

33
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

"ANALISIS PROXIMAL Y EVALUACION DE LOS NIVELES DE METALES CONSTITUYENTES Y CONTAMINANTES EN HORTALIZAS PROVENIENTES DEL MUNICIPIO DE XMIQUILPAN, HGO."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

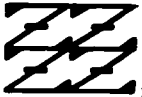
P R E S E N T A N :

NORMA AZALEA MACA BAUTISTA
ROSA MARIA SILVERIO CORTES

DIRECTOR: M. EN C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA

ASESOR: BIOLOGO RAMIRO RIOS GOMEZ

U N A M
F E S
Z A R A G O Z A



MEXICO, D.F.

Enero 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Espectroscopía L-328
y Laboratorio L-314 Campus II de la Facultad de Estudios Superiores
"Zaragoza". UNAM.**

AGRADECIMIENTOS:

A NUESTRO DIRECTOR:

M. en C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA

Por todas las facilidades brindadas, apoyándonos y compartiendo con nosotros su tiempo y experiencia transmitiéndonos sus conocimientos. Agradeciendo sus sugerencias para que este trabajo alcanzara una calidad satisfactoria.

A NUESTRO ASESOR:

BIOLOGO RAMIRO RIOS GOMEZ

Por su valiosa colaboración y acertadas sugerencias para el desarrollo de este trabajo

A LOS PROFESORES:

BIOLOGA MARICELA ARTEAGA MEJIA

M. EN C. MIGUEL CASTILLO GONZÁLEZ

Por el apoyo brindado durante la realización del presente trabajo.

AL PROFESOR:

DR. ISAIAS SALGADO UGARTE

Por el apoyo técnico y asesoría para el análisis estadístico, sin los cuales no se hubiera podido concluir este trabajo.

NORMA Y ROSA

AGRADECIMIENTOS:

A LA PROFESORA:

M. en C. LUCIA CORNEJO B.

Por las facilidades y asesoría prestadas en la realización del presente trabajo.

AL PROFESOR:

BIOLOGO FERNANDO TAPIA

Por la motivación y consejo que siempre nos brinda.

AL JURADO:

PRESIDENTE: QUIMICO FERNANDO CANTU GARZA

SECRETARIO: BIOLOGO RAMIRO RIOS GOMEZ

VOCAL: M. EN C. LOURDES A. CASTILLO GRANADA

SUPLENTE: Q.F.B. FELIPE A. PEREZ VEGA

SUPLENTE: M. EN C. MIGUEL CASTILLO GONZALEZ

Por el tiempo cedido en la revisión de este trabajo y por los valiosos consejos vertidos en el mismo.

NORMA Y ROSA

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por darme el don más preciado, la vida.

A MI PADRE:

PEDRO SILVERIO O.

Por el cariño, comprensión, apoyo moral y económico que me brindaste, y por haberme dado la mejor de las herencias.

A MI ABUELITA:

ANGELITA

Por el cariño, apoyo y consejo que siempre me ha dado para seguir adelante.
Gracias Mamá.

A MIS HERMANOS:

ARACELI, RUBEN Y ADELA.

Por su apoyo incondicional y estímulos que me proporcionaron durante todas las etapas de mi vida. Y por el gran equipo que formamos.

A MIS TIOS:

GLORIA, ANGELA, GLORIA, CONCEPCION, AGUSTIN Y LUIS

Por su motivación y apoyo brindados durante toda la vida.

A MIS AMIGAS:

MARTHA, NORMA, LUISA, HORTENSIA, PATRICIA, ANDREA, LAURA, OLGA Y SANDRA.

Por la amistad tan grande que nos unió y nos seguirá uniendo a lo largo de nuestras vidas.

ROSA

DEDICATORIAS

A DIOS.

Por darme el don más preciado, la vida y permitir terminar una etapa más.

A MIS PADRES.

PIOQUINTO MACA Y DOLORES BAUTISTA.

A ustedes un eterno agradecimiento porque gracias al apoyo, confianza y amor he logrado una de mis grandes metas, mi carrera profesional, que es para mí la mejor de las herencias.

A MIS HERMANOS.

IRMA, LUIS, ARTURO, ELIA, MARU, INES, RUBEN Y PATY.

Por darme siempre su apoyo, estímulo, comprensión y cariño. A ustedes quienes demuestran de una manera u otra el interés por mí, para que salga adelante.

Tomo como ejemplo de ustedes la inteligencia de saber como enfrentar los obstáculos sin perder la fe, la grandeza como personas. Gracias por su actitud, sin la cual no hubiera podido avanzar en mis estudios.

Los quiero mucho.

A MIS SOBRINOS.

DIEGO Y LAURA ANGELICA.

Por esa hermosa sonrisa y por la esperanza de vida que trae consigo un hermoso bebe.

A MI NOVIO.

ISRAEL GONZALEZ PEREZ.

Para ti especialmente este nuestro trabajo que gracias al amor, confianza y todo el apoyo que recibo de ti he podido alcanzar. Por que contigo he conocido este sentimiento tan maravilloso y he aprendido muchas cosas al caminar a tu lado tomados de la mano. TE AMO.

A todas aquellas personas que contribuyeron para que este trabajo se realizara.

NORMA AZALEA

INDICE

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCION	2
3.	FUNDAMENTO	3
3.1.	GENERALIDADES	3
3.2.	ANALISIS PROXIMAL	8
3.2.1.	HUMEDAD	10
3.2.2.	CENIZAS	10
3.2.3.	PROTEINAS	11
3.2.4.	GRASA	12
3.2.5.	FIBRA	12
3.2.6.	CARBOHIDRATOS	13
3.2.7.	VITAMINA C	14
3.3.	ELEMENTOS METALICOS	15
3.3.1.	POTASIO	17
3.3.2.	CALCIO	18
3.3.3.	MAGNESIO	20
3.3.4.	ZINC	22
3.3.5.	HIERRO	24
3.3.6.	COBRE	26
3.3.7.	SODIO	28
3.3.8.	PLOMO	28
3.3.9.	CADMIO	31
3.3.10.	CROMO	33
3.3.11.	NIQUEL	35
3.4.	NUTRIENTES EN LA RELACION SUELO-PLANTA	36
3.5.	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA	42
3.6.	UBICACION GEOGRAFICA	44
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	48
5.	OBJETIVOS	49
5.1.	OBJETIVO GENERAL	49
5.2.	OBJETIVO ESPECIFICO	49

6.	HIPOTESIS	50
7.	MATERIAL E INSTRUMENTOS	51
8.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	53
9.	RESULTADOS	60
10.	ANALISIS DE RESULTADOS	94
11.	CONCLUSIONES	103
12.	SUGERENCIAS	104
13.	BIBLIOGRAFIA	105

1. RESUMEN.

El presente trabajo consiste en el análisis proximal y cuantificación de metales constituyentes y contaminantes en hortalizas provenientes del municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo, zona en donde se realiza el riego de cultivos con aguas negras, provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Estas aguas representan una fuente de contaminación ya que se encuentran constituidas por desechos orgánicos e inorgánicos, entre los cuales se puede citar a los hidrocarburos, metales pesados, detergentes, grasas, entre otros.

Se establecieron los niveles de concentración de elementos constituyentes y contaminantes, mediante las técnicas cuantitativas de Espectroscopia de Absorción Atómica con Llama (Cu, Zn, Fe, Ca, Mg, Pb, Cd, Cr, Ni) y Espectroscopia de Emisión Atómica con Llama (Na y K), así como los componentes nutricionales a través de la evaluación del análisis proximal (Humedad, Cenizas, Proteínas, Grasa, Fibra y Carbohidratos, así como el contenido de Vitamina C) en diversas hortalizas. Las especies bajo estudio fueron: Acelga, Brócoli, Calabaza, Cilantro, Coliflor, Flor de Calabaza y Lechuga.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el Cu, Zn, K y Mg, presentaron en algunas especies valores por arriba de los descritos en la literatura, mientras que el Na mostró niveles ligeramente bajos para Lechuga y el Fe presentó niveles muy altos en Acelga y Cilantro.

Los metales contaminantes como el Pb y Ni presentan concentraciones elevadas para las siguientes hortalizas: Brócoli, Cilantro, Calabaza y Coliflor.

Así mismo, los resultados muestran que en las especies hortícolas estudiadas el comportamiento respecto a la concentración de elementos es variado, por ejemplo, la Acelga manifiesta un marcado incremento en Fe, Na, Mg y Ni. Se cree que esta hortaliza puede ser considerada como capaz de almacenar elementos por arriba de los niveles que las otras especies.

El análisis proximal muestra niveles comparables con los descritos en la literatura lo que evidencia que la presencia de los metales pesados no interfiere de forma importante para la disminución del contenido nutricional en las hortalizas, la presencia de estos elementos únicamente tiene un efecto tóxico.

2. INTRODUCCION.

Durante los últimos años el problema de la contaminación ambiental ha sido motivo de gran preocupación en nuestro país, el desarrollo tecnológico y el crecimiento demográfico han contribuido a ella de manera importante.

Ejemplo de ello son las industrias y la población que descargan sus residuos al drenaje contaminando al agua y con ello provocan la acumulación de diversas sustancias tóxicas en agua, suelo y organismos.

El Estado de Hidalgo recibe el agua residual que proviene de la zona metropolitana de la Ciudad de México, los agricultores al ver el problema de la escasez de agua de mejor calidad, se ven en la necesidad de utilizarla en las actividades agrícolas. Este es el caso del Municipio de Ixmiquilpan, Hgo. ubicado en el Distrito de Desarrollo Rural 063 (DDR 063), este municipio destaca por ser un productor importante de forrajes y hortalizas.

Estudios realizados indican que las aguas residuales contienen una gran variedad de nutrimentos como Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, B, P, N, etc., sin embargo, también contiene otros que son considerados tóxicos, entre estos están el Cd, Hg, Pb, As.

El agua residual destinada a los cultivos de forrajes, granos y hortalizas es necesaria en el Municipio de Ixmiquilpan, sin embargo, dada su calidad esta afectando el sistema: agua-suelo-planta-hombre.

Atendiendo a este problema la presente investigación tiene la finalidad de evaluar los niveles de concentración de elementos constituyentes y contaminantes mediante la Técnica de Espectroscopía de Absorción Atómica y Emisión Atómica con Llama, así mismo realizar el Análisis Proximal (Humedad, Cenizas, Fibra, Grasa, Proteínas y Carbohidratos), a diferentes hortalizas del Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

La importancia de realizar el Análisis Proximal a estas hortalizas es para verificar la calidad nutricional de las mismas, ya que dentro de los alimentos consumidos por el hombre estas representan un grupo muy importante por su diversidad de elección y contenido alimenticio.

3. FUNDAMENTO.

3.1. GENERALIDADES.

Una hortaliza es una planta herbácea, que posee una parte comestible con importante valor nutricional y que es utilizada para consumo humano. Esta definición incluye un conjunto heterogéneo de plantas, entre ellas, las de hoja (col y lechuga), raíz, tubérculo (zanahorias y papas) y flor (coliflor y brócoli). Poseen órganos o tejidos succulentos y tiernos, su alto contenido de celulosa las hace flexibles, poseen bajo contenido de lignina, por lo general todas son de tamaño pequeño. El periodo de su ciclo agrícola o vegetativo usualmente es en promedio de 85 a 100 días (Cameron, 1992).

La producción agrícola de hortalizas requiere de una atención detallada debido a que son muy sensibles al manejo. Al respecto pueden citarse los siguientes factores:

- Suelo. Es necesario conocer el tipo de suelo, para propiciar una buena aireación y evitar presión sobre las raíces.
- Riegos. Se requiere un adecuado suministro de agua, es mas conveniente el riego ligero y frecuente.
- pH en el suelo. El valor de pH es muy estrecho e individual, lo que quiere decir que aunque pertenezcan a la misma familia, la respuesta a pequeñas variaciones en el pH es diferente.
- Fertilizantes. La aplicación de fertilizantes (principalmente nitrogenados) debe ser utilizado con precaución, tanto en cantidad como en calidad, ya que en exceso se puede afectar directamente la calidad de la parte comestible.
- Plaguicidas. Se debe tener cuidado con el tipo de plaguicida aplicado, así como los periodos en que estos se deben utilizar para evitar contaminación de los alimentos.
- Adaptación a diversas condiciones climáticas. Es necesario conocer que sembrar de acuerdo con la época del año.

Una clasificación de las hortalizas se basa en la porción comestible, por lo que tenemos hortalizas de:

- Raíz: Zanahoria, rábano, remolacha
- Tallo: Espárrago.
- Bulbo: Cebolla y ajo.
- Hoja: Repollo, lechuga, espinaca y acelga.
- Flor: Coliflor, brócoli y alcachofa.
- Fruto: Tomate, pepino, habichuela y calabaza.
- Semilla: Maíz y haba.

Las principales razones que las hacen preferidas para el consumo humano son:

- Un alto valor nutritivo
- Pocas calorías (nivel bajo de grasa)
- Alto contenido de proteínas
- Ricas en carbohidratos, vitaminas y minerales
- Alto contenido de agua (85 a 96%)
- Modo variado de consumo. Puede ser fresco, procesado y/o almacenado, sin que pierda sus características nutritivas.
- Propiedades Organolépticas.
 - Sabor y olor.
 - Color. Existen tres grupos principales de compuestos que le dan color a las frutas y hortalizas.
 - Clorofila - colores verdes.
 - Carotenoides - colores amarillo, anaranjado y rojo.
 - Antocianina - colores rojo y púrpura.

La preferencia por un tipo particular de hortaliza depende principalmente de su sabor, aroma y color mas que del conocimiento de sus cualidades nutritivas. El gusto y el aroma contribuyen al sabor, y ambas cualidades están tan relacionadas que resulta difícil distinguir las o definir las. Estas características tienen origen químico, son causadas por la presencia de moléculas orgánicas específicas. Muchos de los olores menos atractivos de las hortalizas (y quizá los más pronunciados) son originados por compuestos de azufre, en las hortalizas crudas o no maltratadas estos compuestos de olor desagradable están unidos al azúcar y de esa manera se hacen inodoros (*Valadez, 1990; Camaron, 1992*).

Existe una relación abierta y directa de la planta con el suelo y la atmósfera que la rodea, siendo la raíz el órgano receptor primario. Ante esa situación, constituyen un material idóneo para el estudio de las acciones de los contaminantes (metales pesados entre ellos), son sistemas abiertos a la comunicación con su entorno y forma el primer eslabón de las cadenas tróficas en los ecosistemas. Las sustancias contaminantes llegan a las plantas, por varias vías, siendo una de las más comunes la contaminación cuando el suelo agrícola es regado con aguas residuales.

En México al igual que otros países del mundo se utilizan las aguas residuales provenientes de las zonas urbanas e industriales para el riego agrícola, provocando además de los beneficios esperados, la dispersión de contaminantes tóxicos que causan degradación de los suelos, plantas y contaminación de los ríos frías, dentro de estos contaminantes están los metales pesados que se distribuyen a través de la cadena agua-suelo-planta.

Por su cercanía a la zona metropolitana a la ciudad de México, el Valle del Mezquital recibe sus aguas residuales a través de diversos canales. Ya sea por el tajo de Nochistongo, el canal de Tequisquiac o por el drenaje profundo, el Mezquital es prácticamente inundado por las aguas negras de la capital de la República. Aparte de estas aguas, la región recibe un volumen importante de aguas blancas. De esta forma, el territorio es irrigado no sólo por aguas negras, sino también por aguas blancas y aguas mezcladas (Rodríguez, 1992)

Los principales elementos que están presentes en el agua de riego son los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato y borato.

El calcio se encuentra en todas las aguas naturales. Un suelo saturado predominantemente con calcio es friable y con buena estructura; el agua penetrará fácilmente a través de él, las aguas con una concentración alta de este catión serán consideradas de buena calidad. El magnesio también, está presente en cantidades apreciables en todas las aguas.

