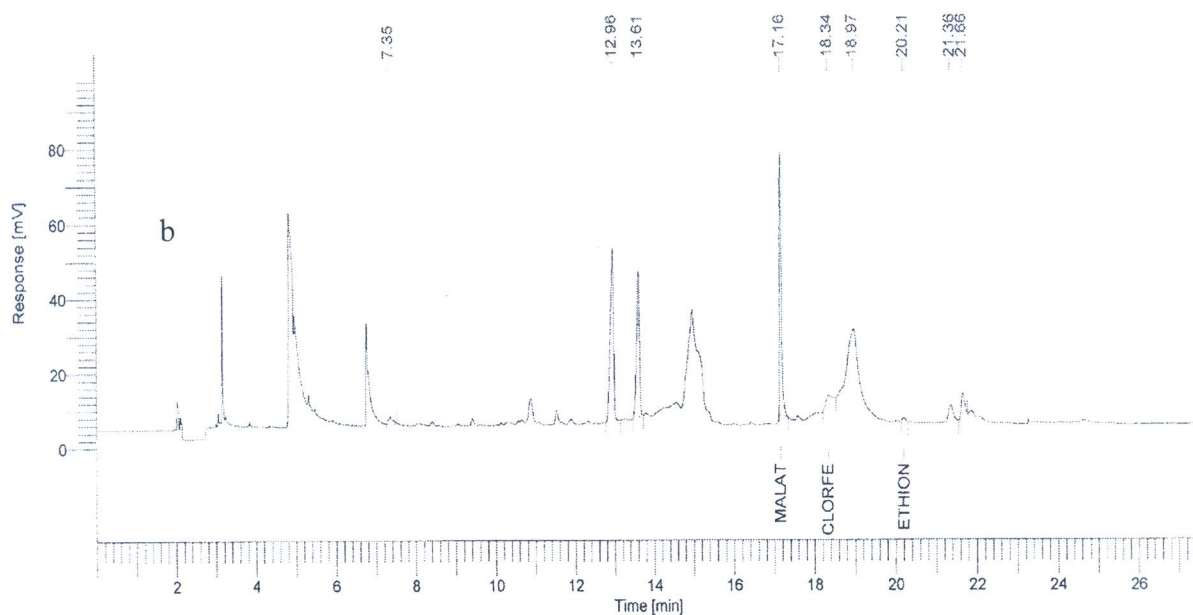
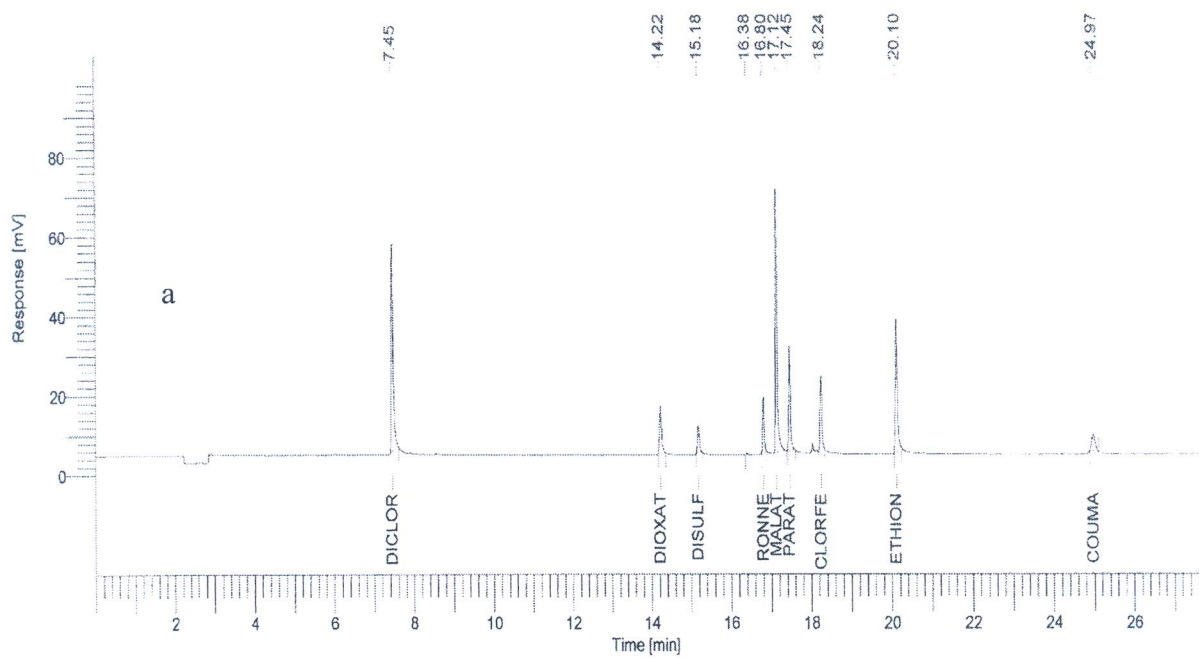


Figura 3 (a y c). Cromatograma multiresiduos de estándares organofosforados y cromatograma correspondientes a una muestra de brócoli proveniente de Mixquic.

En la Figura 4a se muestra un cromatograma correspondiente a una muestra de brócoli, la cual tiene dos picos bien definidos, coincidentes con los tiempos de retención del malatión y diazinón de la Figura 4b analizados con la columna dos, descrita en materiales y métodos. El resto de los picos de los

cromatogramas correspondientes a la muestra de brócoli no pudieron ser asignados a ninguno de los esteres fosfóricos analizados en esta investigación.

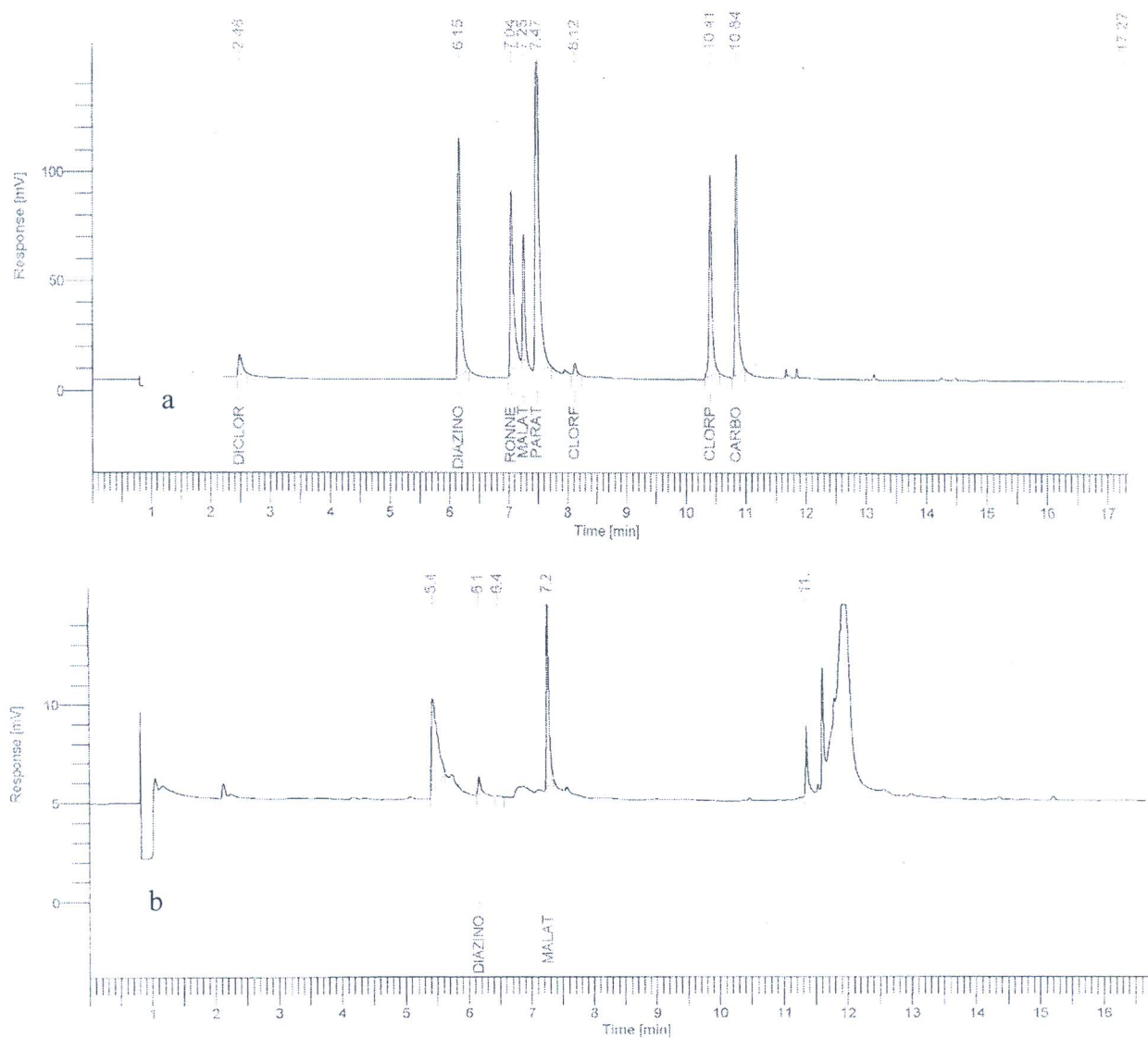


Figura 4 (a y b). Cromatograma multiresiduos de estándares organofosforados y cromatograma correspondientes a una muestra de brócoli proveniente de Mixquic.

El tiempo de retención del paratión metílico es muy similar con el reportado por Garrido *et al.* (2006), quienes mencionan como tiempos de retención a un intervalo que va de 7.61 a 7.69 min. Para diazinón el tiempo de retención encontrado es de 6.14 minutos en la columna dos que es superior al tiempo de retención de 5.32 minutos que reportan Valenzuela, *et al.*, (2006).

Análisis cuantitativo

Los residuos de plaguicidas encontrados en las muestras analizadas en orden de importancia considerando la concentración media son el clorfenvinfos, malatión y diazinón con 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹, seguidos por el fentión y etión con concentraciones medias de 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹, respectivamente. Algunos de los plaguicidas identificados en el análisis cualitativo ya no aparecen en el análisis cuantitativo, debido a que sólo aparecieron en una de las columnas ó bien la concentración fue muy baja.