Las sales de sodio son muy solubles y por ello abundantes en las aguas. Un suelo con grandes cantidades de sodio en el complejo de cambio tendrá, propiedades físicas muy pobres. Este catión, no es deseable para un agua de riego. Por ello algunas veces se añade yeso a las aguas de gran riqueza en sodio, pues aunque el problema de sales aumente y con ello las necesidades de drenaje, se compensa el peligro de convertir al suelo en sódico.

El potasio está presente en cantidades pequeñas. Su conducta en el suelo es parecida a la del sodio, pero al ser sus proporciones menores, no representa grandes problemas. El bicarbonato no suele encontrarse en la naturaleza en estado sólido pero en disolución es muy abundante. Los bicarbonatos de sodio y potasio pueden existir tanto en estado sólido como en disolución. Los de calcio y magnesio sólo existen en solución. Cuando la humedad del suelo se reduce, ya sea por evaporación o extracción debida a las plantas, precipitan los bicarbonatos de calcio y magnesio pasando a carbonatos de calcio y magnesio. Si un agua posee grandes cantidades de este anión, cuando el suelo comienza a secarse, tendrán lugar precipitaciones de calcio y magnesio. Si el agua posee más bicarbonatos, que calcio y magnesio, aquél formará compuestos insolubles con el calcio del complejo de cambio; como consecuencia, el sodio del agua pasara a ocupar el lugar de este. De esta forma un suelo saturado con calcio, puede pasar a ser un suelo sódico por el uso de aguas con alto contenido de bicarbonatos.

El anión carbonatado se encuentra en algunas aguas, ya que los carbonatos de calcio y algo menos el de magnesio, son insolubles, el que un agua contenga este anión, significará que el catión acompañante será el sodio. Durante el secado del suelo, el ion carbonato podrá reaccionar con el calcio cambiabile de forma similar al ion bicarbonato. Así pues estos aniones, son considerados como "ventosas" químicas que enriquecen el complejo de cambio en sodio y lo empobrecen en calcio y magnesio y han de ser tenidos en cuenta a la hora de juzgar la calidad de las aguas. La determinación, ya en desuso, del carbonato residual, se basa en estas propiedades.

El anión cloruro es muy abundante. En altas concentraciones es tóxico para las plantas. Todos los cloruros comunes son solubles y contribuyen al contenido total de sales del suelo.

El anión sulfato es abundante en la naturaleza. Los sulfatos de sodio, magnesio y potasio son solubles. El de calcio tiene una solubilidad limitada. El sulfato no posee una acción característica en el suelo, excepto la contribución al contenido total de sales. Por lo común no es corriente encontrar nitratos en las aguas de riego. Si así ocurriera indicaría una contaminación de depósitos naturales de materia orgánica. Los boratos se encuentran en pequeñas cantidades en las aguas de riego. No tienen efectos medibles, sobre las propiedades físicas del suelo, pero debe ser evaluado ya que puede causar toxicidad a las plantas (López, 1994).

Debido a estas características, la mayoría de sus pobladores han aprendido a vivir en un medio muy adverso, en el que hasta hace poco predominaban las cactáceas y los matorrales, típicos de la zonas áridas, pero poco a poco estas especies han empezado a ceder el paso al verde de los alfalfares, al negro de las aguas y al blanco de las enormes montañas de espumas que generan los detergentes que llevan dichas aguas.

Las autoridades encargadas tampoco establecieron un programa de como utilizar las aguas residuales. A tal grado se han utilizado de manera indiscriminada, no sólo la toman los animales (vacas, borregos o chivos, etc.), sino que existen lugares que la gente las aprovecha para lavar su ropa y, en ocasiones, sus enseres domésticos. Para la mayoría de los habitantes del Mezquital las aguas negras siguen representando su única esperanza para hacer producir sus tierras áridas, ya que en la mayoría de los casos estas aguas son las únicas disponibles.

Dentro de la composición de las aguas residuales están presentes los metales pesados, los cuales desde un punto de vista biológico están recibiendo gran atención debido a su potencial tóxico, entre los cuales destacan el Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Aluminio (Al) y Mercurio (Hg), entre otros. Aunque no suelen abundar en estado natural, salvo en zonas localizadas (mineras), la acumulación de estos metales tóxicos en residuos industriales y los fangos de depuradoras están generando una notable y creciente contaminación antropogénica de la biosfera (*Barcelo, 1989*).

La acción tóxica de elementos considerados como contaminantes se manifiesta en diversas formas. Así, el Cd puede interferir algunas reacciones enzimáticas del organismo por sustitución del Zn y otros metales, manifestándose su acción en diversos procesos patológicos, entre los que se incluyen disfunciones renales, hipertensión, arteriosclerosis, inhibición del crecimiento y daños en el sistema nervioso central. El Pb incide sobre el tracto gastrointestinal y el sistema nervioso central, con síntomas que van desde los cólicos hasta la encefalitis, y el Hg provoca desordenes sensoriales, ataxia, constricción concéntrica del campo visual, desajuste de audición y disturbios en el sistema nervioso autónomo y extra piramidal.

La toxicidad de estos compuestos ha llevado al comité mixto FAO/OMS sobre el establecimiento de límites de tolerancia del aporte diario de estos metales en el organismo, cifrándolos por debajo de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal en el caso del Cd, 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para Pb y 0.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para el Hg. Las concentraciones máximas admitidas en alimentos, establecidas por el mismo comité, son: 1 $\mu\text{g}/\text{g}$ para Cd, 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para Pb y 0.5 $\mu\text{g}/\text{g}$ para Hg. Muy pocos países han establecido, en sus legislaciones alimentarias, límites de tolerancia para el contenido de metales pesados en alimentos. Algunos establecen un límite general para todos los alimentos, y otros abarcan solamente algunos productos específicos (*González, 1985*).

3.2. ANÁLISIS PROXIMAL.

Los alimentos consumidos por el hombre, de los cuales un grupo muy importante lo integran las hortalizas, son casi siempre sistemas complejos de muy diversos componentes. Para su estudio y comprensión estos componentes se han dividido en dos categorías: macrocomponentes con tres grupos: carbohidratos, lípidos y proteínas, y microcomponentes con dos grupos: minerales y vitaminas (*Aragón, 1994*).

El conocimiento de las características más importantes a considerar en la calidad alimenticia de las hortalizas es evaluado a través del Análisis Proximal, que describe la composición química de un alimento en términos de su contenido en porcentaje de carbohidratos, proteínas, grasas, cenizas (sales minerales) y agua. Así como la cuantificación del contenido de agua, fibra cruda, y vitamina C (*Desorier, 1985*).

La calidad nutricional de las hortalizas depende de la cantidad y variedad consumida. Con la excepción de leguminosas y tubérculos, el principal valor nutritivo de las hortalizas deriva de su contenido de vitaminas y minerales, considerados como micronutrientes y de carbohidratos complejos difíciles de digerir (fibra de la dieta), estos tienen muy poco valor nutritivo aunque son importantes para la función intestinal. El ácido ascórbico de las hortalizas y legumbres verdes, representan el 90% de la vitamina C ingerida. Los pigmentos carotenoides de las zanahorias, hojas de legumbres y tomate suministran del 25 al 60% de la actividad de la vitamina A. Las legumbres aportan del 20 al 25% de tiamina (especialmente las leguminosas); las hortalizas un 10 a 15% de riboflavina, de un 15 a 25% de la niacina, 40 a 45% del ácido fólico; se considera que las hojas verdes de las hortalizas aportan un 10% de calcio y el 20% de las necesidades alimenticias de hierro (*Cheftel, 1988*).

El consumo de hortalizas de un solo tipo no suministra todos los nutrientes necesarios, sin embargo una combinación en su consumo favorece este aporte. Esto tiene una especial importancia en relación con dos nutrientes, proteínas y aminoácidos esenciales. Existen diez aminoácidos esenciales que no pueden ser sintetizados por los tejidos de los mamíferos y que deben estar presente en su dieta y cuatro aminoácidos con una importancia nutritiva primordial lisina, metionina, cistina y triptófano, en conjunto son aportados en cantidades variables por las hortalizas (*Arthey, 1992*).

El contenido digestible de los tejidos de las plantas está compuesto por sistemas acuosos de carbohidratos, proteínas y grasas. En la fase acuosa se encuentran disueltos los carbohidratos solubles en agua, proteínas, ácidos grasos, vitaminas, sales minerales, compuestos fisiológicamente activos y pigmentos. Las proteínas se mantienen en un estado coloidal en el sistema acuoso, y la grasa se encuentra en emulsión. Disueltas en la fase grasa se hallan las vitaminas liposolubles, los compuestos fisiológicamente activos y los pigmentos.

3.2.1. HUMEDAD.

La composición química de las hortalizas es variable de una especie a otra. Sin embargo, como grupo, se hacen algunas consideraciones generales, como en el caso de la humedad o contenido de agua que normalmente es alto, oscilando, entre el 75 y el 95 % (*Primo, 1982*).

La presencia del agua en alimentos y su concentración determinan en alto grado su sabor y digestibilidad, así como la estructura física y la capacidad de manejo técnico del material. Sin embargo, y lo más importante, casi todos los procesos de deterioro que se realizan en los alimentos son influenciados en una u otra forma por la concentración y movilidad del agua (*Desrozier, 1985*).

Es indispensable conocer la humedad de la muestra, para darle un valor real a la cantidad de los otros componentes; por otro lado el dato de humedad está relacionado con la edad y el estado de conservación de la muestra (*Aragón, 1994*).

3.2.2. CENIZAS.

El contenido de cenizas en los alimentos se determina a través de la incineración de la materia orgánica; las sales metálicas de los ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos o reaccionan durante la incineración para formar fosfatos, sulfatos o haluros. Algunos elementos como el azufre y los halógenos pueden no ser completamente retenidos en las cenizas perdiéndose por volatilización (*Hart, 1984*).

Las cenizas incluyen todos los compuestos inorgánicos fijos de la muestra, tanto los originales como los de contaminación (*Aragón, 1994*).

3.2.3. PROTEINAS.

Las proteínas son moléculas de gran tamaño con pesos moleculares que van de miles a millones. Todas ellas contienen nitrógeno, carbono, hidrógeno y oxígeno, y algunas más azufre o fósforo y otros elementos como hierro, cobre o zinc. La molécula de proteína está hecha de unidades llamadas aminoácidos.

En las proteínas se presentan más o menos 20 unidades diferentes a las que se llama aminoácidos. Dentro de los veinte aminoácidos que hay, nueve son necesarios para el mantenimiento de la vida y el crecimiento por lo que se designa como aminoácidos esenciales (lisina, treonina, triptófano, fenilalanina, metionina, histina, leucina, isoleucina y valina); por extensión, a las proteínas que contienen los aminoácidos esenciales se les llama proteínas completas, y a las que les falta uno o más aminoácidos esenciales se les llama proteínas incompletas.

El papel de las proteínas de la dieta consiste en proveer de aminoácidos para mantener, reparar y ayudar al crecimiento de los tejidos. Los aminoácidos intervienen también en: 1) la producción de proteínas sanguíneas y musculares; 2) la síntesis de enzimas, hormonas de naturaleza proteica y algunas sustancias transmisoras del impulso nervioso; 3) la formación de pelo, piel y uñas; 4) la síntesis de leche (*Sánchez, 1989*).

El contenido de proteínas usualmente se determina por una digestión húmeda en la que el nitrógeno reacciona para formar sulfato amónico y finalmente producir amoniaco; el amoniaco formado se destila y se titula con una disolución ácida normalizada. Este método ideado por J. Kjeldahl en 1883, ha sufrido numerosas modificaciones hasta llegar al que actualmente es autorizado y aprobado por la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) (*Rodney, 1979*).

Las hortalizas tienen una escasa proporción de proteínas: 2.5% o menor (*Primo, 1982*).

3.2.4. GRASA.

La molécula de grasa está compuesta de pequeñas moléculas de ácidos grasos unidos químicamente con una molécula de glicerol.

Desde el punto de vista nutricional, las grasas tienen un papel vital en el funcionamiento del cuerpo humano porque, además de ser fuentes de energía concentrada sirven de transporte a las vitaminas A, D, E y K, que son solubles en grasa. También enriquecen el sabor de los alimentos y tienen la peculiaridad de dar la sensación de saciedad después de comer, ello debido a que pasan muy lentamente por el tracto digestivo (*Sánchez, 1989*).

El contenido en lípidos de las hortalizas es bajo, oscilando normalmente entre 0.1 y 0.3%, y de escasa importancia, pero su presencia es importante, ya que son el sustrato de reacciones de oxidación que dan lugar a la alteración del sabor (*Primo, 1982*).

3.2.5. FIBRA.

La fibra cruda es un constituyente importante presente en los alimentos de origen vegetal. Esta constituida fundamentalmente por celulosa, lignina, pentosas y pequeñas cantidades de sustancias nitrogenadas de las estructuras celulares de sostén de los vegetales (*Hart, 1984*).

Contribuye a la sensación fibrosa, que se percibe al ingerir estos alimentos, aunque no se da siempre una buena correlación entre la proporción de fibra, determinada por métodos químicos, y la calificación sensorial fibrosa. En el aspecto nutritivo, la fibra es importante en relación con la formación del bolo alimenticio (*Primo, 1982*).

El comité de enlace combinado de la American Oil Chemists Society (A.O.C.S.) y de la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) ha definido el concepto de fibra cruda como: "La fibra que se pierde en la incineración del residuo seco obtenido tras la digestión de las muestras con H_2SO_4 al 1.25 % y NaOH al 1.25 % bajo condiciones específicas" (*Hart, 1984*).

Por otra parte se tiene el concepto de fibra alimentaria siendo esta uno de los componentes más importantes de los alimentos. Está constituida por un grupo heterogéneo de compuestos complejos de diferente estructura química y botánica, que producen diferentes compuestos fisiológicos.

Los efectos fisiológicos de la fibra alimentaria van a estar en función de los componentes químicos que la forman y, por tanto, de sus características fisicoquímicas, así como de los procesos que haya experimentado el alimento.

Las principales acciones fisiológicas de la fibra están relacionadas con su degradación bacteriana, capacidad de retención de agua, formación de soluciones viscosas y capacidad de retención de moléculas orgánicas y cationes metálicos (*Martínez, et al., 1980; Hernández, et al., 1995*)

3.2.6. CARBOHIDRATOS.

Los carbohidratos son compuestos orgánicos de carbono, hidrógeno y oxígeno (con una proporción de hidrógeno y oxígeno de 2:1). Los carbohidratos son un grupo nutricional importante y, a excepción del glucógeno y la lactosa, son generalmente de origen vegetal, siendo producidos como resultado de la fotosíntesis. Por lo tanto, las fuentes de carbohidratos son principalmente frutas, vegetales, cereales y sus productos (*Brownsell, 1993*)

Los carbohidratos constituyen la clase más abundante de compuestos orgánicos. Contribuyen a las 3/4 partes del peso seco del mundo vegetal y están ampliamente distribuidos, con frecuencia, como componentes fisiológicos importantes en plantas. Los carbohidratos vegetales, en particular, representan un gran almacén de energía disponible como alimento para el hombre y los animales.

Los carbohidratos pueden definirse en forma general como compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que contienen el grupo sacarosa, o su primer producto de reacción y que casi siempre tienen al hidrógeno y al oxígeno en la relación que se encuentra en el agua. Así pues, la mayoría de los carbohidratos tienen la fórmula empírica $C_x(H_2O)_y$ (*Desrosier, 1983*).

Los hidratos de carbono son el grupo de componentes mayoritario, ya que suponen el 68% (35-85%) del residuo seco (*Primo, 1982*).

7. VITAMINA C.

Aunque la vitamina C no es una prueba incluida en el Análisis Proximal, es de gran importancia ya que en el ser humano tiene funciones tales como la de ayudar a la absorción del hierro en el intestino y la formación del tejido conectivo. En la mayor parte de los casos, el organismo humano es incapaz de sintetizarla, es necesario consumir alimentos que la contengan. Tanto la forma reducida de la vitamina C (ácido L.-ascórbico), como la forma parcialmente oxidada (ácido deshidroascórbico), ofrecen propiedades fisiológicas similares (*Cameron, 1992*)

En el análisis cuantitativo de vitamina C, se producen interferencias causadas por la presencia de compuestos que pueden tener o carecer de actividad fisiológica. El método rutinario de titulación con yodo o con 2,6-diclorofenol-indofenol solo determina la forma reducida; sin embargo proporciona buenos resultados en el análisis de extractos vegetales que no son sometidos a tratamiento térmico, en este caso toda la vitamina C presente se encuentra en esta forma (*Cameron, 1992*).