La concentración media de diazinón en las muestras es superior a los límites máximos de residuos (LMR) recomendados en el manual de plaguicidas autorizados por CICLOPLAFEST, 2005.

Las concentraciones medias de residuos de malatión y de paratión metílico están por debajo de las recomendadas por CICLOPLAFEST, 2005.

Los resultados del análisis multiresiduos muestran presencia de plaguicidas no reportados por el agricultor, lo cual pueda deberse a aplicaciones en parcelas cercanas, o provenir de alguna otra fuente

de contaminación, como es el uso de mezclas de plaguicidas mencionados en general, pero no reportado en esta investigación.

El análisis de los residuos de plaguicidas analizados de manera individual indican que están por debajo de los límites establecidos para cada uno de ellos, sin embargo considerando el consumo total de residuos provenientes de muestras que contienen residuos de varios tipos de plaguicidas, el consumo puede ser significativo. En este sentido y de acuerdo con los resultados encontrados se tienen consumos potenciales de hasta 14 mg kg^{-1} (Figura 5).

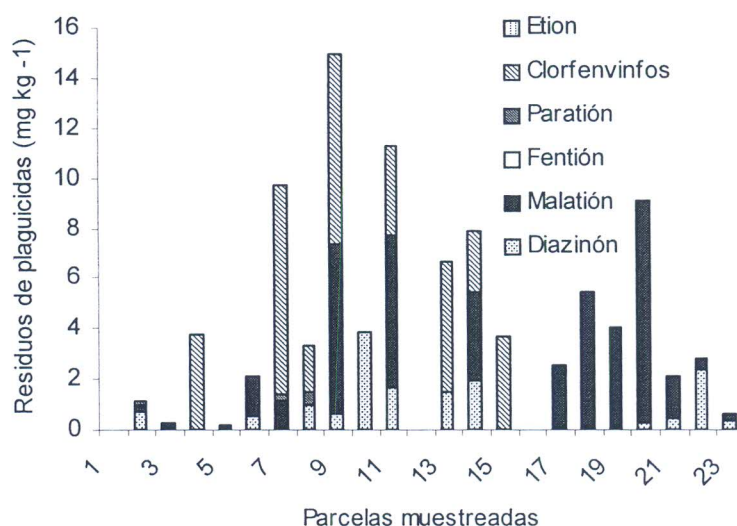


Figura 5. Contenido de residuos de plaguicidas en muestras de brócoli cultivado en Mixquic, D.F.

Considerando los resultados encontrados, resulta necesario que se tomen en cuenta las siguientes acciones: controlar plagas mediante un manejo integrado, considerar en la elección de productos químicos que estén autorizados para el cultivo, la eficacia, los costos y el intervalo de seguridad del

mismo además de tener una programación de tal forma que no se induzca resistencia y no sobrepasar la dosis indicada en la etiqueta; así mismo es importante un monitoreo continuo de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas para asegurar una incidencia mínima en la salud humana.

8.6 CONCLUSIONES

Las plagas de mayor incidencia en el brócoli en Mixquic son: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp* y *Bermisia tabaci*, reportadas por los productores con una frecuencia de 82.5, 80, 80, 70 y 37.7 %, respectivamente.

La totalidad de los productores entrevistados realizan el control de plagas de brócoli mediante la aplicación de productos químicos, entre los cuales destacan los de los grupos organofosforados, piretroides y carbamatos, realizando de una a cuatro aplicaciones por ciclo, las cuales responden a la incidencia de la plaga.

El 87 % de las muestras de brócoli analizadas contienen residuos de al menos un plaguicida organofosforado.

La concentración media de diazinón en las muestras es superior a los LMR recomendados por CICLOPLAFEST, 2005; mientras que las del resto de plaguicidas están por debajo de las recomendadas, sin embargo se recomienda tomar las medidas necesarias para que dichas concentraciones no se vean incrementadas, lo cual se puede garantizar mediante un monitoreo continuo.

8.7 LITERATURA CITADA

Barrios D. B., R. Alatorre, N. Bautista y H. Calyecalc. (2004) Identificación y fluctuación poblacional de plagas de col (*Brassica oleracea* var. capitata) y sus enemigos naturales en Acatzingo, Puebla. *Agrociencia* 38 (2): 239-248.

Calonge M, Pérez-Pertejo Y., Ordóñez C., Reguera R, Balaña-Fouce R y Ordóñez D. (2002). Determinación de residuos de siete insecticidas organofosforados en frutas mediante cromatografía de gases con detector de nitrógeno fósforo y confirmación por espectrometría de masas. *Toxicology* 19:55-60

Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias Tóxicas (CICLOPLAFEST), (2005). *Catalogo Oficial de Plaguicidas*. México D.F. p: 81-84.

Dogheim SM, Gad Alla SA, el Marsafy AM, Fahmy SM (1999). Monitoring pesticide residues in Egyptian fruits and vegetables in 1995. *J. AOAC Int.* 82: 948-955.

FAO/ OMS. (1995). Secretariat of the Codex Alimentarius Comision. Roma, Italia. 1 pg
http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-e.jsp

FAO/ OMS. (2006). Pesticide residues in food. Maximum residue limits. Secretariat of the Codex Alimentarius Comisión. Roma, Italia. 1 pg. http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-e.jsp

Garrido Frenich A., F. J. Arrebola Liebanás; F. Egea González y J. L. Martínez Vidal. (2006). Análisis de residuos de plaguicidas en muestras vegetales de carácter graso mediante técnicas cromatográficas de gases y de líquidos con sistemas de detección de espectrometría de masas. *Foro de la Tecnología Oleícola y la Calidad*. 7 pg.
<http://www.expoliva.com/expoliva2003/symposium/comunicaciones/TEC-31-Texto.pdf>

Juan A., Pico Y. y Font G. (2003). Revisión de los métodos de determinación de residuos de plaguicidas organofósforados en alimento. *Revista Toxicología* 20: 166-175.

Jury W.A., Spencer W. F. y Farmer W. J. (1983). Use of models for assessing relative volatility. Mobility and persistence of pesticides and other trace organics in soil systems en : *Hazards assessment of Chemical*. Academic Press, San Diego. Vol 2: 1-43.

Kegley S. and L. J. Wise. (1998). *Pesticides in fruits and vegetables*. Editorial University Science books. University of California, Berkeley. 114 pp

Lagunes T. A. y Villanueva, J. A. (1994). *Toxicología y manejo de insecticidas*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México 264 pp.

López C. L., M. López C., L. Torres S., A. Blair, M. Cebran G. y M. García R. (2002). FERUM levels of beta-hexachlorocyclohexane, hexachlorobenzene and polichlorinated biphenyls and breast cancer in Mexican women. *European Journal cancer Prev*. 11:1-8.

Luke M. A. and Doose G. M. (1983). A modification of the Luke multiresidues procedure for low moisture, nonfatty product. *Bull Environmental contamination toxicology* 30: 110-116

Mathies M., H.Behrendt y S.Trapp. (1991). Modeling an model validation for exposure assessment of the terrestrial environment. En: *Pesticides Chemistry* (H. Frehse Ed.). Verlag Chemi. New York. Pp 433-444.

Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA1-1993. Subsecretaria de Salud Ambiental (1995), Plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado. México.

Ortiz B. F., M. López, M. Fernández, Ma. del C. Yruela, J. A. Navas, J. López, J. Lirola, A. M. Morales, J. P. García, A. Martín, J. M. Alfonso, R. A. Martín, F. Marqués, J. Ejido y E. Caballero.(2003) *Aplicación de plaguicidas. Nivel Cualificado*. Junta de Andalucía-Consejería de Agricultura y Pesca. 2da Edición. Andalucía, España. 235 p.

Pitarch A. E., F. J. López, R. Serrano y F. Hernández (2001). Multiresidue determination of organochlorine in human biological fluids by capillary gas chromatography. *Fresenius Journal Analysis Chemical*. 369: 502-509

Valenzuela Q., R.Armenta C., E. Moreno V. L. Gutiérrez C., P. Grajeda C. y C. Orantes A. (2006). Optimización y validación de un método de dispersión de matriz en fase sólida para la extracción de plaguicidas organofosforados en hortalizas. *Revista de la Facultad de Agronomía. LUZ*, 23: 464-467.

IX CONTENIDO DE Pb, Cd, Ni y Zn EN SUELO DE MIXQUIC, D. F. Y SU TRANSFERENCIA A LA
PELLA DE BROCOLI (*Brassica oleracea var itálica*)³

³ Ma. Antonia Pérez Olvera, Rosario García Mateos, Antonio Vázquez Alarcón, Teresa Colinas León, Mario Pérez Grajales y
Hermilio Navarro Garza.

Aceptado: Revista TERRA Latinoamericana

9.1 RESUMEN

Se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica Pb, Cd, Ni y Zn, en suelos y pellas de brócoli. Las muestras se tomaron en 28 parcelas irrigadas con agua provenientes de diversas fuentes: Tratada del canal de las chinampas (TCC); Agua tratada sitio de salida 1 y 2 (TS1 y TS2); Tratada canal principal y secundario (TCPYS); Agua tratada mezclada con negra (T+N); Residual del drenaje local (DL) y Agua blanca o testigo (BCA). Se estimaron las tasas de transferencia suelo-pella y se analizó: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, y capacidad de intercambio catiónico en suelo. Los resultados muestran que los suelos presentaron concentraciones de Zn, Pb, Ni y Cd que varían de 1.90 a 11.02, 3.74 a 6.42, 0.65 a 1.36 y 0.08 a 0.27 mg kg⁻¹ respectivamente dependiendo de la ubicación y de la fuente de agua utilizada para su riego. Para las pellas los contenidos van de 30.60 a 47.16, de 0.8 a 4.49, de 0.77 a 1.03 y de 0.5 a 4.51 mg kg⁻¹ para Zn, Pb, Ni y Cd respectivamente. En la pella de brócoli las concentraciones de Pb, Ni y Cd fueron mayores en el tratamiento TCC. Las tasas de transferencia estimadas, reflejan que las concentraciones en pella son superiores a las del suelo sobre todo para Cd, Ni y Zn, lo que indica que existen otras fuente de estos metales para el cultivo. Las características químicas de los suelos influyen en la dinámica de los metales pesados en el suelo y en la pella de brócoli. Los niveles de Zn en la pella están dentro del intervalo que se establece para este cultivo. La ingesta de Pb y Cd, se encuentra en niveles inferiores a los establecidos por la FAO/OMS, considerando un consumo per cápita estimado de brócoli de 2.8 kg/habitante/ año.