Las hortalizas constituyen una importante fuente de vitaminas en la dieta normal, destacan: la vitamina C y las del grupo B, entre las hidrosolubles, y las vitaminas A y K, entre las liposolubles. La vitamina C se encuentra, en cantidades importantes en casi todas las hortalizas, destacando entre otras, el brócoli y las diferentes especies de col.

La vitamina C o ácido ascórbico es soluble en agua y fácilmente oxidable. La oxidación se favorece por el calor y la luz y por la presencia de sales de hierro y de cobre, que catalizan la reacción, provocando la pérdida total o parcial del valor vitamínico del alimento (*Primo, 1982*).

3.3. ELEMENTOS METALICOS.

EL SUELO Y LA NUTRICION MINERAL.

Los nutrimentos minerales y otros compuestos se encuentran en estado dinámico en el suelo. Se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías, y la fertilidad de un suelo depende de las tasas relativas de adición y remoción estos nutrimentos. Además, los elementos pueden retenerse con más o menos firmeza en el suelo, por enlaces químicos y físicos. Así pues, la fertilidad puede afectarse también por la facilidad o dificultad con que los nutrimentos se absorben por la raíz, así como por su tendencia a permanecer o ser lavados del suelo por la lluvia o el movimiento de agua subterránea. Los iones disueltos en la fase suelo-agua están libremente disponibles para las raíces; los que están vinculados a partículas del suelo sólo están disponibles conforme entran en disolución; de manera que la fertilidad activa de un suelo depende de la concentración de nutrimentos en disolución.

NUTRICION MINERAL EN LAS PLANTAS.

Además de los elementos mayores carbono, hidrógeno y oxígeno, las plantas contienen una gran variedad de elementos en varias formas químicas. Evidentemente no se puede categorizar los constituyentes minerales de las plantas según el estado en que se encuentran. Una porción considerable de estos nutrimentos, particularmente nitrógeno, azufre y calcio, forman parte de la estructura orgánica. Algunos de los metales se muestran como componentes de enzimas y moléculas catalíticas. Otros son absorbidos en forma no selectiva junto con el agua del suelo y tienden a acumularse como sustancias iónicas disueltas o almacenadas (selenio, estroncio, sodio y potasio cuando existen en exceso), o como precipitados en el tejido (aluminio, silicio y calcio) (*Bidwell, 1979*).

Una clasificación de elementos en las plantas los divide en esenciales, benéficos y tóxicos. Los esenciales son considerados así cuando las plantas lo requieren para sus procesos metabólicos o de regulación, sin que pueda ser sustituido por otro en sus funciones. Los elementos benéficos estimulan el crecimiento y desarrollo de la planta. Ahora bien cualquiera de esas dos modalidades, a partir de cierta concentración crítica bajo condiciones naturales o antropogénicas y otros ya en cantidades mínimas, son considerados elementos tóxicos, la toxicidad varía según la madurez y salud en general de la especie (*Hinrich, 1993*).

Las plantas requieren de una determinada concentración de nutrimentos de acuerdo a esta se divide en macro y micronutrimentos. Los elementos que son requeridos por la planta en grandes cantidades se les llama nutrimentos mayores o macronutrimentos (1000 mg/kg de materia seca), los elementos que se requieren en pequeñas cantidades se llaman nutrimentos menores, micronutrimentos o elementos traza (100 mg/kg de materia seca) (*Bidwell, 1979; Salisbury, 1994*).

La acción de los micronutrimentos se ejerce fundamentalmente en la catálisis enzimática, ya sea como cofactor o como componente de enzimas. Sólo se necesitan cantidades mínimas, aunque son de amplia distribución en suelos algunos micronutrimentos están ausentes o en baja provisión en ciertas áreas del mundo, debido a que la roca madre, de la cual se forma el suelo, carece de ellos. Además, condiciones de pH del suelo, presencia de otros solutos y nivel de oxígeno, pueden afectar la solubilidad o la capacidad de la planta para absorberlos. Las deficiencias de micronutrimentos específicos son responsables de muchas enfermedades vegetales típicas (*Bidwell, 1979; Pérez, 1994*).

Los macronutrimentos pueden desempeñar tres papeles distintos en las plantas: electroquímicos, estructurales y catalíticos. El papel electroquímico incluye el balance de concentraciones iónicas, la estabilización de macromoléculas, neutralización de cargas y otros. El papel estructural lo desempeñan elementos incorporados a la estructura química de moléculas biológicas o que se usan en la síntesis de polímeros estructurales. Los roles catalíticos corresponden a elementos involucrados en los sitios activos de las enzimas (*Bidwell, 1979*).

MINERALES EN EL ORGANISMO.

Los componentes de los alimentos que no son agua, proteínas, carbohidratos, grasas, ácidos nucleicos o vitaminas, se conocen como minerales. Los minerales son sustancias químicas inorgánicas. Se requieren 15 minerales en la dieta diaria: seis en cantidades relativamente grandes y existen en abundancia en el cuerpo: calcio, fósforo, potasio, sodio, cloruro y magnesio. Los siguientes nueve son esenciales pero en menor cantidad: hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre, yodo, molibdeno, cromo y fluoruro. Los minerales que se requieren en poca cantidad pueden ser tóxicos en concentraciones altas (*Feldman, 1988*).

Cada nutrimento desempeña una función específica en el organismo, aunque en general se puede decir que son elementos que permiten tanto el equilibrio entre sustancias ácidas y alcalinas como el mantenimiento de niveles óptimos de agua en los tejidos.

Como los nutrimentos están distribuidos ampliamente en la naturaleza, es muy raro encontrar deficiencias dietéticas minerales en el humano, en cambio, las variaciones en el balance entre minerales puede traer consecuencias sobre la salud (*Sánchez, 1989*).

3.3.1. POTASIO.

Potasio en las plantas.

Es un macronutrimento que las plantas absorben en mayor cantidad que otros, además de desempeñar diversos papeles catalíticos, se dice que aumenta el vigor de las plantas y su resistencia a las enfermedades estimulando la producción de tallos fuertes y duros (*Raymon, 1987*)

Interviene en la síntesis de azúcares, almidón y proteínas; en la translocación de azúcares. Parece estar absorbido en las mitocondrias, formando parte de enzimas de la fosforilación oxidativa y en la síntesis proteica.

Desempeña una función muy importante en la pérdida de agua por las plantas, que tiene importancia en las zonas áridas, ya que equilibra los efectos de su escasez.

La abundancia del potasio implica un mayor crecimiento y vigor, un buen desarrollo de frutos, flores y semillas una resistencia al frío y a las enfermedades criptogámicas (hongos). En general aumenta la calidad de los productos cosechados (*López, 1994*).

Es un elemento móvil, por lo tanto los primeros síntomas de deficiencia se manifiestan en general en el proceso metabólico de las plantas. La deficiencia ocasiona, disminución fotosintética y aumento de la respiración; acumulación de nitrógeno sin formar proteínas; aparece en las hojas la putrescencia con lo que se inicia el proceso de muerte celular en los tejidos; se promueve el ataque por hongos (enfermedades criptogámicas) ya que disminuye la presión osmótica celular, condición que favorece la introducción de patógenos. Como consecuencia, se presenta una clorosis, acentuada y moteada en las hojas maduras que luego se pasa a las jóvenes. Se produce una necrosis en los márgenes de las hojas y en las puntas, que tienden a enroscarse.

Cuando existe un exceso de potasio, las plantas suelen presentar un color verde oscuro, un crecimiento excesivo y la pérdida de yemas o frutos; también ocasiona una baja absorción de magnesio (Mg^{2+}) (Gordon, 1984; Raymond, 1987; López, 1994).

Potasio en el suelo.

El contenido total de potasio en la mayoría de los suelos es alto, sin embargo, la mayor parte se encuentra en compuestos que, no son utilizables por las plantas.

Potasio en el organismo humano.

La cantidad de potasio que esta presente en el organismo humano es de 180 g/70 kg. Este nutrimento es proporcionado por alimentos como la carne, leche, frutas y hortalizas.

Entre las funciones principales se encuentra, equilibrio ácido-base, equilibrio del agua corporal, funcionamiento nervioso. La deficiencia da como resultado debilidad muscular, parálisis. El exceso de K^+ trae como consecuencia muerte (Sánchez, 1989).

3.3.2. CALCIO.

Calcio en las plantas.

El calcio es un elemento vital en la nutrición de las plantas, como componente estructural une a las protopectinas macromoleculares de la lámina media en las paredes celulares. Tiene también un papel deshidratante sobre las proteínas citoplásmicas. Se involucra en la formación del núcleo y las mitocondrias. El calcio también forma sales de ácidos orgánicos e inorgánicos en el interior de las células (el oxalato de calcio es insoluble) y de esta manera regula la presión osmótica. Influye en la formación de lecitina, un fosfolípido de la membrana, y es un factor importante en su permeabilidad. Actúa en la división mitótica, en el crecimiento meristemático (puntos de crecimiento) y en la absorción de nitrógeno.

La absorción de calcio es variable dependiendo de la especie; por ejemplo las leguminosas (chicharos, legumbres, trébol, alfalfa, etc.) absorben hasta 100 kg del

elemento por hectárea por año (promedio) llega a tener una relación 3:1 con el magnesio, es decir, por cada kg de magnesio se absorben 3 kg de calcio.

Como consecuencia de la falta de calcio y sus funciones indicadas, puede existir en la planta menor capacidad de síntesis proteica; menor desarrollo de la raíz; una clorosis en las hojas jóvenes las cuales toman forma de garfio; poco crecimiento de los tallos y hojas, que ocasiona la muerte del meristemo; la planta se observa menos desarrollada.

Como la deficiencia de calcio ocasiona que no se forman paredes celulares y no existe división celular, se presentan células polinucleadas. La clorosis de los márgenes de las hojas jóvenes y el encurvamiento de los ápices de las hojas son síntomas característicos de la deficiencia del elemento. La deficiencia del calcio ocasiona que las raíces alimenticias mueran casi totalmente; la falta de calcio ocasiona amarillamiento en hojas jóvenes, raíces raquíticas, bordes de las hojas con color alterado de amarillo-verdoso a castaño-oscuro (*López, 1994*).

Cuando existe un exceso de calcio, reduce la absorción de K y Mg, seguida por la correspondiente sintomatología que conlleva la deficiencia de estos elementos.

Calcio en el suelo:

La cantidad total de calcio en los suelos es considerablemente menor que la del potasio, pero normalmente se encuentra disponible una proporción mayor. Mientras que sólo se encuentra disponible del 1 al 2% del potasio total, normalmente más del 20% del calcio total se encuentra en formas fácilmente utilizables. De la proporción de calcio disponible, el 99% se mantiene como calcio intercambiable y menos del 1% está realmente presente en la solución. A medida que el calcio se va extrayendo de la solución del suelo tanto por absorción de la planta como por lixiviación, se restablece el equilibrio por medio de la liberación de calcio intercambiable, el cual es reemplazado por hidrógeno en las regiones húmedas. A medida que se va produciendo, gradualmente, este reemplazo, aumenta la acidez del suelo y puede revertirse por la adición de cal (*Gordon, 1984*).

Calcio en el organismo humano.

El cuerpo contiene aproximadamente 1,200 g / 70 kg de calcio, del cual el 99% se encuentra en el esqueleto en forma de fosfato cálcico. Las principales fuentes dietéticas de calcio son la leche, productos lácteos, vegetales de hoja verde y

leguminosas secas. Sus principales funciones destaca la formación de huesos y dientes, coagulación sanguínea, transmisión sanguínea y la transmisión nerviosa.

Las deficiencias marcadas son la detención del crecimiento, raquitismo, osteoporosis y convulsiones. La ingestión dietética normal de calcio es aproximadamente 1 g por día, pero de esta cantidad sólo se absorbe el 20% (Muller, 1988; Sánchez, 1989).

3.3.3. MAGNESIO.

El magnesio es un metal, duodécimo elemento de la tabla periódica, con peso atómico 24,312. Es el segundo ion metálico divalente más común en los océanos y el tercero en la tierra (Bonis, 1994)

Magnesio en las plantas.

Es un nutrimento esencial de los vegetales. Es uno de los constituyentes de la clorofila, protoclorofila, pectina y fitina. Además de ello, ha de desempeñar toda una diversidad de funciones, ya que sólo una pequeña fracción del magnesio total de la planta está combinada con las sustancias ya mencionadas. La mayor parte de este elemento está disuelto en el grupo celular, pudiendo trasladarse fácilmente por la planta (López, 1990; López, 1994).

Tiene la función de ligar una enzima con un sustrato, por ejemplo, en la transferencia de fosfato desde el ATP. Otra función importante consiste en que puede alterar la constante de equilibrio de un reacción a través de un enlace con un producto (reacciones de quinatas). Una función más es la de anexarse formando un complejo a un inhibidor enzimático. Actúa en las enzimas de la síntesis de ácidos nucleicos y en reacciones de carboxilación y de descarboxilación (transferencia de CO). Interviene en las reacciones del núcleo, ribosoma y cloroplastos. Forma parte importante de la clorofila, esencial en la fotosíntesis.

También forma parte de los pectatos de Ca y Mg de las laminillas medias de las células; es abundante en las semillas, tejidos meristemáticos y los frutos. Actúa en la síntesis de aceites vegetales. Se afirma que compete con el K y el Mn.

Con la deficiencia de este elemento se presenta una clorosis en la planta, sobre todo en hojas viejas (falta de clorofila intervenal). La sintomatología es muy notoria en el periodo vegetativo (intenso crecimiento) y después de intensas lluvias por lixiviación en el suelo. Pueden aparecer pigmentos rojos, amarillos, naranja o púrpura en las nervaduras foliares. Las hojas inferiores presentan clorosis y se manchan en las

últimas fases, se retrasa la floración y tienen mal color. Se observan manchas o motas verde-gris que luego se tornan blancas. Las ramas son delgadas, flexibles y de madera deficiente. En exceso se afirma que compete con el K^+ y el Ca^{++} , por tanto, se da absorción reducida de estos cationes (*Raymon, 1987; López, 1994*).

Magnesio en el suelo.

El magnesio se presenta en formas muy semejantes a las del calcio. Es retenido por las partículas del suelo y esta fracción intercambiable se encuentra en equilibrio con el magnesio en la solución. Un gran porcentaje del magnesio se encuentran en los minerales como la mica y la dolomita y se pueden liberar sólo cuando estos minerales se erosionan por la acción del agua del suelo que contiene ácido carbónico.

El magnesio se agota mucho más rápido que el calcio o que el potasio, y los suelos arenosos tienden a presentar mayores deficiencias de magnesio que los suelos de texturas más finas con mayor capacidad de intercambio catiónico (*Gordon, 1984*).

Magnesio en el organismo humano.

El cuerpo contiene aproximadamente 25 g/70 kg. Aunque la mayor parte se encuentra en el esqueleto, aproximadamente el 20% está asociado a la proteína del tejido muscular. Al magnesio lo encontramos en casi todos los alimentos, siendo fuente particular importante los cereales y los vegetales de hoja verde.

El magnesio es importante en los sistemas enzimáticos responsables de la transferencia de energía, siendo esta una de las principales funciones en el músculo. Activa enzimas, involucradas en la síntesis proteica. La deficiencia se presenta en la detención del crecimiento, el exceso provoca diarrea (*Muller, 1988; Sánchez, 1989*).

En cuanto a su metabolismo se absorbe principalmente en el intestino delgado (más del 90%), pudiendo absorberse algo en colon: con una variación, según los autores, entre 24-85% (Cantarow, 1973), 45-70% (Aranda, 1993), y 30-40% (Arilla, 1991), admitiéndose dos sistemas de transporte intestinal, uno mediado por transportador y saturable a bajas concentraciones (2-4 meq/l) y otro debido a difusión simple en altas concentraciones. Una vez absorbido se distribuye a los tejidos comentados anteriormente, siendo intercambiable el 20-30% que se encuentra en la superficie de los cristales de apatita del hueso, el muscular es fácilmente intercambiable en mayor porcentaje, pudiendo dar una idea real de la cantidad de catión en el organismo.

Se excreta a través de heces y orina, siendo la primera la más importante cuantitativamente, excretándose un 13% por vía renal, cantidad que aumenta o disminuye según la ingesta. Un 95-97% del filtrado es reabsorbido, 20-30% en el túbulo proximal, 50-60% en el tramo ascendente del Asa de Henle; esta reabsorción tiende a variar inversamente con la del Ca^{2+} . Influyen en la eliminación renal otras sustancias, como las hormonas.

Función. Su papel biológico deriva de su capacidad de fijarse a polianiones como proteínas y ácidos nucleicos, y formar complejos con polifosfatos como el ADP y ATP, y a través de su efecto sobre este último interviene sobre todos los escalones del metabolismo intermediario y formaciones de energía. Interviene igualmente en la síntesis de proteínas, contractilidad muscular, excitabilidad nerviosa y conducción eléctrica del corazón.

Patología. Se asocia la deficiencia de Magnesio a las siguientes cuatro categorías:

- Anomalías en tracto gastrointestinal (absorción disminuida, pérdidas).
- Difusión tubular renal (pérdidas renales).
- Alteraciones endocrinas (hiperparatiroidismo, hipertiroidismo, etc.).
- Ingesta inadecuada de otros nutrientes, aportes deficientes que se acompañan de manifestaciones que son difíciles de distinguir de otras anomalías electrofisiológicas, como hipocalcemia e hipopotasemia a los que se puede asociar. Dichas manifestaciones vienen dadas por alteraciones neuromusculares, gastrointestinales, cardiovasculares y metabólicas (Bonis, 1994).

3.3.4. ZINC.

El zinc es un elemento de transición, constituye el 0.004% de la corteza terrestre. Su uso más importante consiste en recubrir otros metales, particularmente el hierro y el acero galvanizados. Es un micronutriente esencial; su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. Se han observado efectos tóxicos debido a la inhalación de humos procedentes de baños en los que se efectúa la galvanoplastia. La "fiebre del zinc" se caracteriza por escalofríos, fiebre y náuseas (Carson, 1971; Bichwell, 1979; Duffus, 1983; Bonis, 1994).

Zinc en las plantas.

Este micronutriente es absorbido en forma catiónica (Zn^{+2}) en cantidades pequeñas, es común en el suelo hasta de 1 ppm.

Fisiológicamente la planta lo utiliza en muchas enzimas como: deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. Posiblemente una deficiencia repercute en el ARN y en los ribosomas. Se afirma que el Zn tiene relación directa con la síntesis de ácido indolacético. Sin embargo Mortvedt (1983) señala que no se ha establecido esta conexión.

Dentro de los síntomas por deficiencia de Zn se encuentran la atrofia y reducción de hojas (pequeña y roseta en manzano) manchas amarillas y necróticas en hojas; hojas terminales pequeñas y yemas con poco vigor vegetativo. Se encuentran en casi en todos los alimentos, aunque en los vegetales foliáceos y los cereales son fuentes pobres (López, 1994)

Zinc en el suelo.

Como sucede con otros nutrientes una baja disponibilidad de zinc es a menudo más grave que una reducida cantidad total del mismo en el suelo. La solubilidad de los compuestos de zinc en los suelos es pequeña, especialmente cuando el pH del suelo es alto.

Con este elemento se producen algunas interacciones con otros nutrientes, pero todavía no se comprenden muy bien los mecanismos. Se observó que los niveles altos de fósforo o nitrógeno, parecen disminuir la disponibilidad de zinc, tal vez por la formación de compuestos de la forma no disponibles. El zinc es lixiviado rápidamente de los suelos arenosos (Gordon, 1984)

Zinc en el organismo humano.

El cuerpo contiene entre 1 y 2 mg/70 kg de zinc que se encuentra presente en todos los tejidos corporales, forma parte importante de diversos sistemas enzimáticos. Una deficiencia provoca falta de crecimiento, glándulas sexuales pequeñas. Y el exceso presenta síntomas como fiebre, náuseas, vómito y diarrea (Muller, 1988; Sánchez, 1989).

El Zinc es esencial en la actividad de las enzimas, alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa, aminopeptidasa, alcalina fosfatasa, anhidrasa carbónica, RNA polimerasa y DNA polimerasa. Interviene en el metabolismo de la vitamina A, un exceso se puede asociar con la deficiencia de hierro (anemia), aparentemente interfiere con el metabolismo de cobre y hierro.

La absorción se lleva a cabo en mayor porcentaje en las porciones distales del intestino delgado entre un 5 y 10%. Actualmente se aceptan dos procesos intestinales de adsorción de Zn, uno por transporte activo (saturable a altas concentraciones), y otro por difusión (no saturable). Se excreta principalmente por el tracto gastrointestinal, en menor cantidad por el riñón, sudor, piel y cabello. La excreción aumenta en diabetes, alcoholismo y cirrosis hepática.

Se ha encontrado que dietas deficientes de este elemento puede afectar el crecimiento, la pérdida del sabor y en la etapa de postpubertad causa hipogonadismo y decremento en la fertilidad (*García, 1991; Bonis, 1994*)

3.3.5. HIERRO.

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Su principal uso consiste en el hierro estructural y el acero, pero también se usa para fabricar tintes y abrasivos. Es un micronutrimiento esencial, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de la actividad de algunas enzimas. Sólo una pequeña cantidad del hierro ingerido se absorbe a partir del tracto gastrointestinal. La inhalación de polvos de hierro puede causar pneumoconiosis benigna y puede resaltar los efectos dañinos del dióxido de azufre y varios carcinógenos (*Duffus, 1983*)

El hierro es uno de los elementos nativos, es utilizado con otros componentes en pigmentos, tapas magnéticas, complementos alimenticios, desinfectantes, saborizantes, aditivos y en terapéutica.

El hierro es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas (*Broger, 1972; López, 1987*).

Hierro en las plantas.

Es otro micronutriente que se absorbe por las raíces de las plantas en forma iónica (Fe^{2+} , Fe^{3+}) o como sales orgánicas complejas. Fisiológicamente interviene en la función de muchas proteínas como catalasas, citocromos (a, b y c), ferredoxina (fotosíntesis), ferricromo, peroxidasa y otras. Una hipótesis es la intervención del hierro en la síntesis de ácidos nucleicos.

La sintomatología que presentan los cultivos por deficiencia de hierro es clorosis en hojas jóvenes de las plantas, sin un achaparramiento o necrosis; las hojas permanecen sin deformaciones y puede haber "emblanquecimiento" y muerte más tarde. Se observa la deficiencia en el color pálido-amarillo en follaje, banda de color verde-claro en los bordes de hoja, raíces cortas muy ramificadas (López, 1994).

Hierro en el suelo.

En contraste con lo que sucede con la mayoría de los nutrientes, la falta de hierro en el suelo rara vez es un factor limitante del hierro disponible. El hierro se presenta en los suelos bien aireados en su forma férrica mientras que en los pobremente drenados predomina la forma ferrosa.

La disponibilidad de hierro depende mucho del pH del suelo. En los suelos alcalinos la mayor parte se precipita, formando compuestos con hidróxido y fosfato. La deficiencia de hierro que se provoca por un pH alto del suelo se denomina clorosis inducida por cal. En los suelos más ácidos aumenta la disponibilidad de hierro y pueden presentarse algunos casos en que las cantidades disponibles sean tóxicas (Gordon, 1984).

Hierro en el organismo humano.

El organismo humano contiene aproximadamente 4 g/70 kg de hierro, del que 2.5 g se encuentra en la hemoglobina, 0.5 g en los tejidos y aproximadamente 1 g se presenta como ferritina (un complejo de hierro y proteína) en los fagocitos del sistema retículo-endotelial, principalmente en el de la médula ósea, bazo e hígado.

El hierro desempeña su principal función en el proceso oxidativo corporal, que incluye la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a los tejidos vía la sangre y dentro de los tejidos, interviene en la oxidación de sustratos por transferencia de

electrones o átomos de hidrógeno en el sistema citocromo. Forma también parte de diversas enzimas que participan de modo primordial en las reacciones de oxidación del metabolismo de la energía. Normalmente sólo una proporción muy pequeña, del orden de 1 mg por día, es absorbido a partir de una ingesta total normal de 14 mg. El hierro de procedencia animal suele ser mejor absorbido que el de fuentes vegetales. La procedencia de este mineral es de carnes, huevo, verduras y granos enteros.

La deficiencia de hierro origina anemia, debilidad, poca resistencia a las infecciones. El exceso provoca siderosis y cirrosis hepática (Muller, 1988; Sánchez, 1989).

Así aunque presente en cantidades excesivamente pequeñas es un elemento muy importante en todos los procesos vitales. Este elemento en su forma ferrosa se absorbe en un 30% en el intestino, es transportado por la transferretina a la globulina. Se excreta por orina y heces en cantidades que depende de la ingesta diaria.

3.3.6. COBRE.

El cobre es uno de los metales traza más abundantes. Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea puro o en aleaciones, es un micronutriente esencial. Puede encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, sedimentos y biota en algunas áreas con actividades mineras. La mayoría de los efectos tóxicos son debidos a la exposición inmediata al elemento. No obstante, no existen pruebas de amplificación de las cadenas tróficas. Todos los organismos experimentan daño, debido a concentraciones excesivas (Duffus, 1983).

Cobre en las plantas.

El cobre desempeña acciones catalíticas en las plantas en diversas enzimas (polifenol oxidasa y ácido ascórbico oxidasa). Se ubica también en la plastocianina de los cloroplastos. Otras enzimas en las que interviene el Cu son: diamina oxidasa (chicharo), proteína azul (Frijol Mungo), entre otros. Los síntomas de deficiencia se caracterizan por la necrosis en las hojas con una apariencia de marchitez y oscurecimiento enrollándose, otro de los síntomas es la presencia de frutos en forma irregular. En exceso el cobre impide la absorción de hierro y causa que no se desarrollen las raíces (Raymon, 1987; López, 1994).

Cobre en el suelo:

El cobre se presenta como iones tipo Cu^+ y Cu^{2+} los cuales son intercambiables; la solubilidad del cobre es mayor bajo condiciones ácidas del suelo y va disminuyendo a medida que aumenta el pH. La mayor parte del cobre en el suelo proviene de las partículas minerales que se erosionan; por lo tanto, las deficiencias son bastante frecuentes en suelos orgánicos como la turba y el humus. Debido a la falta de disponibilidad del cobre, los suelos calcareos presentan ocasionalmente síntomas de deficiencia de este elemento. Los suelos arenosos frecuentemente son deficientes debido a la lixiviación y a la falta de reincorporación por medio del intemperismo geológico (Gordon, 1984).

Cobre en el organismo humano.

El cuerpo contiene entre 100 y 150 mg de cobre, distribuido en todos los tejidos. Entre las funciones se han encontrado la activación de algunas enzimas. La ingesta excesiva de cobre es venenosa para el hombre, dosis bastante bajas de sulfato de cobre pueden provocar vómitos. Sin embargo la deficiencia de este provoca anemia y cambios óseos (Muller, 1988, Sánchez, 1989).

La ingesta de cobre puede ser por alimentos y agua, el 50% se absorbe en el estómago y el duodeno, pero puede verse afectada por zinc que compete con el ácido ascórbico. El cobre absorbido está expuesto por la seroplasmina y es transportado por el plasma, almacenándose en el cerebro, hígado y músculo.

Los mecanismos de captación celular de cobre pueden ser: por transporte activo con gasto energético facilitado por aminoácidos o el más importante que es por difusión. La ruta de excreción principal es por bilis, otras rutas incluye el sudor, orina, y saliva.

El sulfato de cobre es utilizado como emético, la ingestión inadecuada puede causar inmediatamente sabor metálico, náuseas, vómito y en caso más severo diarreas, úlceras, molestias en el tracto gastrointestinal, ictericia y supresión de la orina. En los casos fatales se incluyen efectos secundarios como la hipertensión, shock y coma (Bonis, 1994; Carson, 1971).

3.3.7. SODIO.

Sodio en las plantas.

Se ha descubierto su utilidad en el crecimiento de muchas plantas, particularmente las halófitas que responden a él y tienden a acumular grandes cantidades (*López, 1994*).

Sodio en el organismo humano.

La cantidad presente en el cuerpo humano es de 64 g. Entre las funciones esta el equilibrio ácido-base, regulación del agua corporal y función nerviosa. Deficiencia de este provoca calambres, reducción del apetito, mientras que un exceso produce elevación de la presión sanguínea. El suministro es a partir de la sal común (NaCl).

Las dietas comunes suelen aportar de 3 a 7 g de sodio al día, cantidad más que suficiente para satisfacer las necesidades del cuerpo. La mayor parte de la sal consumida es excretada por los riñones, siendo variable la cantidad que se pierde a través de la piel y en las heces. En el individuo normal, el sodio es absorbido casi en su totalidad en el tracto gastrointestinal, aunque pueden producirse grandes pérdidas con la diarrea o el vómito (*Sánchez, 1989*).

3.3.8. PLOMO.

El hombre ha utilizado el plomo desde hace muchos años; por ejemplo, alrededor de los años 7 000 y 5 000 A.C., los egipcios ya lo utilizaban para vidriar vasijas. Las concentraciones en el ambiente se han elevado conforme ha aumentado su uso. Este aumento ha sido notorio sobre todo a partir de 1750, y es paralelo al desarrollo de la Revolución Industrial. A finales de la Segunda Guerra Mundial, la contaminación ambiental por plomo se elevó aún más, entre otras causas, por la introducción de compuestos orgánicos de plomo como aditivos para la gasolina.

Este elemento se encuentra en el grupo IV A de la tabla periódica y sus estados de oxidación son 0, +2, +4. Su número de valencia generalmente es 2, pero también reacciona con valencia 4, sobre todo en compuestos orgánicos (*Albert, 1988*).

En la actualidad, se utiliza principalmente en la producción de acumuladores, pigmentos, esmaltes cerámicos, cristal de plomo, antidetonante en la gasolina, plásticos y soldaduras entre otros (Malina et al., 1979).

Plomo en las plantas.

La importancia de evaluar el contenido de plomo en las plantas radica, en que muchas de ellas son parte fundamental de las cadenas alimenticias y de la economía del país. La entrada de este metal a las plantas depende básicamente de tres factores:

- Concentración de plomo en la atmósfera.
- Concentración de plomo disponible en el suelo.
- Características morfológicas del vegetal.

El plomo puede entrar al vegetal vía suelo-raíz o vía atmósfera-porciones aéreas, la vía predominante va a estar determinada por la concentración de plomo existente en el medio de la planta. La raíz capta únicamente el plomo disponible que se encuentra en el suelo, lo cual está determinado principalmente por sus propiedades físicas y químicas, el comportamiento general indica, que el contenido en la planta, aumenta con el incremento de la fracción disponible en el suelo, cuando el pH del suelo aumenta, la solubilidad y movilidad del metal disminuye, la entrada de plomo a la raíz se incrementa cuando el pH del suelo es ácido ya que este tiende a acumularse en estas estructuras (Broger et al., 1972; Zimbhal et al., 1972; Ready, 1977)

A temperaturas de 20-25°C la raíz absorbe mayores cantidades de este elemento que a temperaturas de 5°C, probablemente este incremento es consecuencia de la actividad metabólica de la raíz. En general las plantas con raíces poco profundas captan más plomo, que los vegetales de enraizado profundo (Glaier et al., 1972).