Palabras clave: metales pesados, *Brassica oleraceae*, tasas de transferencia, contaminación, riego con aguas residuales

9.2 SUMMARY

By atomic absorption spectrometry was quantified Pb, Cd, Ni, and Zn in soils and broccoli heads. The samples were taken from 28 plots irrigated with water from different origins: treated water from the chinampa channel (TCC); treated water at exit point 1 and 2 (TS1 and TS2); treated water from main and secondary canals (TCPYS); treated water mixed with sewage water (T+N); residual water from the local sewer (DL), and fresh water or control (BCA). Soil-head transference rates were estimated; and pH, electric conductivity, organic matter, nitrogen, and capacity of cationic exchange in the soil were analyzed. The results show that the soils display concentrations of Zn, Pb, Ni, and Cd varying from 1.90 to 11.02, 3.74 to 6.42, 0.65 to 1.36, and 0.08 to 0.27 mg kg⁻¹, respectively, depending on location and water source used for irrigation. For the broccoli heads, concentrations range from 30.60 to 47.16, from 0.8 to 4.49, from 0.77 to 1.03, and from 0.5 to 4.51 mg kg⁻¹ for Zn, Pb, Ni, and Cd, respectively. In broccoli heads the concentration of Pb, Ni, and Cd was greater in the TCC treatment. The transference rates found show that concentrations in the broccoli head are greater than those found in the soil, especially for Cd, Ni, and Zn indicating that the source of these metals for the crop can be: the soil, sediments from the canals, combustion from vehicles, fertilizers, and agro-chemicals. There is a high degree of correlation between the chemical characteristics of the soils and the content of heavy metals in the soil and the broccoli head, especially in organic matter, nitrogen, and capacity of cationic exchange. The Zn levels of the head are within the range established for this crop. Intake of Pb and Cd is below the acceptable levels established by the FAO/WHO, considering a per capita consumption estimate of 2.8 kg/person/year

Key words: Heavy metals, *Brassica oleracea*, transference rates, contamination, wastewater irrigation.

9.3 INTRODUCCIÓN

La reutilización de las aguas residuales es una práctica mundialmente extendida, debido principalmente a: una actitud conservacionista y a la protección ambiental, donde países como Alemania, Australia, Canadá, España o Estados Unidos, le dan un tratamiento purificador al agua residual y luego la reciclan en pequeñas cantidades. Usándola en cuerpos de agua superficiales, riego de áreas verdes y de cultivos que no representan riesgo para consumo humano; o bien a una necesidad de agua para la sobrevivencia o el desarrollo, como es el caso de Brasil, Chile, India, Israel, Marruecos, México o Perú, donde el agua residual tratada y sin tratar se reutiliza en actividades agrícolas o acuícolas, fomentando así el desarrollo local o regional (Garza, 2000).

Las aguas residuales tratadas y sin tratar son una fuente de riego, y de nutrimentos para los cultivos, entre los nutrientes que aporta se encuentra el nitrógeno, fósforo y potasio, lo que permite a los agricultores reducir y a veces eliminar el uso de fertilizantes. La actividad agrícola en algunas Delegaciones del Distrito Federal y varios municipios en el Estado de México e Hidalgo, dependen en gran medida de las aguas residuales tratadas y sin tratar que se producen en la zona metropolitana de la ciudad de México.

La actividad agrícola en Mixquic es muy importante desde el punto de vista económico y ecológico, genera recursos y empleo, los cultivos que destacan son: brócoli (*Brassica oleraceae*) y romero (*Suaeda difussa*), sobre todo por la superficie cultivada. El primero con producción de hasta 100 t día⁻¹ en verano, representa cerca del 30 % del brócoli que se distribuye en la Central de Abasto del Distrito Federal. El segundo es un producto endémico de la región, que se comercializa en dos épocas del año (semana santa y navidad) (INEGI, 1993). Ambas especies son irrigadas con agua tratada proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, ésta agua se mezcla en algunos sitios con aguas residuales sin tratar provenientes del

Canal de Chalco y del drenaje local, lo que confiere ciertas limitaciones para su uso. La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (2000) reporta que dicha agua contiene Pb y Cr en concentraciones de 0.069 y 0.056 mg L⁻¹, respectivamente. Mientras que el Na se encuentra en 75.72 mg L⁻¹, HCO₃⁻¹ y cloro en concentraciones de 165.96 y 57.16 mg L⁻¹ respectivamente, lo que a largo plazo puede constituir un problema de contaminación del suelo y de los productos agrícolas que se obtienen al regar con esa agua.

Páez *et al.* (2001) mencionan que los organismos expuestos a metales pesados, pueden acumularlos en sus tejidos a concentraciones más altas que las que normalmente se encuentran en el ambiente. Iretskaya y Chien (1999), mencionan que los metales pesados pueden ser transferidos a las partes comestibles de los cultivos y que la capacidad de absorción es variable, así mismo mencionan que las cantidades mayores de metales pesados se acumulan en las hojas. Los mismos autores señalan que los contenidos más bajos se encuentran en las semillas y que la absorción de metales pesados por las plantas, sobre todo cadmio y plomo varía de acuerdo con el pH del suelo.

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (Baird, 1999). La persistencia de metales pesados en los suelos es mucho mayor que en cualquier otro medio de la biosfera, la cual resulta virtualmente permanente (Méndez, *et al.*, 2000). Ramos *et al.* (2001) mencionan que los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante el consumo por las plantas y la erosión entre otros procesos.

Puschenreiter *et al.* (1999) Concluyen que los suelos urbanos con bajos niveles de contaminación de metales pesados pueden ser usados sin riesgos para la horticultura y la agricultura, si se toman las debidas precauciones; por el contrario Birley y Lock (2000) argumentan que se sabe muy poco sobre el efecto

crónico en la salud por el consumo de pequeñas cantidades de metales pesados y por lo tanto, se necesita mayor investigación.

McBride (1995) menciona que debido a la toxicidad de ciertos metales pesados y elementos traza para las plantas y los animales que los consumen hacen necesario que se realicen estudios a través del tiempo para evitar cualquier tipo de riesgo ambiental. (Walter *et al.*, 2003), fundamentan que la determinación de metales pesados totales en el suelo puede ser una variable útil para estimar la contaminación del suelo, sin embargo para evaluar posibles riesgos sugieren la cuantificación de la fracción extractable.

El aspecto de los metales pesados se ha convertido en un tema actual desde el punto de vista ambiental, como el de la salud pública, debido a que los daños que se causan son severos, aunque en la mayoría de las ocasiones ausentes de síntomas. Pese a esto, las autoridades ambientales y de salud, en los últimos años han puesto su atención en minimizar la exposición de la población a estos metales tóxicos, en particular de la población infantil (Valdés y Cabrera, 1999).

Ramos, *et al.*, (2001) reportan la presencia de metales pesados en suelos de chinampa de la zona de Tlahuac en la secuencia siguiente: Pb, Ni, Zn, Cu, Cr y Cd y concluyen que los metales pesados, sales y sodio tienden a concentrarse en la parte superficial del suelo, así como en los cultivos, cuando el riego por aspersión con agua de los canales que rodean a las chinampas se práctica durante largos periodos de tiempo.

De esta manera, en países desarrollados como Estados Unidos y los países europeos se han establecido normas y límites máximos permisibles de estos compuestos en los productos de consumo humano y

animal, los cuales son evaluados como mecanismo de control de calidad en los productos que importan de otros países.

En un estudio realizado por Quintos y Quispe, (2004), en las áreas periurbanas de la ciudad de México que incluyen Mixquic, enfatizan la falta de información y de estudios en la zona y concluyen que es necesario realizar investigación sobre la calidad de los suelos y del agua; del impacto ambiental y de los sistemas de producción

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) cuantificar las concentraciones de Zn, Pb, Cd y Ni en suelo y pella de brócoli, 2) Determinar las tasas de transferencia de dichos metales, desde el suelo hacia la pella, y 3) Evaluar un escenario de riesgo en relación al consumo *per cápita* del brócoli en función de los límites permisibles de consumo de cada metal.

9.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la comunidad de Mixquic, Tlahuac, ubicada al sureste de la ciudad de México, a una altura sobre el nivel del mar de 2240 m, 19° 13' 28" LN y 98° 57' 51" LW. Los tipos de suelos presentes en el ejido son de tipo Gleysol háplico y Luvisoles eutricos (INEGI, 1980).

Se seleccionaron 28 parcelas de productores, de aproximadamente una hectárea cada una (Figura 1), cultivadas con brócoli e irrigadas con aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella o bien con agua tratada proveniente del mismo sitio, pero mezcladas con aguas residuales del Canal de Chalco y/o con aguas del drenaje local, se analizó también una parcela de observación cultivada con brócoli en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, irrigada con agua potable,

como testigo. La fuente de agua y la ubicación de los sitios en el ejido se consideraron como una fuente de variación importante, los tratamientos analizados incluyen las modalidades de uso de las aguas y la posible variación en la calidad química de la misma, debida a su origen y manejo. Al combinar dichas variables se tienen sitios de muestreo con los siguientes tratamientos y repeticiones: 1.-Agua tratada canal chinampa (TCC), corresponde a agua proveniente de la planta de tratamiento, pero que permanece estancada en los canales, de donde es bombeada hacia las parcelas. 2.-Agua tratada sitio de salida 1 (TS1), directamente del tubo de salida ubicado cerca de los canales secundarios, 3.-Agua tratada sitio de salida 2 (TS2), corresponde a agua tratada, pero que ocasionalmente se utiliza agua sin tratar proveniente del canal de Chalco. 4.-Agua tratada canal principal y secundario (TCPYS), la cual corresponde a agua tratada almacenada y conducida por los canales principal y secundario de la zona del ejido. 5.- Agua tratada mezclada con agua residual sin tratar (T + N), 6.- Agua del drenaje local (DL), corresponden a aguas del drenaje local o residuales sin tratar y 7.- Agua de pozo (BCA), correspondiente a un sitio testigo, tratamiento ubicado en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El número de repeticiones en cada uno de los tratamientos de acuerdo con los resultados del muestreo fueron: 5, 5, 5, 3, 5, 4 y 1 sitios, respectivamente.