La reacción de los vegetales con el plomo es diferente en cada especie vegetal, y aún en cada variedad, por ejemplo en la lechuga en concentraciones mayores de 5 ppm se presentan reducciones en la producción de materia seca, aunque requiere mayores concentraciones para causar síntomas de toxicidad, ya que se restringe la síntesis de clorofila y reducción de la fijación de CO₂ por inhibición de la fosforilación fotosintética, se atribuye a que el plomo induce el cierre estomático. Disminuye el crecimiento al interferir en la producción y mecanismo del ácido indol-3-acético (IAA), que funciona quelando al calcio, proceso en el que compete el plomo, lo que genera en conjunto una disminución de la productividad (López, 1987).

Plomo en el organismo humano:

Los compuestos inorgánicos de plomo de los alimentos son pobremente absorbidos en los adultos y su velocidad de absorción es proporcional a su concentración. Muchos de los aniones (fosfatos y sulfatos), componentes también de los alimentos, pueden reaccionar con el plomo dando sales insolubles que no se absorben en el tracto digestivo. En alimentos se ingieren de 0.1 a 0.4 mg/día y solamente 5 a 10% de esta cantidad se absorbe. El plomo absorbido por esta vía llega al hígado y de ahí se distribuye a todo el organismo.

Cuando la cantidad de plomo introducida por vía bucal aumenta, la excreción fecal crece proporcionalmente; resulta importante señalar que el plomo en las heces se mantiene elevado mientras se conserva la ingesta.

En el mecanismo básico de esta absorción existen varios factores a tomar en cuenta:

- a) La solubilidad de las sales de plomo
- b) El tamaño de las partículas
- c) La profundidad y frecuencia de respiración
- d) Las variaciones estructurales y fisiológicas del sistema respiratorio (*Molina et al., 1979*)

Los animales y el humano pueden absorber plomo por inhalación o ingestión. Sólo el tetractilo de plomo puede ser absorbido a través de la piel. La absorción es muy lenta pero la excreción lo es más, de manera que el plomo tiende a acumularse.

La mayor parte del plomo absorbido es incorporado en los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo, pudiéndose encontrar inicialmente en el hígado y riñones, puede pasar a los huesos, dientes y cerebro. En los huesos, el plomo queda inmovilizado y no contribuye a la toxicidad inmediata, pero es un peligro potencial puesto que puede movilizarse durante las enfermedades con fiebre y en la vejez.

La anemia es el primer síntoma del envenenamiento crónico producido por plomo, dado que interfiere en la síntesis del grupo hemo, asociado a síntomas abdominales que puede incluir náuseas, vómito y dolores abdominales. Más grave es la degeneración del tejido en el sistema nervioso central, que también se observa especialmente en los niños (*Duffus, 1983; Barberá et al., 1990*).

3.3.9. CADMIO.

Esta presente en la corteza terrestre en forma de mineral, pero también es producido comercialmente como subproducto de la producción de otros metales (Zn, Pb y Cu). Algunos estudios en Europa citan que la presencia del cadmio en la atmósfera es causada por la industria de acero, siguiendo con la actividad volcánica y la producción de Zn. El humo del tabaco contiene cantidades considerables de cadmio de 0.1 microgramos por cigarro (*Carson, 1971*).

Este elemento pertenece al grupo II B de la tabla Periódica y se encuentra en el subgrupo que incluye también al zinc y al mercurio. Su número de valencia es +2.

En la actualidad existe una restricción constante en el uso del cadmio, tanto para las aplicaciones existentes como para el desarrollo de nuevas tecnologías. Esto último se debe a que se ha comprobado que el cadmio es persistentemente tóxico aún en concentraciones muy pequeñas y a que se concentra fuertemente en las cadenas alimenticias. Su tiempo de vida media en los organismos (especialmente en mamíferos) es indefinido y puede durar varios años.

El cadmio usualmente se extrae a partir de minerales de zinc, especialmente de sulfuro de zinc. Industrialmente, el cadmio se usa como agente antifricción, como agente antioxidación y en aleaciones. También se usa en los semiconductores, varillas de control para los reactores nucleares, bases de electrodeposición, manufactura de PVC y baterías (*Duffus, 1983*).

Cadmio en las plantas.

Las plantas no tienen mecanismos para excretar el cadmio y, una vez que lo absorbieron, lo retienen en sus tejidos. Sin embargo, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta y esto tiende a restringir el movimiento del catión a las cadenas alimenticias.

Los efectos perceptibles de la fitotoxicidad del cadmio dependen de la especie; algunos de los más comunes son la clorosis que incluye una reducción en el contenido de clorofila, marchitez y, en ocasiones, necrosis. Este tipo de efecto se debe principalmente a que las altas concentraciones de cadmio inhiben la fotosíntesis y la fijación del bióxido de carbono.

Cadmio en suelo.

Generalmente, las concentraciones de este elemento son inferiores a 1 mg/kg en suelos y se mantienen entre 0.01 a 0.5 mg/kg. Las principales variaciones en el contenido de cadmio en este tipo de suelo se deben a la composición de la roca madre y al suministro de metales que provienen de fertilizantes, abonos, agroquímicos y la contaminación atmosférica. En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las plantas (*Albert, 1988*).

En el ambiente, el cadmio es muy peligroso porque muchas plantas y algunos animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. No obstante, de ordinario la retención a partir del alimento por parte de los mamíferos es baja pero la absorción aumenta si los mamíferos están sometidos a una dieta baja en calcio.

Cadmio en el organismo humano.

Su estructura atómica se parece mucho a la del zinc, lo que permite que lo sustituya en algunas enzimas como la carboxipeptidasa, la cual cataliza la degradación de péptidos. En este caso dicha sustitución podría inhibir la acción enzimática correspondiente.

Cantidades considerables de este elemento se ingieren a través de los alimentos, lo cual es muy importante sobre todo para la población que no está expuesta ocupacionalmente.

Las personas con baja proporción de hierro en la sangre tienen una absorción promedio cuatro veces mayor que los individuos con concentraciones normales de hierro, este factor y otros, como la deficiencia de proteínas, calcio, etc., pueden favorecer considerablemente la absorción del cadmio.

Después de ser absorbido, el cadmio se transporta por la sangre a todas las partes del cuerpo asociándose con las proteínas de bajo peso molecular, metalotioneína, y se acumula en el hígado y riñones por lo que se encuentra en ellos en mayores concentraciones que en otros órganos, suele acumularse en los órganos reproductores, así como también en páncreas y las glándulas salivales.

Ya que el cadmio es acumulativo, las concentraciones en los tejidos alcanzan su máximo de 30 mg (20-50 mg) cuando el individuo llega a los 50 a 60 años, después existe un ligero descenso. Dosis muy pequeñas pueden causar vómitos, diarrea y colitis. La exposición continua al cadmio causa hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura. La principal vía de eliminación del cadmio en el hombre es la orina; en promedio, las concentraciones en ella son inferiores a 5 ug/día. Sólo pequeñas cantidades de cadmio se llegan a eliminar por el sudor, la exfoliación epitelial y el pelo (*Duffus, 1983, Albert, 1988, García, 1991*).

La cantidad presente en el cuerpo es de 0.006 g/70 Kg. Dentro de los alimentos se pueden encontrar en grasas, aceites vegetales y carnes. Está involucrado en el metabolismo de la glucosa (*Sánchez, 1989*).

3.3.10. CROMO.

Lehman, en 1762, descubrió en Siberia un nuevo mineral que se conoce con el nombre de crocoíta o crocoisita, cuyo principal componente es el cromato de plomo. En 1854, Bunsen aisló el cromo mediante electrólisis a partir de una disolución de cloruro cromoso. Su nombre proviene de la palabra griega *chromos* que significa color y es llamado así en vista de que sus compuestos tienen vivos colores.

El cromo nunca se halla en estado libre en la naturaleza, aunque sus componentes están muy diseminados. Algunos minerales y piedras preciosas deben su color al cromo. La fuente mineral más importante del cromo es la cromita (FeCr_2O_4) y se utiliza para fines comerciales.

El cromo es un elemento blanco azulado, muy duro. Pertenece al grupo VI de los elementos de transición y sus valencias son +2, +3, +5, +6. El cromo hexavalente, Cr^{+6} , es más tóxico que el trivalente, Cr^{+3} . Este último se encuentra en la cromita pero al entrar en contacto con el oxígeno del aire, se oxida convirtiéndose en Cr^{+6} . El cromo forma compuestos ácidos y sales de cromo. Debido a la toxicidad del Cr^{+6} , debe reducirse al estado trivalente para formar productos insolubles antes que los residuos de cromo pasen al ambiente (*Duffus, 1983, Albert, 1988*).

Para la mayoría de los microorganismos, es esencial como micronutrientes en cantidades traza para el metabolismo de las grasas y de los hidratos de carbono. En la industria se usa para fabricar aceros, recubrimientos de cromo y para curtir el cuero. En diversos procesos industriales se utiliza en la producción y las aleaciones

de acero, como material refractario, fabricación de pinturas y pigmentos, curtido de pieles, fungicidas, preservadores para la madera, anticorrosivos y otros. Normalmente se encuentra en los alimentos, agua y aire en concentraciones que no representan un riesgo para la salud (Carson, 1971).

El cromo se considera como un elemento esencial en concentraciones de microgramos, ya que interviene en el metabolismo de la glucosa y/o mecanismos de acción de la hormona pancreática insulina (López, 1987).

Los cromatos son solubles en agua y pueden envenenar los procesos de tratamiento de aguas cloacales (Duffus, 1983).

Cromo en el organismo humano.

Los compuestos de cromo pueden ingresar al organismo humano por exposición accidental. Es absorbido en los pulmones a pesar de que muy pequeñas proporciones son depositadas en este tejido en forma insoluble.

Los compuestos de cromo se presentan en diversas formas: líquidos, sólidos, aerosoles líquidos, aerosoles sólidos y vapores y de esto depende la vía de entrada.

Normalmente, el cromo en concentraciones naturales, se deposita en piel, pulmones, músculos y grasa de mamíferos superiores, pero, cuando se encuentra en cantidades superiores a las naturales y/o por largo tiempo, se acumula en hígado, bazo, espina dorsal, cabello, uñas y placenta.

Una vía secundaria pero importante es el caso de ingestión de alimentos que contienen dicho contaminante. Las dosis absorbidas por vía oral en el humano son menores al 1% para el Cr^{+6} , y al rededor del 2% para el Cr^{+3} (Duffus, 1983).

El cromo al igual que otros metales se une a las proteínas y en las células del túbulo proximal de riñón y altera la filtración de proteínas. El 80% de los compuestos de cromo se elimina por la orina, y el resto por heces, cabello, uñas y leche.

Algunos efectos adversos son lesiones de piel tales como úlceras, dermatitis por contacto y reacciones alérgicas agudas. Por otro lado se encuentran que los cromatos irritan los ojos, nariz y garganta, y la exposición crónica puede provocar daños en el hígado, riñones e incluso cáncer en el pulmón. Un efecto característico es la aparición de perforaciones en el septo nasal. A nivel celular parece ser que el cromo

hexavalente puede causar anomalías cromosómicas (Vellion, 1986; Albert, 1988; Barberá et al., 1990).

3.3.11. NIQUEL.

El níquel se usa en varias formas para recubrimiento, como catalizador, como mordiente y en cerámica. Es utilizado en numerosas aleaciones por sus características de dureza y también muy empleado como reactivo en síntesis. Es un micronutriente para la mayoría de los microorganismos, pero en cantidades excesivas ejercen efectos tóxicos. En los animales, estos efectos abarcan dermatitis y desórdenes respiratorios, incluido cáncer de pulmón después de la inhalación. Entre las enzimas inhibidas están el citocromo oxidasa, isocitrato deshidrogenasa y maleico deshidrogenasa. Un derivado particularmente venenoso del níquel es el níquel-tetracarbonilo.

Níquel en las plantas.

El níquel es parte fundamental de una enzima denominada ureasa, que cataliza la hidrólisis (degradación en que se utiliza H_2O) de urea en CO_2 y NH_4^+ . Debido a que la ureasa es esencial para las plantas, entonces el níquel puede ser considerado un elemento esencial para ellas.

Níquel en el organismo humano.

La cantidad presente en el cuerpo es de 0.010 g/70 kg. Los alimentos donde podemos encontrarlo son mariscos, carnes y granos. La deficiencia provoca neumonía (Sánchez, 1989; García, 1991)

3.4. NUTRIMENTOS Y LA RELACION SUELO-PLANTA.

El suelo es un sistema muy complejo, en un volumen determinado coexisten tres fases en estrecho equilibrio, la sólida, líquida y la gaseosa. La fase sólida puede ser mineral u orgánica. La porción mineral está compuesta de partículas de composición, formas y tamaños muy diversos. La fracción orgánica abarca desde organismos en estado de vida activa hasta residuos vegetales y animales en distintos estados de descomposición. La fase sólida es la que predomina y está rodeada de películas acuosas que forman la fase líquida. La fase gaseosa ocupa aquella parte del espacio de poros entre las partículas de suelo que no están llenas de agua. Las interrelaciones físicas y químicas entre las tres fases están afectadas, además por sus respectivas propiedades; temperatura, presión y luz. Desde el punto de vista nutrición de la planta la más interesante es la fase sólida.

Las arcillas son minerales cristalinos constituidos por átomos ordenados de silicio, aluminio, hierro, magnesio, oxígeno y grupos oxidrilos. La cantidad de cationes retenidos por la arcilla recibe el nombre de "capacidad de intercambio catiónico". En principio, cuanto más arcilloso sea un suelo mayor capacidad de intercambio tendrá, así mismo depende en parte del pH del suelo.

Los principales cationes de intercambio, importantes para la nutrición de la planta son: Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ y algunos microelementos (Mn^{+2} , Zn^{+2} , Cu^+ y Fe^{+2}). Los aniones son Cl^- , SO_4^{-2} , PO_4^{-2} y NO_3^- . Los dos primeros sólo son fijados a valores muy bajos de pH, careciendo de interés práctico. En cambio, los aniones fosfatos son adsorbidos fuertemente, incluso, a valores de pH, por encima de la neutralidad. Ocorre que el fosfato forma compuestos insolubles con el calcio, hierro y aluminio, por lo que resulta muy difícil distinguir los efectos del verdadero intercambio con los de la precipitación química. Un catión en el suelo puede existir en tres formas: en solución (disuelto), en forma intercambiable y formando parte de la estructura no intercambiable (precipitado).

Por las condiciones que presenta el suelo, resulta la fuente que suministra los nutrientes a la planta. La cantidad total presente de cada nutriente no determinará por sí sola su disponibilidad, sobre la que influye el pH y la provisión de O_2 (Pérez, 1994).

Los nutrientes de la disolución del suelo provienen de muchas fuentes, tales como intemperismo químico de la mineralización, descomposición de materia orgánica y aplicación de fertilizantes. Una vez que está en disolución, un nutriente puede sufrir muchas y variadas reacciones.

La baja solubilidad de algunos iones metálicos pueden ser contrarrestada si se forman quelatos, en los que el ion forma un complejo con moléculas orgánicas solubles. Los aniones nitrato, cloruros son muy solubles y no forman compuesto insolubles en el suelo, permaneciendo en solución hasta que son absorbidos por las plantas y microorganismos, o bien son lavados. El sulfato actúa de forma similar en los suelos neutros o alcalinos, pero tienden a ser adsorbidos en suelos ácidos.

La mayoría de los demás nutrientes forman compuestos más o menos insolubles, tendientes a mantener una concentración de equilibrio en la solución del suelo. De esta forma los nutrientes de la disolución del suelo están equilibrados con los adsorbidos en el complejo de cambio. Cationes como el cobre y el zinc que son ácidos de Lewis, forman complejos con la materia orgánica del suelo; el hierro y el aluminio forman hidróxidos y óxidos insolubles; el fósforo forma fosfatos de hierro, aluminio y calcio no solubles, entre otros.

La solubilidad de los hidróxidos de hierro y aluminio depende de los radicales OH^- y decrece cuando el pH aumenta. El catión H^+ compete directamente con otros ácidos de Lewis para ocupar lugares de acomplejamiento y por ello la solubilidad del zinc y el cobre aumenta cuando el pH baja.