Las muestras de suelo para la determinación de metales pesados se tomaron, mediante un muestreo estratificado, considerando como estrato el tipo de agua empleada para el riego. Las muestras compuestas de suelo se constituyeron a partir de 5 submuestras por sitio (1 ha, aproximadamente), tomadas a una profundidad de 0-30 cm, mediante un muestreo en zig zag. Dichas submuestras se mezclaron y homogeneizaron para constituir una muestra compuesta representativa de la parcela de interés. Las Muestras fueron secadas a la sombra, posteriormente fueron molidas, y tamizadas en malla 10. El análisis de las muestras se hizo por duplicado y por cada diez muestras se puso una tercera repetición para

control. Los metales pesados fueron extraídos con EDTA 0.05 M pH 7.0 (Westerman, 1990) en una relación suelo solución extractora 4:1 (p/v).



Figura 1. Delimitación del ejido de Mixquic, D.F. (línea blanca continua), ubicación de los sitios de muestreo (círculos), canales de agua tratada (línea punteada) y, canales de agua residual sin tratar (flechas)

Fuente: Elaboración personal a partir de ortofotos digitales E14B41a y E14B31d, con base en fotografías aéreas escala 1:75,000, INEGI, 1999. Ubicación y verificación de parcelas de muestreo en campo.

Las variables consideradas fueron: pH (medido potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla suelo:agua relación 1:2), conductividad eléctrica (del extracto de saturación mediante puente de conductividad), materia orgánica (método Walkley y Black), nitrógeno (micro Kjeldahl), carbonatos totales (método de neutralización ácida) y capacidad de intercambio catiónico empleando acetato de amonio pH 7.0, como solución saturante (Ministry of Agricultura Fisheries and food, 1986).

Las muestras de material vegetal se integraron a partir de una muestra de entre 5 y 8 pellas de brócoli que se tomaron al momento de la cosecha, en el mismo sitio donde fueron colectadas las muestras de suelo, las pellas se colectaron, fraccionaron, y secaron en estufa a una temperatura de 70 °C hasta alcanzar temperatura constante, posteriormente fueron molidas finamente en mortero.

La extracción de metales en las pellas de brócoli se hizo por duplicado, mediante una digestión en húmedo con ácido nítrico y perclórico en una relación 1:1 (Bradford *et al.* 1975). Por cada 10 muestras se puso una tercera repetición como control y se utilizó almidón como blanco. La cuantificación de metales pesados se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. En un equipo de absorción atómica Perkin Elmer. La toma de muestras, manejo, preparación y análisis de las mismas se realizó considerando las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. El agua utilizada fue desionizada y los reactivos utilizados fueron grado analítico.

Las tasas de transferencia se calcularon mediante el cociente de la concentración de metal en la planta, en relación a la concentración encontrada en el suelo, ambas expresados en mg kg^{-1} (Vázquez *et al.* 2005). El análisis se realizó mediante correlación y estadística básica.

9.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los suelos

El pH de los suelos indica que son alcalinos, con valores promedio de 8.21 y con valores entre 8.1 a 8.3 de pH, lo cual coincide con lo encontrado por Ramos, *et al.*, (2001) quienes reportan valores de pH de suelo de 8.3 y 8.5 para la capa arable (0-30 cm) en suelos de Tlahuac. Así mismo, es importante señalar que en suelos calcáreos y con pH elevado la probabilidad de que los elementos trazas se lixivien hacia las aguas subterráneas es muy baja; ya que dichas condiciones de los suelos favorecen la inmovilización (Rostagno y Sosebee (2001) mencionan que la conductividad eléctrica presenta valores entre 1.91 y 5.14 dS m⁻¹. El valor más alto corresponde a los suelos irrigados con agua proveniente del canal de las chinampas (TCC). Los valores de materia orgánica (M.O.), fósforo, nitrógeno y capacidad de intercambio catiónico se presentan en el Cuadro 1, destaca que la materia orgánica es alta con valores que van de 7.67 hasta 13.4%, los cuales corresponden a los tratamientos DL y TCC, respectivamente, Tales valores pueden deberse a la práctica de aplicación de abono orgánico o de sedimentos de los canales (tierra amarilla) en el sitio donde va a ser cultivada la plántula de brócoli, práctica conocido localmente como mateado, la cual ha permitido evitar problemas con la salinidad del suelo y ha proporcionado nutrientes al cultivo. El análisis estadístico muestra diferencias significativas para este variable, presentándose 3 grupos de medias, en el grupo 1 con los mayores contenidos de materia orgánica e igualdad estadística se ubican los tratamientos 1, 3 y 4, correspondientes a sitios irrigados con agua del canal de la chinampa, tratada sitio de salida 1 y agua tratada de los canales principal y secundario respectivamente; el grupo 2 lo constituyen los tratamientos 5, 2 y 6 correspondientes a parcelas irrigadas con agua tratada del sitio de salida 2, tratada mezclada con negra o residual y el tercero a sitios irrigados con agua del drenaje local respectivamente. El

tratamiento testigo (sitio irrigado con agua de pozo o blanca) presentó el contenido de materia orgánica más bajo constituyendo el tercer grupo de medias.

El contenido de N total en los suelos varia de 0.32 a 0.67%, con relación al testigo con un contenido de 0.06%, superado en todos los casos por los tratamientos. Considerando el análisis estadístico, presentó una tendencia similar al de la materia orgánica. La concentración de fósforo de todos los tratamientos, incluyendo al testigo es alta acorde con la clasificación para fósforo extractable Olsen (CSTPA, 1980), la cual establece un valor superior a 11 mg kg⁻¹ para esta categoría. Lo anterior se debe a los aportes de materia orgánica y a complementos de fertilización que los productores regularmente realizan. El análisis estadístico no muestra diferencias estadísticas en el contenido de este elemento en los suelos de los tratamientos evaluados.

La capacidad de intercambio catiónico de los suelos es alta (27.75 a 40.55 cmol kg⁻¹). De acuerdo con la clasificación de Cottenie (1980), estos valores corresponden a una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que refleja una mayor capacidad de los suelos para mantener una reserva de nutrimentos para las plantas. El análisis estadístico muestra tres grupo de medias: en el primer y con el valor más alto el tratamiento correspondiente a los suelos irrigados con agua del canal de la chinampa, el segundo grupo con igualdad de tratamientos agrupa al resto de los tratamientos a excepción del testigo, el cual de manera individual constituye el grupo 3 con un valor de capacidad de intercambio catiónico de 11.90 cmol kg⁻¹.

En general y para todas las variables evaluadas el tratamiento TCC, fue el que presentó los valores más altos, lo cual se debe al aporte tan intenso de sedimentos y materia orgánica, que en el año se realizan durante los ciclos de cultivo. Jiménez y Núñez (1993) encontraron que en el sistema de chinampas existe un intensa rotación de cultivos durante el año, lo que lo hace un sistema intensivo de incorporación de

materia orgánica a partir de los residuos de cosecha (raíz del cultivo y de las malezas y restos del cultivo anterior), los cuales pueden constituir un aporte de hasta 2000 a 3000 kg/ha en un ciclo (Pérez *et al.*, 2000), así mismo la entrada de sólidos, a partir de los lodos de los canales utilizados para construir los almácigos y el cepellón de las plántulas de las hortalizas y los que pueda aportar el agua de los canales de las chinampas.

Cuadro 1. Contenido de materia orgánica, nitrógeno total estimado, fósforo y capacidad de intercambio catiónico en suelos cultivados con brócoli e irrigados con diferentes fuentes de agua. (no se presentan en este artículo análisis de aguas se tomó agua como factor de estratificación)

Tratamientos ¹	M.O.	N total	P	CIC
	%		mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹
Tratada canal chinampa (TCC)	13.4 a	0.67 a	58.3 a	40.55 a
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	8.13 b	0.41 b	54.9 a	28.89 b
Tratada sitio de salida 1 (TS1)	10.59 a	0.53 a	53.5 a	31.47 b
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	9.41 a	0.47 a	30.8 a	28.37 b
Tratada + negra (T + N)	8.91 b	0.45 b	37.9 a	27.75 b
Drenaje local (DL)	7.67 b	0.32 b	45.9 a	28.89 b
Agua de pozo o blanca (BCA)	1.11 c	0.06 c	21.5 a	11.87 c

¹Sitios de cultivo de brócoli irrigado con el tipo de agua especificado
Medias con la misma letra presentan igualdad estadística

Contenido de metales pesados en suelo y pella de brócoli

En el Cuadro 2 se muestran los contenidos promedio de los metales analizados en las muestras de suelo. En orden de importancia de acuerdo a las concentraciones encontradas la secuencia fue Zn>Pb>Ni>Cd. Los valores de Zn más altos corresponden a los tratamientos TCC y TS1, el resto de los tratamientos presenta valores muy similares debido seguramente a que el zinc puede provenir de las fuentes de agua,

pero también influye la fertilización, sobre todo de tipo foliar que se emplea en el segundo cultivo más importante en la zona que es el romerito (*Suaeda difusa*). El Pb presenta una tendencia similar, sin embargo, además de la zona de chinampas, se incluye a los tratamientos de TS1 y TS2, correspondientes a las dos importantes salidas de agua tratada. Con respecto al Cd y al Ni presentan valores muy similares entre los tratamientos, pero en todos los casos superiores al testigo. Los valores en los tratamientos fluctúan sin considerar al testigo para Zn, Pb, Ni y Cd de 1.90 a 11.02, 3.74 a 6.42, 0.65 a 1.36 y 0.08 a 0.27 mg kg⁻¹ respectivamente. En todos los casos, los tratamientos fueron superiores al testigo.

Las concentraciones encontradas de Zn y Pb son superiores a las reportadas por Ramos, *et al.*, (2001), pero ocurre lo contrario con los datos de Cd y Ni, las cuales son inferiores a las reportadas por estos autores, quienes evaluaron solo un sitio de muestreo en Tlahuac y constituyendo uno de los pocos estudios en la zona referente a esta temática

Cuadro 2. Concentración promedio de metales pesados extractables en EDTA en suelo de 28 parcelas cultivados con brócoli, en Mixquic, D.F.

Tratamiento ¹	Número de Muestras	Zn mg kg ⁻¹	DS	Pb mg kg ⁻¹	DS	Cd mg kg ⁻¹	DS	Ni mg kg ⁻¹	DS
Tratada canal chinampa (TCC)	5	11.02 a	2.04 a	6.42 a	2.22	0.27 a	0.100	0.65 a	0.604
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	5	6.08 b	3.69 a	4.38 ab	0.965	0.18 ab	0.100	1.06 a	0.758
Tratada sitio de salida 1 (TS1)	5	2.89 b	2.72 a	4.36 ab	0.749	0.12 ab	0.090	1.09 a	0.706
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	3	1.90 b	0.72 b	3.74 b	1.180	0.08 b	0.015	1.34 a	0.371
Tratada + negra (T + N)	5	2.35 b	1.04 a	3.90 ab	0.538	0.09 ab	0.005	1.36 a	0.219
Drenaje local (DL)	4	3.96 b	2.09 a	3.93 ab	0.692	0.14 ab	0.097	1.10 a	0.552
Agua de pozo o blanca (BCA)	1	1.27 b	/ b	2.12 b	/	0.01 b	/	0.03 ?	/

DS= Desviación estándar; ¹Sitios de cultivo de brócoli irrigado con el tipo de agua especificado; Medias con la misma letra presentan igualdad estadística.

El contenido de Zn, Pb, Cd y Ni en pella de brócoli, se muestra en el Cuadro 3. La secuencia en la cantidad de metales encontrada fue igual a la encontrada en el suelo $Zn > Pb > Ni > Cd$, los valores fluctuaron, sin considerar al testigo de 29.42 a 43.68, 2.35 a 4.49, 2.46 a 4.51 y 0.78 a 1.03 $mg\ kg^{-1}$ respectivamente.

Las concentraciones de Pb, Cd y Ni en el testigo (BCA) fueron inferiores al resto de los tratamientos, sin embargo, el contenido de Zn fue superior. Con esto se deduce que la fuente de Zn no es solamente el agua, sino que existe un aporte importante vía fertilización foliar, actividad común por parte de los productores.

Cuadro 3. Contenido de metales pesados en pella de brócoli al momento de la cosecha

Tratamiento ¹	Número de Muestras	Concentración de metales en pella de brócoli			
		Zn	Pb	Cd	Ni
		mg kg ⁻¹			
Tratada canal chinampa (TCC)	5	30.60	4.49	1.02	4.51
Tratada sitio de salida 2 (TS2)	5	34.88	2.46	0.83	3.89
Tratada sitio de salida 1 (TS1)	5	24.33	3.77	0.78	2.90
Tratada canal principal y secundario (TCPYS)	3	29.42	2.80	0.91	2.46
Tratada + negra (T + N)	5	32.03	3.53	1.03	3.66
Drenaje local (DL)	4	43.68	2.35	0.93	4.06
De pozo o blanca (BCA)	1	47.16	0.80	0.77	0.50

¹Sitios de cultivo de brócoli irrigado con el tipo de agua especificado

Las tasas de transferencia presentan variaciones de 3.73 a 11.43, 2.77 a 15.52, 1.84.1 a 7.00 y de 0.562 a 0.905 para Cd, Zn, Ni, y Pb respectivamente, sin considerar al testigo (Cuadro 4). Dichos valores son superiores a los factores de transferencia encontrados por Vázquez *et al.*, (2005) para Cd, Ni y Pb, las cuales varían de 0.028 a 0.071, 0.069 a 0.153 y 0.110 a 0.305 respectivamente, para cultivos básicos (trigo, maíz, frijol y calabaza) en la zona del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Así mismo son

superiores a los calculados por el mismo autor con datos de Kabata y Pendias (1984), con la consideración de que la tasa de transferencia fue calculada en condiciones donde no se presentó antes contaminación del suelo por Cd, Ni y Pb.

Es importante considerar que la transferencia de los metales es variable y depende de las condiciones del suelo, del tipo de cultivo y de la parte de la planta que se vaya a evaluar.

Cuadro 4. Tasa de transferencia de metales pesados suelo-pella de brócoli en Mixquic, D.F.

Tratamiento	Número de muestras	Tasa de transferencia pella-suelo			
		Zn	Pb	Cd	Ni
		mg kg ⁻¹ / mg kg ⁻¹			
Tratada canal chinampa	5	2.7	0.7	3.7	7.0
Tratada sitio de salida 2	5	5.7	0.5	4.7	3.6
Tratada sitio de salida 1	5	8.4	0.8	6.3	2.6
Tratada canal principal y secundario	3	15.5	0.7	10.9	1.8
Tratada más negra	5	13.6	0.9	11.4	2.6
Drenaje local	4	11.0	0.5	6.8	3.7
Agua de pozo o blanca	1	37.1	0.3	77.0	15.6

Análisis de correlación

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de correlación entre las diferentes variables evaluadas. Destaca el alto grado de asociación entre M.O., N y CIC, con todas las variables evaluadas, a excepción de CIC Vs Ni en suelo y CIC Vs Zn en pella, las cuales no son significativas. El contenido de fósforo se asocia con Pb y Ni en pella y con Zn, Pb y Cd en suelo. En general se puede observar un grado de correlación entre las propiedades químicas de los suelos con el contenido de metales en el suelo y en la

pella de brócoli Kabata y Pendias (1984) mencionan que el contenido de materia orgánica, arcillas y carbonatos y los procesos que de ellos se derivan son las principales características que controlan los procesos para la retención y/o disponibilidad de los metales pesados en el suelo, razón por la cual se encuentran correlacionados.

De la correlación entre la cantidad de metales pesados en suelo y pella, se tiene que: el contenido de Pb y Cd en el suelo tienen una asociación significativa con todas las variables evaluadas, a excepción de la correlación de éste último con Zn y Cd en pella. Otras asociaciones significativas son las que resultan entre Pb con Cd y Ni en pella y con Zn en suelo. Adicionalmente Cd con Ni en pella y Ni pella con Zn en suelo. Estos resultados coinciden con los encontrados por Ramos *et al.* (2001) quienes concluyen que existe una correlación positiva entre el contenido de metales pesados disponibles y factores como capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica entre otros. Colombo *et al.* (1998) comentan que tanto la distribución de los metales, así como su disponibilidad esta controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos.

Cuadro 5. Correlación entre variables químicas del suelo y metales pesados en suelo y en pella de brócoli

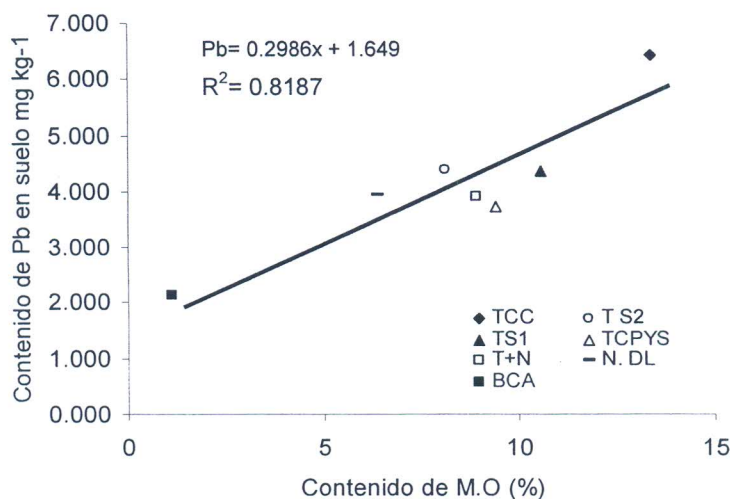
	M.O	N (%)	P	CIC	Zn-C	Pb-C	Cd-C	Ni-C	Zn-S	Pb-S	Cd-S
	%	%	mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
M.O.	1										
N	0.99	1.00									
P	0.76	0.73	1.00								
CIC	0.97	0.95	0.83	1.00							
Zn-C	-0.80	-0.85	-0.49	-0.68	1.00						
Pb-C	0.96	0.96	0.70	0.91	-0.82	1.00					
Cd-C	0.56	0.53	0.21	0.57	-0.19	0.59	1.00				
Ni-C	0.79	0.74	0.82	0.87	-0.38	0.72	0.65	1.000			
Zn-S	0.64	0.63	0.76	0.74	-0.216	0.58	0.43	0.694	1.00		
Pb-S	0.91	0.90	0.85	0.96	-0.58	0.87	0.55	0.828	0.89	1.00	
Cd-S	0.80	0.78	0.88	0.89	-0.39	0.72	0.47	0.844	0.95	0.96	1.00
Ni-S	0.56	0.53	0.29	0.49	-0.59	0.49	0.40	0.562	-0.11	0.26	0.15

C= pella; S=suelo

La correlación negativa existente entre el contenido de materia orgánica en el suelo y el Zn, puede explicarse considerando dos factores: el pH alcalino de los suelos, el cual tiene influencia en la disponibilidad de los metales y por el contenido de materia orgánica alto lo que permite que exista alta capacidad de adsorción de metales, lo cual coincide con lo reportado por Petrovic *et al.* (1999), quienes mencionan que la concentración de ligandos formadores de complejos, especialmente ácidos húmicos y fulvicos controlan la movilidad de los metales y por lo tanto los suelos con altos contenidos de materia orgánica tienen una mayor capacidad de adsorción de metales

La correlación encontrada entre Zn y Cd en la pella es no significativa, lo cual puede deberse a una posible competencia entre el Zn y Cd, al momento de estar disponibles para la planta, debido a su semejanza estructural. (Jonathan *et al.* 2002) han demostrado con estudios de campo con ^{109}Cd y ^{65}Zn , que la adición de Zn puede reducir la acumulación de Cd en las plantas cultivadas. Demostrando que en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* y *T. turgidum*) la extracción de Cd^{2+} fue inhibida por Zn^{2+} y la extracción de Zn^{2+} fue inhibida por Cd^{2+} .