La concentración de iones H^+ determina la capacidad de cambio dependiente del pH y, también, la capacidad de cambio de aniones; por ello afecta, en alguna extensión, la concentración de todos los cationes y aniones intercambiables. Los aniones molibdato y sulfatos adsorbidos al complejo de cambio, así como el fósforo ligado al hierro y al aluminio, incrementan su solubilidad cuando sube el pH. Además el pH controla las solubilidades de carbonatos y silicatos, por lo que se afectan algunas reacciones redox, influye sobre la actividad de algunos microorganismos y determina la forma química en la que existe el fosfato y carbonato en la disolución del suelo.

Otro factor determinante de la concentración de un nutriente en la disolución del suelo es el potencial redox, que guarda relación con la aireación del suelo, el cual a su vez depende de la respiración microbiana y de la velocidad de difusión del oxígeno. La energía requerida para la nutrición se genera durante el proceso de respiración de las raíces. La escasez o ausencia de O_2 en el suelo determinará que predominen las formas químicas reducidas, que suelen ser menos solubles o absorbibles. Afectando a aquellos elementos que en el intervalo normal de potenciales redox de los suelos, pueden existir en más de un estado de oxidación. Tales elementos son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno (en un ambiente oxidante estará principalmente en forma de nitrato, que se absorbe mejor que el amonio), azufre, hierro, manganeso y cobre. El agua del suelo influye en forma directa ya que la difusión del oxígeno a través de poros llenos de agua es mucho menor que si están llenos de aire.

Otros factores del suelo importantes además del pH y concentración de oxígeno que también afectan a la disponibilidad de nutrimento para ser absorbidos por las plantas son:

1. **Temperatura del suelo:** La adsorción de nutrimentos se relaciona con la actividad metabólica, la cual a su vez depende de la temperatura. Así en tiempo de frío se requieren mayores aportes de fertilizante, que en tiempo caluroso, para obtener una misma respuesta. Esto es particularmente cierto en el caso del fósforo.
2. **Reacciones antagónicas:** Se sabe que existen antagonismos entre muchos iones, aunque el mecanismo de ello no ha sido todavía suficientemente estudiado. Por ello, la disolución del suelo debe tener un adecuado balance de todos los constituyentes.
3. **Elementos tóxicos:** Algunos de ellos pueden interferir con los procesos metabólicos de la planta. Tal es el caso de altas concentraciones de manganeso y aluminio en suelos ácidos, de las sales solubles y de algunos microelementos, en especial el boro.

La raíz por su estructura y su localización en el suelo, es el órgano vegetal especializado en la absorción de nutrimentos, y de hecho la mayor parte de su captación tiene lugar a través de ella. El vástago y sobre todo las hojas, son capaces de absorber diversas sustancias aportadas por el polvo o la lluvia. La absorción de nutrimentos dependerá de varios factores. Entre los factores endógenos resulta de especial relevancia el crecimiento de la raíz, gracias al cual la planta puede explorar nuevos volúmenes de suelo.

Debido a que en la absorción de nutrimentos están implicados los mecanismos de transporte activo (con gasto de energía metabólica) a través de las membranas de las células de la raíz, también influye en este proceso la provisión de un sustrato respiratorio que en forma de azúcares genera la fotosíntesis y que por lo regular llega a la raíz por el vástago.

Las vías que permiten a las moléculas de diferentes iones atravesar las membranas biológicas pueden ser de tipo pasivo, debidas a la diferencia de potencial electroquímico de un lado y otro de la membrana, pero también puede basarse en sistemas de transporte activo propios de la membrana. El movimiento pasivo de un ion a través de una membrana puede predecirse a partir de la diferencia de potencial electroquímico a ambos lados de la membrana y debe tomarse en cuenta la interacción entre la carga eléctrica del ion.

La difusión de un ion a través de la membrana dependerá de la diferencia de potencial electroquímico, pero se verá influida también por la facilidad con la que la membrana pueda ser atravesada por una molécula, es decir, por su permeabilidad.

En el transporte a través de las membranas intervienen además mecanismos activos, capaces de mover moléculas en contra de su gradiente de potencial electroquímico, cuyo funcionamiento requiere de un transporte de energía metabólica. El transporte activo está asociado a proteínas que actúan como transportadores consumiendo ATP.

La capacidad de un nutrimento para ser asimilable depende tanto de los factores que afectan a la facultad del suelo para abastecer a la planta, como los de la misma para provisionarse de ese nutrimento (*Pérez, 1994*).

Un nutrimento puede estar colocado justo al lado de la raíz o en un espacio algo distante. Dada la movilidad de las raíces de la planta, de alguna forma, el nutrimento debe llegar al alcance de aquellos por los siguientes mecanismos:

a) Interceptación por las raíces.

Ya que las raíces proliferan en el suelo, ocuparan espacios contiguos a los nutrimento y éstos podrán ser absorbidos sin ningún tipo de movimiento.

b) Flujo de masas.

El agua del suelo está en continuo movimiento. Cuando la planta absorba agua para reemplazar a la perdida por transpiración, se producirá también un flujo de nutrimento. El porcentaje de nutrimentos que puede ser satisfechos por este mecanismo depende de:

- 1) Las necesidades de la planta para ese nutrimento.
- 2) La concentración del mismo en la disolución del suelo.
- 3) Cantidad de agua transpirada por unidad de peso de tejido.
- 4) El volumen efectivo de agua en circulación que entra en contacto con la superficie de la raíz, en respuesta con el gradiente de potencial de agua, haciendo uso de la concentración del nutrimento en la solución del suelo y de la cantidad de agua transpirada.

c) Difusión (*López, 1990*).

Cuando se lleva a cabo el mecanismo de absorción de nutrimento puede ser que se absorban también algunas sustancias tóxicas y llevar a cabo todo su proceso metabólico.

Si la sustancia tóxica es un contaminante ambiental, debe haber sido absorbida por la planta por los dos centros más probables: raíces y hojas. Las raíces absorben principalmente solutos contenidos en el suelo y dicha absorción implica primariamente iones y compuestos solubles en agua. Esta absorción depende mucho de la naturaleza de la solución existente en el suelo, que viene afectada por la afinidad de las partículas del suelo por los solutos y por la actividad de los microorganismos del suelo que los metabolizan.

Las sustancias tóxicas absorbidas por las raíces son frecuentemente retenidas en los órganos de almacenamiento radiculares, y tienden a persistir ahí mucho más tiempo que en hojas o tallos.

La absorción realizada por las hojas puede ser de sustancias gaseosas procedentes de la atmósfera, o de sustancias disueltas en la lluvia, nieve o las aspersiones que se aplican para el control de plagas. En el caso de los componentes solubles en lípidos, la absorción por las hojas es muy acusada, puesto que estos compuestos pueden penetrar por la cutícula cérica. Las sustancias gaseosas pueden entrar a través de los estomas, pero de nuevo la solubilidad en los lípidos contribuye a su absorción a través de las membranas de las células foliares.

Las tasas de absorción de las sustancias tóxicas por las plantas dependen mucho de los factores ambientales, como la duración del día; calidad de la luz y su intensidad; temperatura; contenido de humedad, composición química de los suelos; humedad del aire, anexando a estos diversos tipos de contaminación, una de las cuales es el riego de aguas negras a cultivos. Estas aguas se generan a partir del gran desarrollo industrial y los altos índices poblacionales de las ciudades y debido a la escasez de aguas blancas son muy utilizadas, en la región bajo estudio.

Una vez que han sido absorbidas, las sustancias pueden pasar de una célula a la célula adyacentes a lo largo de las hebras citoplasmáticas, denominadas plasmodesmos, que atraviesan las paredes celulares circundantes. Alternativamente las sustancias absorbidas pueden pasar a la disolución acuosa existente junto a las paredes celulares y difundirse a través de ella. Esta difusión está limitada en la raíz por las bandas de Caspary, una parte suberizada de la pared de la célula endodérmica, que separa la corteza del tejido vascular. Una vez que la sustancia entra al tejido vascular, puede ser transportada con rapidez desde las raíces hasta las hojas a través de la corriente de transpiración por el Xilema o más lentamente desde las hojas hacia abajo por el floema. La absorción de sustancias a partir del sistema

vascular varía a lo largo de la planta, dependiendo de la naturaleza de los tejidos, su estado hormonal y las condiciones ambientales.

Las sustancias tóxicas que ingresan en las células vegetales pueden reaccionar con los componentes celulares ejerciendo efectos dañinos o pueden ser metabolizados directamente. El metabolismo implica transformaciones como hidrólisis, conjugación y la acción del sistema del citocromo P₄₅₀ (oxigenasa de función mixta).

Por otra parte, las células vegetales pueden secuestrar sustancias tóxicas en sus vacuolas. Además del desprendimiento de tejido muerto que ha sido envenenado y más raramente la pérdida por evaporación, exudación radicular, éste es el principal medio de excreción de las sustancias tóxicas y sus derivados.

3.5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA.

La Espectroscopia Atómica se basa en la medida de la absorción, emisión o fluorescencia de la radiación electromagnética por parte de átomos en un medio gaseoso. Hay tres tipos de técnicas basadas en la atomización del elemento a cuantificar: la Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), la Espectroscopia de Emisión Atómica (EEA) y la Espectroscopia de Fluorescencia Atómica (EFA). Los métodos empleados en estas técnicas son muy sensibles y pueden utilizarse para determinar concentraciones en el intervalo de partes por millón o partes por billón. (Skoog, 1990).

La Espectroscopia de Absorción Atómica con Llama, es una técnica muy empleada por ser altamente específica, precisa y casi libre de interferencias.

Para poder entender los principios de la espectroscopia atómica, se hace necesario una breve explicación del átomo y de los procesos atómicos involucrados en ella.

El átomo está constituido por un núcleo rodeado por electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el núcleo atómico y que conjuntamente con él, da una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada. La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como "estado fundamental" y es la configuración orbital normal para el átomo.

Si a un átomo se le aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida, e inducirá que un electrón sea promovido a un orbital de más alta energía y pasar al "estado excitado". Como este estado es inestable, el átomo de manera espontánea retornará a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retorna a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación.

La aspiración de la solución dentro de una llama vía un nebulizador, nos produce un fino spray o aerosol húmedo. El calor de la llama química primero desolvata, enseguida sufre una volatilización el aerosol. La absorción adicional de la energía termal sirve para convertir el vapor en átomos libres los cuales existen en equilibrio con iones y moléculas libres por ionización y asociación, respectivamente.

Las temperaturas de la llama varían desde unos 1700° a 3100°C o superiores, dependiendo del gas combustible y del gas oxidante utilizado. La llama de aire-acetileno es satisfactoria para la mayoría de los elementos determinados por Absorción Atómica y alcanza una temperatura de 2125° - 2400°C.

La fuente de radiación más utilizada en la Espectroscopia de Absorción Atómica es la lámpara de cátodo hueco. Consiste en un ánodo de tungsteno y un cátodo cilíndrico, encerrados en un tubo de vidrio, que contiene un gas inerte, como el argón, a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo se fabrica del metal cuyo espectro se desea obtener.

La Espectroscopia de Emisión Atómica con Llama, se emplea principalmente para la determinación de sodio, potasio y litio en tejidos y fluidos biológicos. Los instrumentos para las determinaciones por emisión de llama, son de diseño similar a los de Absorción Atómica con Llama, excepto que la llama actúa en este caso como fuente de radiación; por tanto, la lámpara de cátodo hueco no se requiere (Skoog, 1990).

LEY DE BEER.

El análisis cuantitativo por absorción y emisión atómica se apega a la ley de Lambert y Beer, implica la relación directa entre la cantidad de energía absorbida y el número de especies absorbentes. La energía absorbida tiene asociada una longitud de onda característica para cada elemento. La relación matemática más sencilla de esta ley esta dada por:

$$A = abc$$

Donde:

A = absorbancia.

a = coeficiente de absorción, constante para un mismo elemento.

b = longitud de la celda.

c = concentración de la especie absorbente.

3.6. UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Actualmente México ocupa el segundo lugar a nivel mundial, en el uso de agua residual destinada a riego agrícola, con 370 000 hectáreas, de esta superficie, el Valle del Mezquital contribuye con el 22% (Rodríguez, 1992).

El Valle del Mezquital es una extensa región ubicada al poniente del Estado de Hidalgo, las ciudades en las que se concentra la población son: Tula de Allende, Ixmiquilpan, Tepeji del Río, Actopan, Zimapán y Huichapan, es una región semidesértica, con escasa precipitación pluvial.

El municipio de Ixmiquilpan Fig. A, se encuentra en este Valle y representa solo el 2.20% de la superficie Estatal. Sus coordenadas geográficas son al norte 20°43', al sur 20°23' de latitud norte, al este 99°05' y al oeste 99°18' de longitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Zimapán, Nicolás Flores y Cardonal; al este con Cardonal y Santiago de Anaya; al sur con Santiago de Anaya, San Salvador, Chilcuautla y Alfajayucan, y al oeste con Alfajayucan, Tasquillo y Zimapán (INEGI, 1994).

En el Mezquital se ubica el Distrito de Desarrollo Rural 063, uno de los más grandes del país, recibe mayor volumen de aguas negras, aproximadamente 1 800 000 m³ al año, que significa un promedio de 57.08 m³/seg (Rodríguez, 1992).

En el Estado de Hidalgo las corrientes son escasas, debido principalmente al clima y a la topografía. En las porciones norte y noreste, aunque los vientos húmedos del Golfo propician abundantes lluvias, lo abrupto de la Sierra Madre Oriental impide el aprovechamiento de los escurrimientos, ya que descienden rápidamente a las zonas bajas, las cuales forman parte de los Estados de San Luis Potosí, Veracruz y Puebla. En cuanto a la explotación del agua subterránea ésta es baja, pues son pocas las áreas planas. Esta sierra y la de Pachuca actúan como barrera orográfica, debido a que los vientos descargan su humedad en las laderas norte y este de las mismas; por ello, en el resto de la entidad las lluvias son escasas, sin embargo, el relieve es más suave y permite la utilización de los pocos ríos importantes -Tula, Tizahuapan y Tulancingo- que corren por ella. Además, en esta parte existe un mayor aprovechamiento del agua subterránea, que en algunas áreas, ha originado la sobreexplotación y la veda de las mismas.

UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Tula, generado en el Estado de México, inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan en donde estas aguas son destinadas al riego agrícola, de ahí cambia su curso hacia el noreste para después confluir con el río San Juan del Río, a partir de donde recibe la denominación de río Moctezuma y funciona como límite natural entre Querétaro e Hidalgo. Esta cuenca reviste gran importancia tanto por su extensa superficie y la cantidad de afluentes que alimentan sus corrientes principales como por los distritos de riego que se ubican en ella.

Debido a que las corrientes permanentes de Hidalgo cruzan pocas poblaciones con gran desarrollo industrial y con índices elevados de población, la contaminación se limita principalmente a tres zonas:

Tula	Industria (Petroquímicos) Descargas Orgánicas (Aguas negras del Distrito Federal)	Río Tula	Agrícola
Tulancingo	Industrial (Textil)	Río Tulancingo	Agrícola
Pachuca	Descargas Orgánicas	Río Las Avenidas	Agrícola

Un aspecto negativo en esta zona es la utilización de aguas negras en la agricultura, pues esto implica un serio riesgo de contaminación de los acuíferos con detergentes y compuestos nitrogenados, debido a su alta transmisibilidad (*INEGI, 1992*).

UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

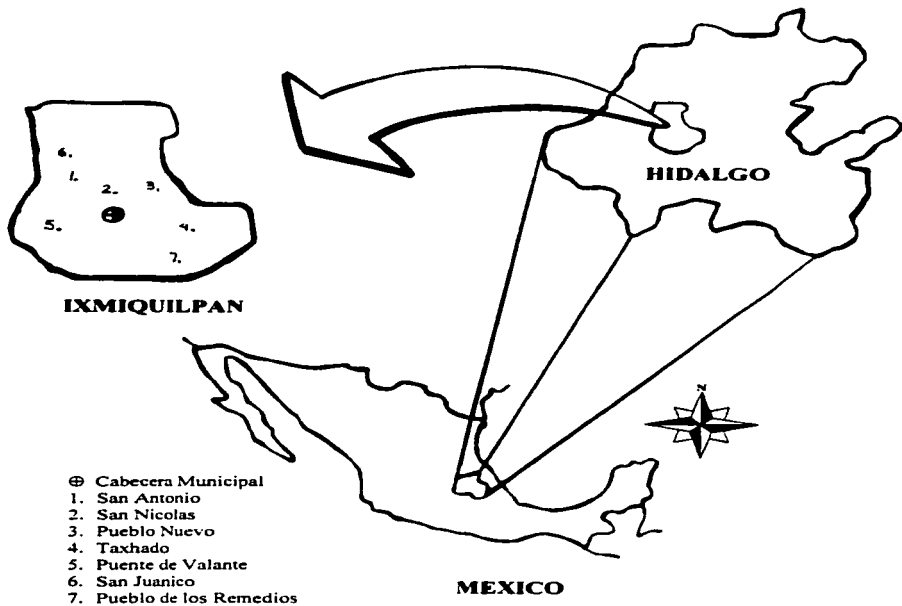


Figura A. Ubicación del Municipio de Ixmiquilpan en el Estado de Hidalgo.

LUGARES DE MUESTREO DE ESPECIES HORTICOLAS.

ESPECIE	LUGAR DE MUESTREO
Acelga	San Antonio (1) San Nicolas (2)
Brócoli	San Nicolas (2) San Antonio (1)
Calabaza	Pueblo Nuevo (3) Taxhado (4)
Cilantro	Puerto de Valante (5) San Juanico (6)
Coliflor	San Antonio (1) Pueblo de los Remedios (7)
Flor de Calabaza	Pueblo Nuevo (3) Taxhado (4)
Lechuga	Puerto de Valante (5) Pueblo de los Remedios (7)

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A principios de este siglo en el Valle del Mezquital empezaron los primeros riegos con aguas residuales procedentes de la cuenca del Valle de México, esta práctica se hizo extensiva debido a la escasez de aguas blancas para el riego agrícola. Estas aguas que originalmente llevaban desechos orgánicos se volvieron cada vez más complejas y contaminadas como consecuencia de la industrialización y explosión demográfica en la ciudad. Sin embargo, aunado al beneficio que aportan, trae consigo el daño ocasionado por la acumulación de contaminantes en el suelo, esta composición varía con el tiempo, época del año y tipo de industrias que se establecen, registrándose un daño en la cadena natural suelo-planta-hombre.

Actualmente en nuestro país se riegan 370,000 has. Contribuyendo el Estado de Hidalgo con el 22º de esta superficie, localizándose dentro de esta región el municipio de Ixmiquilpan a 84 Km de Pachuca. Dichas tierras son regadas con aguas residuales mezcladas con aguas blancas provenientes de manantiales y presas, este municipio pertenece a una zona agrícola de gran importancia en el país.

Estudios realizados al respecto, señalan por una parte las ventajas del riego con aguas residuales, principalmente porque los cultivos aprovechan los nutrimentos que contiene el agua, y por la otra los riesgos que presenta la presencia de metales pesados y coliformes fecales en los cultivos, especialmente los que se consumen crudos.

Los efectos del riego con las aguas residuales han sido motivo de preocupación por los riesgos que presentan para las personas que tienen contacto directo con el agua; la posibilidad de que los cultivos contengan elementos nocivos para la salud, y la propensión a contaminar el acuífero por el sobreriego que se realiza.

Por lo anteriormente planteado es de interés la evaluación de los niveles de concentración de elementos contaminantes: Pb, Cd, Cr, Ni y elementos constituyentes: Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K. Así como también realizar un análisis proximal para la evaluación de los niveles de contenido nutricional en 7 diferentes especies hortícolas regadas con aguas residuales provenientes del Municipio de Ixmiquilpan, Hgo.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de los elementos Pb, Cd, Cr, Ni, Fe, Cu, Zn, Mg, Ca, K, Na, así como el análisis proximal de hortalizas provenientes del municipio de Ixmiquilpan, Hgo. mediante la técnica de Absorción y Emisión Atómica con llama.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el muestreo al azar y sin reemplazo de diferentes cultivos de hortalizas en el municipio de Ixmiquilpan, Hgo.
- Evaluar el análisis proximal de siete diferentes hortalizas.
- Evaluar los niveles de metales constituyentes y contaminantes en las hortalizas seleccionadas.
- Determinar si existe una relación entre la cantidad existente de los metales, con la evaluación del análisis proximal.

6. HIPOTESIS

Si se conoce la concentración de elementos constituyentes, así como también de metales contaminantes y teniendo la evaluación correspondiente del análisis proximal entonces se podrá saber si la presencia de estos metales tiene relación con el contenido nutricional para las hortalizas provenientes del municipio de Ixmiquilpan, Hgo.

7. MATERIAL E INSTRUMENTOS**MATERIAL**

Papel aluminio	Pipetas Volumétrica 1, 10, 50 ml
Papel glaseen	Pipeta graduada 10 ml
Perlas de vidrio	Matraz Erlenmeyer 500 ml
Mortero con pistilo	Probeta 50 ml
Piseta	Matraz balón fondo plano 500 ml
Pinzas para bureta	Bureta 25 ml
Crisesoles	Matraz Kitasato 250 ml
Pinzas para crisol	Matraz volumétrico 50, 100, 500 ml
Desecador	Vaso de precipitado 100, 1000 ml
Espátula	Vaso Goldfish
Soporte universal	Matraz Kjeldahl 30, 800 ml
Mangueras	Embudo Büchner
Papel filtro	Pipeta Pasteur
Tela de Lino	Cartucho de papel filtro
Embudo talla corto	Refrigerante

El material de vidrio utilizado fue marca Pyrex.

EQUIPO E INSTRUMENTOS

Balanza analítica Sartorius 2842
Estufa Caisa Alfey
Espectrofotómetro de Absorción Atómica PYE UNICAM SP-192
Lámpara de cátodo hueco para cada elemento PYE UNICAM
Mufla Thermolyne Type 1500
Digestor LABCONCO
Campana de extracción
Destilador
Parrilla de calentamiento

REACTIVOS

Sulfato de Cobre pentahidratado	Hidróxido de Sodio (0.313 N) 1.25%
Sulfato de Potasio	Acido Metafosfórico 3%
Acido Sulfúrico concentrado	Diclorofenol-Indofenol
Agua destilada	Acido Acético 5 %
Agua Desionizada	Hidróxido de Sodio en lentejas
Hielo	Bicarbonato de Sodio
Polvo de Zinc	Éter
Acido Clorhídrico 0.1 N	Acido Perclórico
Indicador Rojo de Metilo 0.1 % en alcohol	Acido Nítrico
Hidróxido de Sodio 0.1 N	Peróxido de Hidrógeno.
Acido Sulfúrico (0.255 N) 1.25 %	

Los reactivos utilizados fueron de marca Merck.

MATERIAL BIOLÓGICO.

ESPECIES HORTICOLAS ANALIZADAS

<i>Nombre Científico</i>	<i>Nombre Común</i>
<i>Beta vulgaris v. Cycles</i>	Acelga
<i>Brassica oleracea v. italica</i>	Brócoli
<i>Cucurbita pepo v. Suchini</i>	Calabaza
<i>Coriandrum sativum</i>	Cilantro
<i>Brassica oleracea v. Botrytis</i>	Coliflor
<i>Cucurbita v. Suchini</i>	Flor de Calabaza
<i>Lactuca sativa</i>	Lechuga

* De las especies hortícolas se analizaron las partes comestibles.

8. DESARROLLO EXPERIMENTAL

TOMA DE MUESTRA, TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO.

El muestreo se realizó al azar y sin reemplazo, bajo las siguientes consideraciones:

- Se escogieron los lugares específicos dentro del huerto donde se tomaron las muestras.
- Se extrajo la planta desde la raíz, sin utilizar algún instrumento de metal, empleando guantes de hule desechables.
- Sacudiéndose las plantas para liberarlas de la tierra adherida.
- Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno limpias y de tamaño apropiado.
- Se transportaron las hortalizas recolectadas en un contenedor al laboratorio.
- Una vez en el laboratorio se sacaron las muestras de las bolsas y se limpiaron, evitando la manipulación excesiva:
 - a) En la lechuga se quitaron dos capas de las hojas externas, utilizando la parte restante.
 - b) La coliflor y el brócoli fueron liberados del follaje utilizando solo la parte comestible.
 - c) El cilantro, acelga y flor de calabaza se sacudieron y se seleccionó la parte comestible, eliminando todo tipo de cuerpos extraños.
- Estas muestras fueron analizadas inmediatamente en el laboratorio determinándose el contenido de vitamina C, puesto que esta se oxida fácil y rápidamente.
- Las muestras de manera individual se colocaron en papel aluminio extendiéndola para ser secada en la estufa.
- Una vez que las hortalizas estuvieron secas se procedió a molerlos con la ayuda de un mortero, hasta obtener partículas pequeñas de fácil manejo.
- Se colocaron las muestras en sus frascos respectivos etiquetándolos correctamente.
- Las muestras se guardaron en un lugar fresco y libre de polvo, de estos frascos se tomaron las cantidades necesarias para continuar con los análisis del estudio.

HUMEDAD**PROCEDIMIENTO.**

Pesar la muestra seleccionada en papel aluminio previamente pesado, colocar la muestra en la estufa a 130°C por 2 hrs Retirar la muestra, dejar enfriar en un desecador y pesar (*Aragón, 1994*).

Calcular el porcentaje de humedad, reportándola como pérdida por secado a 130°C

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

Donde:

A = peso del papel aluminio más muestra.

B = peso del papel aluminio más muestra después de secar a la estufa.

M = peso de la muestra en gramos.

CENIZA**PROCEDIMIENTO.**

En un crisol previamente puesto a peso constante en la mufla por 2 hrs a 600°C, pesar 1 g de muestra seca a la estufa. Calcinar la muestra, para ello carbonizar primero con mechero hasta que no se desprendan humos y colocar en la mufla hasta una temperatura de 600°C. Se suspende el calentamiento cuando las cenizas estén blancas o grises, aproximadamente 2 a 3 hrs (si se observan puntos negros, se humedecen con unas gotas de agua destilada, se secan en la estufa a 130°C y se vuelven a calcinar). Enfriar en el desecador y pesar (*Aragón, 1994*).

Calcular el porcentaje de cenizas:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso crisol con cenizas} - \text{Peso crisol vacío}) \times 100}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

PROTEINA CRUDA.**PROCEDIMIENTO.**

Se pesa 0.5-1.0 g de muestra, se colocan en un matraz de Kjeldahl de 800 ml: se agregan 0.3 g de sulfato de cobre pentahidratado, 5 g de sulfato de potasio o sulfato de sodio, 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, se coloca el matraz en el digestor Kjeldahl, abrir el extractor del vacío y calentar hasta total destrucción de la materia orgánica. La solución debe quedar totalmente cristalina (1 a 2 hrs). Enfriar. Diluir con 350 ml de agua destilada y enfriar sobre hielo.

Añadir 40 ml de una disolución concentrada de NaOH (100 g en 100 ml de agua), haciéndola resbalar lentamente por la pared del matraz de manera que se estratifiquen las dos disoluciones. No agitar porque puede haber desprendimiento prematuro de amoníaco. Adicionar 0.2 g de Zn en polvo y antiespumante, conectar inmediatamente el matraz a la trampa de Kjeldahl, unida al refrigerante que a su vez está conectado a una alargadera que va introducida en 50 ml de HCl 0.1N, contenidos en un matraz Erlenmeyer de 500 ml con cinco gotas de rojo de metilo 0.1% en alcohol.

Una vez conectado el matraz agitar para mezclar las dos capas e inmediatamente colocar en la parrilla ya caliente del destilador, regular la ebullición al inicio de ésta agitando de vez en vez. Destilar aproximadamente hasta un volumen de 250 ml. Suspender la destilación, retirando primero el matraz con el destilado de manera que la alargadera quede por encima y antes de apagar la parrilla dejar destilar unos minutos con objeto de lavar la alargadera por dentro y después lavarla por afuera recogiendo los lavados en el mismo matraz.

Titular el exceso de ácido con una disolución valorada de NaOH 0.1N, hasta vire amarillo del indicador. Corregir mediante una determinación en blanco de los reactivos usados, empleando la misma cantidad de papel (Aragón, 1994).

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml problema}) \times N(\text{NaOH}) \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

$$0.014 = \text{meq Nitrógeno.}$$

FIBRA CRUDA.**PROCEDIMIENTO.**

Pesar 2 g de muestra seca y desengrasada, agregar 200 ml de disolución de ácido sulfúrico al 1.25% (0.255N), llevar a reflujo durante 30 min. Filtrar al vacío a través de tela de lino, lavar con cuatro porciones de agua de la llave caliente hasta pH neutro. El residuo que permanece en la tela se pasa al matraz ya limpio y se repite la operación con 200 ml de NaOH al 1.25 % (0.313N). Se lleva a reflujo por 30 min, se filtra sobre la misma tela, se lava con 25 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y con tres porciones de 50 ml de agua caliente, comprobar que el filtrado no produzca una reacción alcalina.

Pasar cuantitativamente a un vaso de precipitados lavando con agua y se filtra sobre un crisol Gosch que lleva una delgada capa de asbesto y que ha sido calcinado durante una hora a 600°C. El crisol Gosch con el residuo se lleva a la estufa a 130-132°C, enfriar y pesar. Llevar a la mufla y calcinar a 600°C durante 30 min, enfriar y pesar (*Aragón, 1994*).

Cálculos.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(A - B) \times 100}{m}$$

Donde:

A = peso del gosch después de dos hrs a 130°C

B = peso del gosch después de calcinar 30 min a 600°C

m = peso de la muestra original en gramos (corregir el peso de la muestra desengrasada de acuerdo al % de grasa cruda encontrado).

VITAMINA C

PROCEDIMIENTO

La vitamina deberá extraerse de la hortaliza, para prevenir la oxidación de la vitamina C durante la extracción, se añade 10 ml de ácido metafosfórico al 3%, recién preparado, esto destruye la enzima ácido ascórbico oxidasa.

Tomar 5 g de la hortaliza fresca, homogeneizar en un mortero con 50 ml del ácido hasta la desaparición de grumos, filtrar la mezcla y colocar el filtrado en un matraz aforado de 100 ml, lavar cuantitativamente, agregar agua hasta aforo y mezclar. Para la determinación usar 10 ml de alícuota.

Se transfieren 10 ml del extracto de un matraz Erlenmeyer y añadir el colorante con la bureta. El color azul vira al rosa tan pronto como se pone en contacto con el ácido e inmediatamente se decolora por la vitamina C presente; continuar la adición del indofenol hasta que persista un color rosa por lo menos 10 seg, esto significa que la cantidad de colorante agregado ha reaccionado con todo el ácido ascórbico presente.

REACTIVOS:

-Disolución estándar de vitamina C: Preparar una disolución en ácido acético al 5% que contenga 1 mg/ml de vitamina C.

-Disolución de dicloro-indofenol: Pesar 25 mg de indofenol y 21 mg de bicarbonato de sodio, disolver y aforar a 500 ml con agua destilada. Para su titulación, tomar 1 ml de la solución estándar de vitamina C, agregando 9 ml de disolución de ácido acético al 5%, adicionar el colorante en una bureta hasta el color rosa persistente.

CÁLCULOS:

Reportar el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en mg/100 g (*Lucas, 1994*).