En la Figura 2 se muestra el grado de asociación entre el contenido de plomo y el de materia orgánica, donde existe una tendencia de aumento en la concentración de Pb en el suelo, conforme aumenta el contenido de materia orgánica en los mismos. Los valores más altos corresponden a los sitios ubicados e irrigados con agua del canal de chinampas (TCC) y en segundo lugar los sitios ubicados en el ejido e irrigados con agua tratada denominado sitio uno (TS1). Lo anterior se debe a que el EDTA empleado en la extracción de plomo, recupera el plomo que se encuentra formando complejos de ese metal con la materia orgánica y con los carbonatos, de tal forma que se puede afirmar que un sitio de reserva de Pb probablemente se localiza en la materia orgánica de los suelos estudiados.



TCC=suelo irrigado con agua del canal de las chinampas, TS2= suelo irrigado con agua tratada del sitio de salida 2; TS1= suelo irrigado con agua tratada del sitio de salida 1; T+N= suelos irrigados con agua tratada y negra; TCPYS= suelos irrigados con agua del canal principal y secundario; N. DL= suelos irrigados con agua negra del drenaje local y BCA= suelo irrigado con agua de pozo.

Figura 2. Disponibilidad de Pb en relación al contenido de materia orgánica en el suelo

Riesgo en el consumo del producto

Zinc

De los cuatro metales pesados evaluados, el Zn es un elemento esencial para los cultivos. Las concentraciones en cada tejido dependen del cultivo y del manejo del mismo. Para brócoli se reportan concentraciones entre 25 y 60 mg kg⁻¹, cuando se analizan hojas completas, considerando la hoja madura más reciente (Castellanos, 1998; Benton, 2006) y concentraciones que varían de 0.5 a 1.2 mg kg⁻¹ en extracto celular de pecíolo; (Castellanos, 1998); ambos análisis en precosecha.

Desde el punto de vista de aporte de nutrientes en la alimentación humana, Haytowitz y Matthews (1986) reportan concentraciones de Zn de 330 mg kg⁻¹ de pella. Las concentraciones de Zn en la pella de brócoli, evaluadas en los tratamientos varían de 24.3 a 47.2 y considerando la información anterior referente a las

concentraciones de Zn en la planta y en la pella, las concentraciones encontradas, estan entre los intervalos que se establecen y pueden considerarse sin riesgo para la salud humana.

Cadmio Níquel y Plomo

Con la finalidad de hacer una estimación del riesgo en la salud humana en relación a la acumulación de Cd, Ni y Pb y el riesgo en la salud humana, se consideró una estimación del consumo de brócoli en la canasta básica de los mexicanos, considerando los datos más recientes de las bases de datos de SIACON-SAGARPA, (2004) e INEGI, (2005) correspondientes a producción y población respectivamente, obteniendo un consumo per cápita estimado, sin considerar las exportaciones de 2.8 kg/habitante/año (Cuadro 6).

Cuadro 6. Superficie cosechada, producción total, rendimiento y consumo de brócoli en el D. F. y nacional.

	Distrito Federal	Nacional
Superficie cosechada 2004 ¹ (ha)	952	22675.25
Producción total 2004 ¹ (t)	12798	289343.09
Rendimiento promedio 2004 ¹ (t.ha ⁻¹)	13.44	12.76
Población (2005) ² (habitantes)	8720 915	103263.4
Consumo ³ (kg/habitante/año)	N. D.	2.8

Fuente: 1=Bases de datos SIACON-SAGARPA, (2004), (sin considerar exportación), 2= INEGI, 2005, 3=estimación del autor considerando los datos de SIACON-INEGI; N.D.=No disponible

Considerando las concentraciones encontradas en pella de brócoli en los sitios evaluados y considerando el consumo per cápita estimado de brócoli, el consumo potencial anual de Pb, Cd y Ni varían de 2.24 a 12.5, de 2.1 a 2.8 y de 1.4 a 12.62 mg/habitante/año, respectivamente, en personas que consuman exclusivamente brócoli de la zona de producción evaluada.

Considerando los límites de la ingesta de metales pesados de la población establecidos por la FAO/OMS (2003) para plomo y cadmio de 243 y 98 $\mu\text{g día}^{-1}$ que equivale a 88.7 y 35.7 mg/habitante/año para Pb y Cd respectivamente, las concentraciones encontradas en el área de evaluación son inferiores.

Con base en el límite fijado por la FAO/OMS (2003), se puede apreciar que con un consumo de 2.8 kg/individuo/año de brócoli de los sitios evaluados, con el contenido más alto de Pb, equivale al 14% del total aceptable. Para el caso del cadmio, considerando el mismo consumo, se tiene que equivale a 7.8% del límite establecido.

9.6 CONCLUSIONES

Los índices de transferencia encontrados reflejan que las concentraciones en la planta son superiores a las encontradas en el suelo, sobre todo para Cd, Ni y Zn.

Las características químicas de los suelos y el contenido de metales pesados en el suelo y en la pella de brócoli, presentaron correlaciones altas.

Los niveles de Zn en la pella, están dentro del intervalo que se establece para este cultivo como elemento esencial.

La ingesta de Pb y de Cd se encuentran en niveles inferiores a las establecidos por la FAO/OMS, considerando un consumo per cápita de brócoli de 2.8 kg/habitante/ año.

9.7 LITERATURA CITADA

Baird C. 1999. Environmental Chemistry. 2nd Ed. W.H.Freman & Company. New York. 484 p

Benton S. J. 2006. Zinc. In: Barrer A. V. y D. J. Píbeam (eds). Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group. New York. 613 p.

Bradford G. R., A. L. Page, J.L. Lund y W. Olmstead. 1975. Trace element concentrations of sewage treatment plant effluents and sludges: Their interaction with soils and uptake by plants. Journal Environmental Quality 4: 123-127

Birley M. H. and Lock, K. 1999. Health and peri-urban natural resource production. Environment and Urbanization, 10: 89-106.

Castellanos R. J. Z. 1998. El seguimiento de la nutrición del brócoli en los sistemas de fertirrigación. Plantaciones modernas. Agrosem 3 (1):137-152.

Colombo L.D., Mangione S.B. & Figlioglia A. 1998. Soil profile distribution of heavy metals in soil attended with sewage sludge for eight years. Agr. Med. Inter. J. of Agric. Sci. 128: 273-283.

Cottenie A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos de la FAO 38/2. FAO, Roma, Italia.

CSTPA, 1980. Council on Soil testing and plant analysis. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Revised Editions. University of Georgia, Athens, Georgia, USA. 209 p.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). 2000. Informe anual del contenido de sólidos, metales alcalinos y alcalinoterreos, y metales pesados del agua de tratamiento del Cerro de la Estrella. Subdesarrollo Tecnológico, Departamento del Distrito Federal 13 p.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). 2001. Informe mensual de gasto de operación de las plantas de tratamiento del agua residual. Mim. Unidad Departamental de Tratamiento y Reuso. Departamento del Distrito Federal. 3 p.

FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y Alimentación/ Organización mundial de la Salud). 2003. Programa conjunto sobre normas alimentarias. Comisión del Codex alimentarius. Viale delle Terme di Caracalla, Roma. 30 p.

Garza A. V. 2000. Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chihuahua, México) en el Valle de Juárez y su impacto en la salud publica. En Salud Pública y Nutrición 1 (3): 1-10

Haytowitz D.B. and R.H. Matthews. 1986. Composition of foods. Agriculture Handbook 8. United State Department of Agriculture, Washington D. C. 144 p.

INEGI, (Instituto Nacional de Estadística geografía e informática). 1980. Carta Edafológica E14B41, escala 1:50,000. Aguascalientes, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística geografía e informática). 1993. Estadísticas del sector alimentario en México edición 1993. Aguascalientes, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística geografía e informática). 1999. Ortofotos E14B41a Y E14B31d , en base a Fotografías aéreas escala 1:75,000. Aguascalientes, México.

INEGI. 2005. Sistemas Nacionales estadísticos y de información Geográfica. Población total 2005. II Censo de Población y Vivienda 2005. Aguascalientes, México

Iretskaya S. N. and Chien, S. H. 1998. Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH. Comm. Soil Sci. Plant Analysis 30: 441 – 448.

Jiménez J. J. y P. Nuñez. 1993. La producción en chinampas diversificadas de San Andrés Mixquic, México, D. F. In: Cerrato, R. 1993. Agroecología, sustentabilidad y Educación. Colegio de Postgraduados. México. pp. 62-74.

Jonathan J. H., Ross M. W., Wendel A. N., y Leon V. K. 2002. Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. Physiologia Plantarum 116 (1): 73-78

Kabata y-Pendias A. y Pendias H. 1984. trace elements in soil and plants. CRC PRESS. Boca Raton. 315 p.

Mc Bride M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective. Journal Environmental Quality 24: 5-18.

Ministry of Agricultura, Fisheries and food (MAFF). 1986. The analysis of agricultural materials. Third edition. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 248 p.

Méndez G. T., D. Rodríguez y M. Palacios. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la persistencia de metales pesados en suelos. *Terra* 18: 277-288.

Páez O. F., Frías-Espéricueta M.G. y Osuna-López, J.I. (1995). Trace metals in relations to seasonal and gonadal maturation in the Oyster *Crassostrea iridescens*. *Marine Environmental Research*, 40: 19-31.

Petrovic M., M. Kastelan-Macan and A. J. Horvat. 1999. Interactive sorption of metals ions and humic acids onto mineral particles. *Water, Air & soil Pollution*. 111 (1-4): 43-56

Pérez O. Ma. A., J. D. Etchevers, H. Navarro y R. Nuñez. 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* (34): 115-125.

Puschenreiter M., H. Wilfried and H. Othmar. 1999. Urban agriculture on heavy metal contaminated soils in Eastern Europe. Ludwig Boltzmann Institute for Organic Agriculture and Applied Ecology, Viena,.

Quintos R. J y A. Quispe L. 2004. Estrategias de supervivencia de los productores agropecuarios en las áreas periurbanas de la ciudad de México. El caso de San Andrés Mixquic y San Nicolás Tetelco. *Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática*. 8:1-26.

Ramos B. R., L. Cajuste, D. Flores, y N. García. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35: 385-395.

Rostagno, C.M. y Sosebee, R. 2001. Biosolids application in the Chihuahuan desert: effects on runoff water quality. J. Environmental Quality 30, 160-170.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y pesca. 2001. NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM) NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Publicado en el diario oficial de la federación el 31 de diciembre de 2001

Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON)- Secretaria de agricultura Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Delegación Estatal Nayarita. 2004. Estadísticas agrícolas. Nacionales.

Valdés P. y Cabrera M. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas Center for policy studies. Ciudadanía lagunera por los derechos humanos A.C. y en defensa del ambiente, A.C. Primera Edición. México. 46 p.

Vázquez A. A., L. J. Cajuste, R. Carrillo G., B. González Z., E. Álvarez S. y J. Z. Castellanos. 2005. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Terra 23: 447-455

Walter I., F. Martínez y G. Cuevas. 2003. Dinámica de los metales pesados en un suelo degradado enmendado con residuos orgánicos urbanos. Revista: Estudios de la zona no saturada del suelo VI: 367-372.

Westerman R. L. 1990. Soil Testing and plant analysis. 3rd Edition. Wisconsin, U.S.A. Pag 275-298 .

X DISCUSIÓN GENERAL

Los suelos de Mixquic, en los que se cultiva el brócoli, son suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica y fósforo; presentan una alta capacidad de intercambio catiónico, con valores de conductividad eléctrica entre 1.91 y 5.14 dS m⁻¹, lo cual indica que presentan un cierto grado de salinidad. Datos similares fueron encontrados por Ramos *et al.* (2001), quienes reportan la presencia de metales pesados en suelos de chinampa de la zona de Tlahuac en la secuencia siguiente: Pb, Ni, Zn, Cu, Cr y Cd y concluyen que los metales pesados, sales y sodio tienden a concentrarse en la parte superficial del suelo, así como en los cultivos, cuando el riego por aspersión con agua de los canales que rodean a las chinampas se practica durante largos periodos de tiempo.

En general y para todas las variables evaluadas el tratamiento Tratada Canal Chinampa (TCC), fue el que presentó los valores más altos, lo cual se debe al aporte tan intenso de sedimentos y materia orgánica, que en el año se realizan durante los ciclos de cultivo. Jiménez y Núñez (1993) encontraron que en el sistema de chinampas existe una intensa rotación de cultivos durante el año, lo que lo hace un sistema intensivo de incorporación de materia orgánica a partir de los residuos de cosecha (raíz del cultivo y de las malezas y restos del cultivo anterior), los cuales pueden constituir un aporte de hasta 2000 a 3000 kg/ha en un ciclo (Pérez *et al.*, 2000), así mismo la entrada de sólidos, a partir de los lodos de los canales utilizados para construir los almácigos y el cepellón de las plántulas de las hortalizas y los que pueda aportar el agua de los canales de las chinampas.

El sistema de producción es uno de los más complejos y diversos (Jiménez y Nuñez, 1993), por integrar prácticas de producción propias del sistema de chinampas, que es un sistema de producción prehispánico de acuerdo con Rojas (1991) con prácticas, insumos y maquinaria modernos. Las plagas de mayor

incidencia en el cultivo de brócoli son: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae*, *Trialeurodes sp* y *Bermisia tabaci*, reportadas por los productores, con una frecuencia de 82.5, 80, 80, 70 y 37.7 %, respectivamente. El control de las mismas es químico en su totalidad, utilizando productos organofosforados, piretroides y carbamatos, y realizando de 1 a 4 aplicaciones, de acuerdo con la encuesta hecha a los productores. Los resultados coinciden en dos de las plagas (*Brevicoryne brassicae* y *Copitarcia consueta*) con los resultados que describen Barrios *et al.*, (2004), como plagas de mayor incidencia en la zona de Acatzingo, Puebla, quienes reportan a *B. brassicae* (49.65 insectos/planta), *P. xylostella* (4.5 insectos/planta) y *C. consueta* (0.48 insectos/planta) como las especies de plagas más abundantes.

El análisis estadístico realizado a las variables: perímetro, diámetro y peso de cabezuela indica diferencias significativas. Los valores más altos reportados para las variables, peso, perímetro y diámetro de las cabezuelas de brócoli corresponden a las provenientes de las parcelas irrigadas con agua tratada más negra.

Los indicadores agronómicos perímetro y peso de la cabezuela no son limitantes de calidad para las clasificaciones establecidas del producto (Soto, 1991; Lazcano *et al.* 1997). Las cabezuelas de brócoli con un peso promedio de 250 g por cabezuela y diámetros entre 8 y 20 cm. pueden ser consideradas como producto de primera calidad (Lazcano *et al.*, 1997)

Los parámetros agronómicos evaluados: peso, diámetro, perímetro y color de la cabezuela son satisfactorios comparados con los requerimientos para el mercado nacional, de acuerdo con los parámetros reportados en la literatura (Lazcano *et al.* 1997 y soto, 1991). Los sitios irrigados con agua tratada mezclada con negra y los sitios irrigados con agua negra del drenaje local los que presentan los

valores más altos. Los rendimientos medios evaluados en los tratamientos TS2; TCPYS, T + N van de 13 a 15 t ha⁻¹. Los tratamientos TCC y TS1 presentaron valores de 10.5 y 9 t ha⁻¹ respectivamente con igualdad estadística. Los rendimientos coinciden con lo reportado por algunos autores como Lazcano *et al.* (1997) quienes reportan rendimientos en Guanajuato con manejo convencional ligeramente mayores a 12 t ha⁻¹, y un rendimiento comercial promedio de 7 a 12 t ha⁻¹ y son inferiores a los reportados por Villalobos *et al.* (2005), quienes obtuvieron rendimientos superiores a las 20 t ha⁻¹.

Las concentraciones de los metales pesados: Zn, Pb, Ni y Cd en suelos varían de 1.90 a 11.02, 3.74 a 6.42, 0.65 a 1.36 y 0.08 a 0.27 mg kg⁻¹, respectivamente. La ubicación y la fuente de agua utilizada para su riego jugaron un papel importante en éstos resultados. En la pella del brócoli los contenidos van de 30.60 a 47.16, de 0.8 a 4.49, de 0.77 a 1.03 y de 0.5 a 4.51 mg kg⁻¹ para Zn, Pb, Ni y Cd, respectivamente. Las tasas de transferencia presentan variaciones de 3.73 a 11.43, 2.77 a 15.52, 1.84 a 7.00 y de 0.562 a 0.905 para Cd, Zn, Ni, y Pb respectivamente, sin considerar al testigo (Cuadro 4). Dichos valores son superiores a los factores de transferencia encontrados por Vázquez *et al.*, (2005) para Cd, Ni y Pb, las cuales varían de 0.028 a 0.071, 0.069 a 0.153 y 0.110 a 0.305 respectivamente, para cultivos básicos (trigo, maíz, frijol y calabaza) en la zona del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Así mismo son superiores a los calculados por el mismo autor con datos de Kabata y Pendias (1984), considerando una tasa de transferencia calculada en condiciones donde no se presentó antes contaminación del suelo por Cd, Ni y Pb. Los índices de transferencia estimados, reflejan que las concentraciones en pella son superiores a las del suelo sobre todo para Cd, Ni y Zn, lo que indica que existen otras fuentes de metales para el cultivo, las cuales pueden ser: los sedimentos de los canales, la combustión de los vehículos, los fertilizantes, los abonos orgánicos y los agroquímicos, entre otros.

Los niveles de Zn en la pella están dentro del intervalo que se establece para este cultivo. La ingesta de Pb y Cd, se encuentra en niveles inferiores a las establecidas por la FAO/OMS, considerando un consumo per cápita estimado de 2.8 kg/habitante/ año.

Las tasas de transferencia presentan variaciones de 3.73 a 11.43, 2.77 a 15.52, 1.84.1 a 7.00 y de 0.562 a 0.905 para Cd, Zn, Ni, y Pb respectivamente, sin considerar al testigo (Cuadro 4). Dichos valores son superiores a los factores de transferencia encontrados por Vázquez *et al.*, (2005) para Cd, Ni y Pb, las cuales varían de 0.028 a 0.071, 0.069 a 0.153 y 0.110 a 0.305 respectivamente, para cultivos básicos (trigo, maíz, frijol y calabaza) en la zona del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Así mismo son superiores a los calculados por el mismo autor con datos de Kabata y Pendias (1984), con la consideración de que la tasa de transferencia fue calculada en condiciones donde no se presentó antes contaminación del suelo por Cd, Ni y Pb.

Los residuos de plaguicidas encontrados en el análisis cualitativo con mayor frecuencia son: el malatión, el diazinón y el clorfenvinfos, en un 70, 65 y 43 % de las muestras, respectivamente. En cuanto a las concentraciones evaluadas se encontró: clorfenvinfos, malatión y diazinon con 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹, seguidos por el fentión y etión con concentraciones medias de 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹. El 87 % de las muestras de brócoli analizadas contienen residuos de al menos un plaguicida organofosforado.

El análisis de los residuos de plaguicidas analizados de manera individual indican que están por debajo de los límites establecidos para cada uno de ellos, sin embargo considerando el consumo total de residuos provenientes de muestras que contienen residuos de varios tipos de plaguicidas, el consumo puede ser significativo. En este sentido y de acuerdo con los resultados encontrados se tienen consumos potenciales de hasta 14 mg kg⁻¹.

Considerando los resultados encontrados, resulta necesario que se tome en cuenta las siguientes acciones: controlar plagas mediante un manejo integrado, considerar en la elección de productos químicos que estén autorizados para el cultivo, la eficacia, los costos y el intervalo de seguridad del mismo además de tener una programación de tal forma que no se induzca resistencia y no sobrepasar la dosis indicada en la etiqueta; así mismo es importante un monitoreo continuo de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas para asegurar una incidencia mínima en la salud humana.

XI CONCLUSIONES GENERALES

Los indicadores agronómicos de calidad: color, peso y perímetro de las cabezuelas indican que el brócoli cumple con las exigencias propuestas por el mercado nacional para brócoli fresco.

Los rendimientos medios evaluados en los tratamientos TS2 (Agua tratada sitio de salida 2), TCPYS (Tratada canal principal y secundario), T + N (Agua tratada mezclada con negra) van de 13 a 15 t ha⁻¹. Los tratamientos TCC (Agua tratada del canal de las chinampas); y TS1, correspondiente a Agua tratada sitio de salida 1 presentaron valores de 10.5 y 9 t ha⁻¹, respectivamente con igualdad estadística.

Las plagas de mayor incidencia en el cultivo de brócoli en la zona de estudio fueron: *Brevicoryne brassicae*, *Trichoplusia ni*, *Copitarcia consueta*, *Artogeia raphae* y, *Trialeurodes sp* y *Bermisia tabaci*, con una frecuencia de 82.5, 80, 80, 70 y 37.7, respectivamente.

Se encontraron residuos de: clorfenvinfos, malatión y diazinón con 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹, seguidos por el fentión y etión con concentraciones medias de 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹, respectivamente. Dichas concentraciones están por debajo de los límites máximos de residuos (FAO/OMS), con excepción del diazinón.

Los residuos de plaguicidas encontrados con mayor frecuencia son: malatión, diazinón y clorfenvinfos en el 70, 65 y 43 % de las muestras respectivamente.

El 87 % de las muestras analizadas contienen al menos un residuo de plaguicida organofosforado.

Los niveles de Zn, Ni, Cd y Pb analizados en las cabezuelas de brócoli fueron inferiores a los establecidos por la FAO/OMS. Adicionalmente, los niveles de Zn en la pella se detectaron dentro del intervalo que se establece para este cultivo como elemento esencial.

Las características químicas, principalmente el contenido de materia orgánica y pH de los suelos, influyen en el contenido y dinámica de los metales pesados evaluados en suelos y cabezuelas de brócoli.

Los índices de transferencia observados en brócoli mostraron que los contenidos de Cd, Ni y Zn en las cabezuelas fueron superiores a los encontrados en el suelo, lo que permite inferir que existen otras fuentes de contaminación adicionales.

XII RECOMENDACIONES

Es necesario continuar con el monitoreo de residuos de plaguicidas de manera permanente.

La problemática de los residuos de plaguicidas y metales pesados en hortalizas y en particular en brócoli, debe considerar además del análisis de las concentraciones de cada producto y/o metal, el consumo o riesgo en su conjunto, debido al proceso de bioacumulación.

Es importante realizar estudios integrales que permitan abordar la calidad del producto desde una perspectiva más amplia.

XIII ANEXOS

13.1 GLOSARIO DE TERMINOS

Plaguicida. Es cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores de enfermedades humanas y de animales, así como las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, por ejemplo, las que causan daño durante el almacenamiento o transporte de los alimentos u otros bienes materiales, así como las que interfieran con el bienestar del hombre y de los animales. Se incluye en esta definición las sustancias defoliantes y las desecantes. (CICLOPLAFEST, 2005).

Residuo de plaguicida. Por "Residuo de plaguicida" se entiende cualquier sustancia especificada presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un plaguicida. El término incluye cualquier derivado de un plaguicida, como productos de conversión, metabolitos y productos de reacción, y las impurezas consideradas de importancia toxicológica. El término "residuo de plaguicida" incluye tanto los residuos de procedencias desconocidas o inevitables (por ejemplo, ambientales), como los derivados de usos conocidos de la sustancia química.

Ingesta Diaria Admisible (IDA). La IDA de una sustancia química es la dosis diaria que ingerida durante todo el período vital, parece no entrañar riesgos apreciables para la salud del consumidor, sobre la base de todos los hechos conocidos en el momento de la evaluación de la sustancia química por la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas. Se expresa en miligramos de sustancia química por kilogramo de peso corporal.

Ingestión diaria tolerable provisional (IDTP). Valor basado en datos toxicológicos. Representa la ingestión humana tolerable de un plaguicida utilizado anteriormente en la agricultura que puede aparecer como contaminante de un alimento, el agua potable y el medio ambiente.

Ingestión diaria admisible temporal (IDAT). Se interpreta como la dosis de ingestión diaria admisible establecida para un período limitado especificado, con objeto de poder obtener más datos bioquímicos, toxicológicos o de otra índole que se necesiten para estimar una dosis de ingestión diaria admisible.

Límite máximo para residuos de plaguicida (LMR). LMR es la concentración máxima de residuos de un plaguicida (expresada en mg kg^{-1}), recomendada por la Comisión del Codex Alimentario, para que se permita legalmente su uso en la superficie o la parte interna de productos alimenticios para consumo humano y de piensos. Los LMR se basan en datos de BPA y tienen por objeto lograr que los alimentos derivados de productos básicos que se ajustan a los respectivos LMR sean toxicológicamente aceptables.

Límite máximo para residuos extraños (LMRE). El LMRE se aplica a residuos de plaguicidas o contaminantes de procedencia ambiental (incluidos usos agrícolas anteriores) distinta del uso de una sustancia plaguicida o contaminante directa o indirectamente en el producto. Es la concentración máxima de residuos de un plaguicida o contaminante que la Comisión del Codex Alimentario recomienda que se permita legalmente o se reconozca como aceptable en o sobre un alimento, producto agrícola o alimento para animales. La concentración se expresa en miligramos de residuos de plaguicida o contaminante por kilogramo del producto.

Contaminante. Cualquier agente físico, químico, microbiológico, materia extraña u otras sustancias no añadidas intencionalmente a los vegetales que comprometen su aptitud de ser comestibles (SENASICA, 2007).

Límite de determinación. Por "Límite de determinación" se entiende la concentración más baja de un residuo de plaguicida o contaminante que puede identificarse y medirse cuantitativamente en un determinado alimento, producto agrícola o alimento para animales, con un grado aceptable de certeza mediante un método de análisis regulado.

Calidad fitosanitaria. Condición que adquieren los vegetales, sus productos y subproductos por no ser portadores de plagas que los afecten, o bien, la presencia de éstas no rebasa los niveles de tolerancia (SENASICA, 2007).

Buenas prácticas agrícolas en el uso de plaguicidas (BPA). Se entiende como los usos inocuos autorizados a nivel nacional, en las condiciones existentes, de los plaguicidas necesarios para un control eficaz y fiable de las plagas. Comprende una gama de niveles de aplicaciones de plaguicidas hasta la concentración de uso autorizado más elevada, de forma que quede la concentración mínima posible del residuo. Los usos inocuos autorizados se determinan a nivel nacional y prevén usos registrados o recomendados en el país que tiene en cuenta las consideraciones de salud pública y profesional, y la seguridad del medio ambiente. Las condiciones existentes comprenden cualquier fase de la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos para consumo humano y piensos.

Buenas prácticas de manejo (BPM) se refiere a las prácticas generales para reducir el riesgo microbiano en los alimentos. El término puede incluir tanto las buenas prácticas agrícolas, que se emplean en el cultivo,

recolección, selección, empaque y almacenamiento, como las buenas prácticas manufactureras en el contexto de los procesos de selección, empaque, almacenamiento y transporte (FDA, 1998)

Depósito de plaguicida. Se le llama así a la cantidad de plaguicida que queda sobre el vegetal inmediatamente después de un tratamiento. Normalmente se expresa en proporción al peso, es decir, en miligramos de plaguicida por kilogramo del vegetal mg kg^{-1} o, lo que es lo mismo, partes por millón (Coscolla, 1993).

13.2 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE PLAGUICIDAS

Los plaguicidas tiene varias clasificaciones, las cuales dependen de varios criterios, entre los que destacan: el grupo químico, el tipo de organismo que controlan, el grado de toxicidad y su origen, entre otros. De acuerdo con su estructura química se clasifican en: Organoclorados, Organofosforados, Carbamatos y Piretroides.

En el Cuadro 1 se presenta la clasificación de los plaguicidas de acuerdo con los organismos que controlan.

Cuadro 1. Clasificación de plaguicidas en función del organismo que controlan

Plaguicida	Organismos que controlan
Insecticida	Insectos y larvas
Fungicidas	Hongos
Nematicidas	Nemátodos
Acaricidas	Ácaros
Rodenticidas	Roedores
Herbicidas	Hierbas

Lagunes y Villanueva, (1994).

Considerando el grado de toxicidad, los plaguicidas se clasifican en categorías toxicológicas que van de moderado a altamente tóxico, las cuales se identifican de manera comercial de menor a mayor toxicidad con los colores: verde, azul, amarillo y rojo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías toxicológicas de plaguicidas, en función del grado de toxicidad

Categoría Toxicológica	Frases de Advertencia	Color de la Banda
Altamente Tóxico	Cuidado Veneno	Rojo
Moderadamente Tóxico	Cuidado	Amarillo
Ligeramente Tóxico	Precaución	Azul
		Verde

Fuente: NOM-045-SSA1-1993-SALUD AMBIENTAL

La clasificación de plaguicidas en función de su persistencia en el ambiente, de acuerdo con el Catálogo Oficial de plaguicidas se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de los plaguicidas por su persistencia

Plaguicidas	Persistencia en el Suelo semanas
<i>Organoclorados</i>	
Aldrín	530 (10 AÑOS)
Dieldrín	312
Endrín	624 (12 AÑOS)
DDT	546
Hexaclorobenceno (HCB)	208
Hexaciclohexano (x-HCH)	728 (14 AÑOS)
<i>Organofosforados</i>	
Malatión	2
Paratión	8
Forato	2
<i>Carbamatos</i>	
Carbaryl	2
Carbofuran	8-16

Fuente: Catálogo oficial de Plaguicidas CICLOPLAFEST, (1998)

Plaguicida organofosforado: se considera así al insecticida donde el fósforo forma parte esencial de su estructura química y es clasificado en el grupo de mediana toxicidad. (NORMA Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2002).

Metales pesados. Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g cm⁻³). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero.

13.3 LITERATURA CITADA

CICLOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias Tóxicas). 1998. *Catalogo Oficial de Plaguicidas*. México D.F.

CICLOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias Tóxicas). 2005. *Catalogo Oficial de Plaguicidas*. México D.F. p: 81-84.

Coscollá, R. 1993. Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Editorial Mundi-Prensa

FDA. 1998 Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos, en el caso de frutas y vegetales frescos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades.

Lagunes T. A. y Villanueva, J. A. (1994). Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México 264 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA1-1993. Subsecretaria de Salud Ambiental (1995), Plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado. México.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2007. Ley Federal de Sanidad Agropecuaria. Editorial Prerensa Picasso Digital. México D.F. 116 p.