GRASA CRUDA.**PROCEDIMIENTO.**

Poner un vaso para Goldfish a la estufa durante 2 horas a 100°C enfriar y pesar. Pesar en un cartucho de celulosa 4 a 5 g de muestra, tapar con algodón y colocarlo en un sostén o recipiente con el fondo perforado. El sostenedor se coloca en un aparato. Por otro lado en el vaso ya pesado se colocan aproximadamente 40 ml de éter dietílico y se coloca en el Goldfish mediante un anillo de fierro con empaque de hule. Se sube la parrilla dando medio giro para un lado y después para el otro para que el vaso quede sostenido. Calentar 4 horas y comprobar que la extracción haya sido completa. Al finalizar se cambia el sostenedor con el cartucho por otro recipiente cerrado sin perforación y se vuelve a calentar para recuperar el éter del vaso, éste se retira del aparato y se coloca dentro de la estufa por espacio de 30 min, se enfría en el desecador y se pesa (*Aragón, 1994*).

CÁLCULOS.

$$\% \text{ Grasa Cruda} = \frac{(\text{Peso vaso con extracto} - \text{peso del vaso vacío}) \times 100}{\text{Peso muestra en gramos}}$$

DETERMINACION DE METALES.**PROCEDIMIENTO.**

A 0.5 g de muestra agregar 8 ml de mezcla ácida (ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido perclórico 5:1:1).

Calentar con precaución en el digestor hasta digestión completa, pasar esta disolución, a un matraz volumétrico de 50 ml, aforar con agua desionizada, filtrar y proceder a leer en el Espectrofotómetro de absorción atómica.

ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO

Elemento	λ (nm)	Flama	Límite de detección (ppm)
Cadmio (Cd)	228.80	Aire/Acetileno	0.002
Calcio (Ca)	422.67	N ₂ O/Acetileno	0.002
Cromo (Cr)	357.87	Aire/Acetileno	0.004
Cobre (Cu)	324.75	Aire/Acetileno	0.003
Fierro (Fe)	248.33	Aire/Acetileno	0.008
Plomo (Pb)	217.00	Aire/Acetileno	0.01
Magnesio (Mg)	258.21	Aire/Acetileno	0.0005
Níquel (Ni)	232.00	Aire/Acetileno	0.004
Potasio (K)	766.49	Aire/Acetileno	0.002
Sodio (Na)	589.00	Aire/Acetileno	0.0007
Zinc (Zn)	213.86	Aire/Acetileno	0.001

9. RESULTADOS

TABLA 1. METALES CONSTITUYENTES EN HORTALIZAS.

	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
Acelga	15.736	76.564	3180.15
Brócoli	23.030	102.162	156.962
Calabaza	16.742	88.993	185.507
Cilantro	23.099	91.516	1700.125
Coliflor	14.352	76.521	191.997
Flor de Calabaza	21.375	143.275	453.05
Lechuga	15.968	77.242	173.346

TABLA 2. METALES CONSTITUYENTES EN HORTALIZAS.

	K (%)	Na (%)	Mg (%)	Ca (%)
Acelga	5.927	3.396	3.447	0.384
Brócoli	5.125	0.382	0.840	0.225
Calabaza	7.242	0.130	1.588	0.159
Cilantro	9.922	0.965	1.872	0.841
Coliflor	5.004	0.384	0.554	0.187
Flor de Calabaza	8.612	0.159	2.235	0.349
Lechuga	5.654	0.523	0.887	0.346

TABLA 3. METALES CONTAMINANTES EN HORTALIZAS.

	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)
Acelga	7.722	19.682	48.592	29.82
Brócoli	4.947	29.920	31.665	17.976
Calabaza	12.667	24.985	27.184	20.367
Cilantro	3.200	14.985	29.508	41.623
Coliflor	5.859	19.943	28.349	23.489
Flor de Calabaza	11.65	12.500	21.027	27.472
Lechuga	7.164	29.959	44.202	14.052

TABLA 4. METALES CONSTITUYENTES EN HORTALIZAS DE ACUERDO CON DIFERENTES AUTORES.

	<i>Cu (ppm)</i>	<i>Zn (ppm)</i>	<i>Fe (ppm)</i>	<i>Autor</i>
<i>Acelga</i>	13.333	64.330	576.500	Grande, 1996
<i>Brócoli</i>	2.920	61.000	139.000	Buenrostro, 1995
<i>Calabaza</i>	6.150	52.000	296.000	Buenrostro, 1995
<i>Cilantro</i>	10.833	49.667	503.800	Grande, 1996
<i>Coliflor</i>	4.160	50.600	409.000	Buenrostro, 1995
<i>Lechuga</i>	9.333	41.333	675.800	Grande, 1996

TABLA 5. METALES CONSTITUYENTES EN HORTALIZAS DE ACUERDO CON DIFERENTES AUTORES.

	<i>K (%)</i>	<i>Na (%)</i>	<i>Mg (%)</i>	<i>Cu (%)</i>	<i>Autor</i>
<i>Acelga</i>	4.366	4.210	1.287	0.500	Grande, 1996
<i>Brócoli</i>	3.840	0.200	0.450	0.220	Buenrostro, 1995
<i>Calabaza</i>	4.950	0.130	1.050	0.520	Buenrostro, 1995
<i>Cilantro</i>	4.118	3.063	0.628	0.644	Grande, 1996
<i>Coliflor</i>	3.810	0.400	0.590	0.250	Buenrostro, 1995
<i>Lechuga</i>	4.320	1.415	0.563	0.356	Grande, 1996

TABLA 6. METALES CONTAMINANTES EN HORTALIZAS DE ACUERDO CON DIFERENTES AUTORES.

	<i>Cd (ppm)</i>	<i>Cr (ppm)</i>	<i>Ni (ppm)</i>	<i>Pb (ppm)</i>	<i>Autor</i>
<i>Acelga</i>	5.667	20.833	17.500	18.867	Grande, 1996
<i>Brócoli</i>	6.500	0.000	3.750	5.970	Buenrostro, 1995
<i>Calabaza</i>	6.660	0.000	8.330	9.530	Buenrostro, 1995
<i>Cilantro</i>	7.330	41.666	16.667	15.030	Grande, 1996
<i>Coliflor</i>	3.330	0.000	6.660	8.750	Buenrostro, 1995
<i>Lechuga</i>	9.333	37.500	15.000	19.683	Grande, 1996

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de concentración de metales que se ha encontrado y son permitidas en las plantas:

TABLA 7. NIVELES NORMALES DE ELEMENTOS METALICOS EN PLANTAS SEGUN DIFERENTES AUTORES.

<i>Metal</i>	<i>Concentración</i>	<i>Autor</i>
<i>Potasio</i>	0.1 - 12%	Prevél, 1987
	0.2 - 10%	Mondragón, 1989
<i>Sodio</i>	0.002 - 10%	Prevél, 1987
	0.05 - 5%	Mondragón, 1989
<i>Calcio</i>	0.047 - 7%	Prevél, 1987
	0.1 - 2.5%	Wild, 1992
<i>Magnesio</i>	0.05 - 2%	Prevél, 1987
	0.05 - 2%	Mondragón, 1989
<i>Zinc</i>	40 - 420 ppm	Prevél, 1987
	20 - 400 ppm	Geiger, 1993
<i>Cobre</i>	0.2 - 200 ppm	Prevél, 1987
	2 - 20 ppm	Loué, 1988
<i>Hierro</i>	25 - 1200 ppm	Prevél, 1987
<i>Plomo</i>	< 0.01 - 20 ppm	Prevél, 1987
	0.02 - 20 ppm	Adriano, 1992
<i>Cadmio</i>	< 0.1 - 5 ppm	Prevél, 1987
	0.5 - 5 ppm	Geiger, 1993
<i>Cromo</i>	0.03 - 250 ppm	Prevél, 1987
	10 - 190 ppm	Alloway, 1990
<i>Níquel</i>	0.1 - 300 ppm	Prevél, 1987
	0.1 - 100 ppm	Kabata-Pendias, 1992

GRAFICA 1. CONCENTRACION DE COBRE EN HORTALIZAS

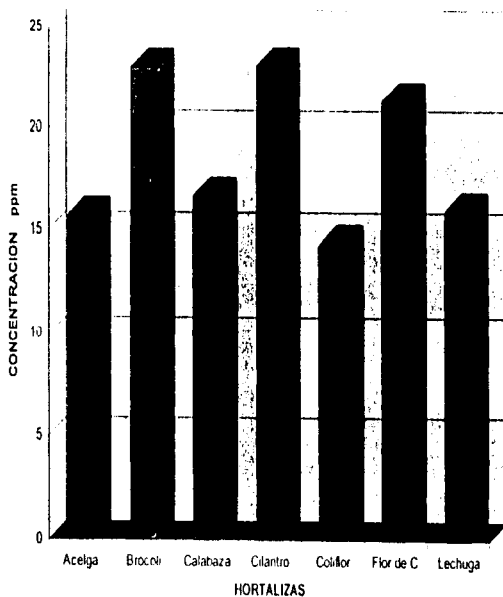
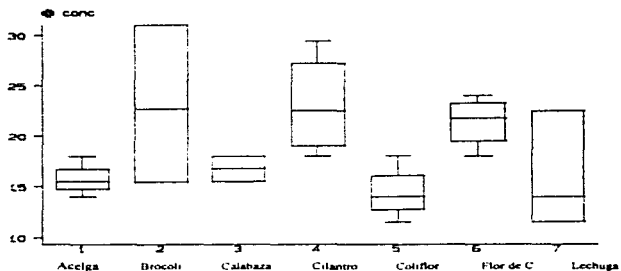


FIGURA 1. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Cu EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Cu en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	310.164865	6	51.6941441	3.05	0.0292
Dentro de los grupos	322.408709	19	16.9688794		
Total	632.573573	25	25.3029429		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 10.4148$ Prob> $\chi^2 = 0.108$

Comparación de concentración de Cu por plantas						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	7.29467 0.666					
3	1.00625 1.000	-6.28842 1.000				
4	7.36325 0.430	0.068584 1.000	6.357 0.879			
5	-1.38375 1.000	1.000 0.263	-2.39 1.000	-8.747 0.154		
6	5.639 1.000	-1.65567 1.000	4.63275 1.000	-1.72425 1.000	7.02275 0.550	
7	0.232 1.000	-7.06267 1.000	-0.77425 1.000	-7.13125 0.741	1.61575 1.000	-5.407 1.000

GRAFICA 2. CONCENTRACION DE ZINC EN HORTALIZAS

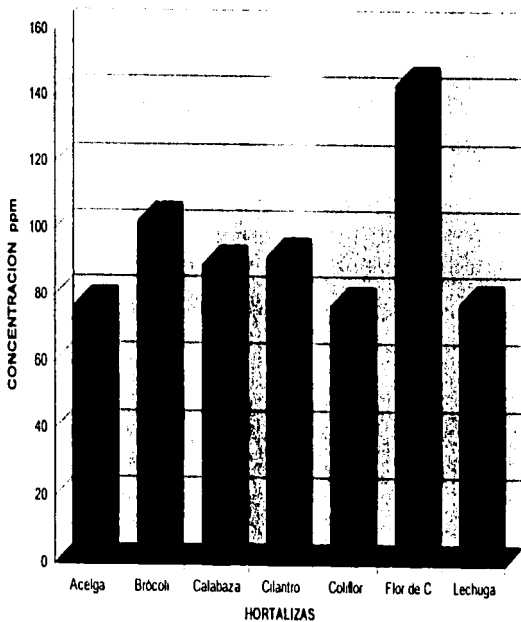
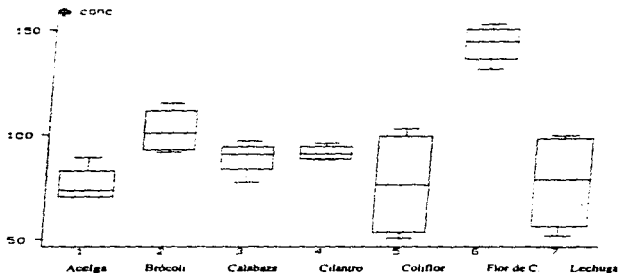


FIGURA 2. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Zn EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Zn en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	32481375.5	6	5413562.58	870.65	0.0000
Dentro de los grupos	130574.581	21	6217.83718		
Total	32611950.1	27	1207850.00		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 19.3259$
 Prob > $\chi^2 = 0.004$

Comparación de concentración de Zn por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-3023.44 0.000					
3	-2994.64 0.000	28.7948 1.000				
4	-1480.03 0.000	1543.41 0.000	1514.61 0.000			
5	-2988.15 0.000	35.2848 1.000	35.2848 1.000	-1508.12 0.000		
6	-2727.1 0.000	296.337 0.001	267.543 0.002	-1247.07 0.000	261.053 0.003	
7	-3005.8 0.000	17.6335 1.000	-11.1613 1.000	-1525.78 0.000	-17.6513 1.000	-278.704 0.001

GRAFICA 3. CONCENTRACION DE FIERRO EN HORTALIZAS

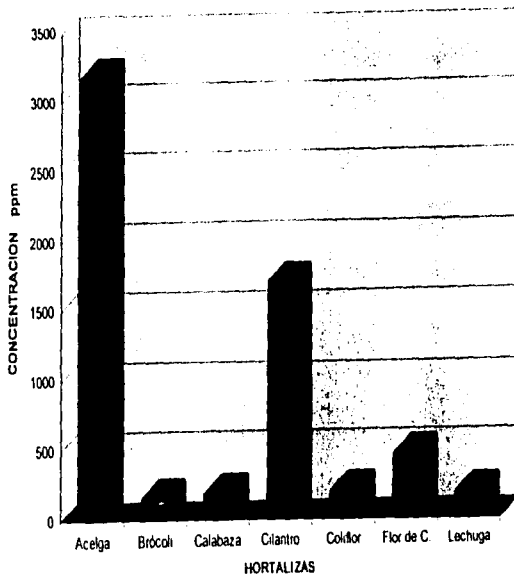
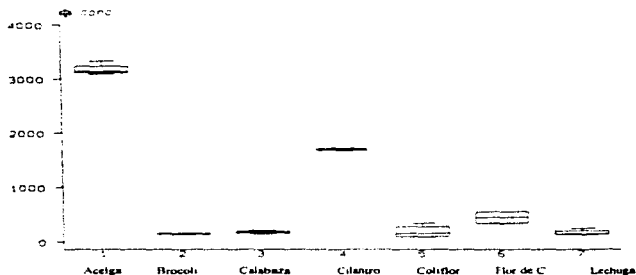


FIGURA 3. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Fe EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Fe en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	32481375.5	6	5413562.58	870.65	0.0000
Dentro de los grupos	130574.581	21	6217.83718		
Total	32611950.1	27	1207850.00		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 19.3259$
 Prob > $\chi^2 = 0.004$

Comparación de concentración de Fe por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-3023.44 0.000					
3	-2994.64 0.000	28.7948 1.000				
4	-1480.03 0.000	1543.41 0.000	1514.61 0.000			
5	-2988.15 0.000	35.2848 1.000	35.2848 1.000	-1508.12 0.000		
6	-2727.1 0.000	296.337 0.001	267.543 0.002	-1247.07 0.000	261.053 0.003	
7	-3005.8 0.000	17.6335 1.000	-11.1613 1.000	-1525.78 0.000	-17.6513 1.000	-278.704 0.001

GRAFICA 4. CONCENTRACION DE POTASIO EN HORTALIZAS

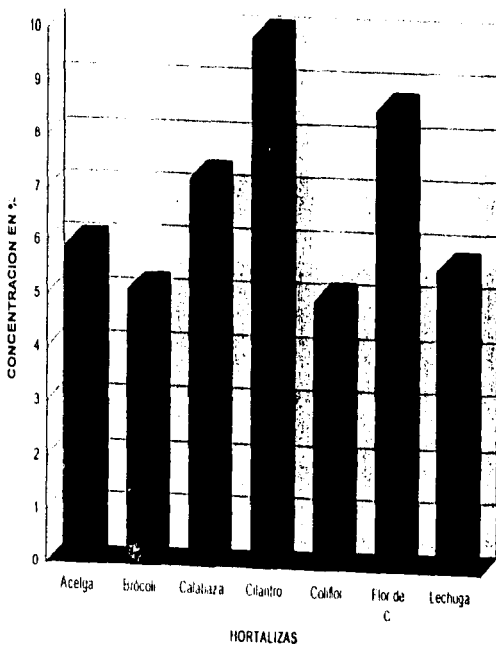
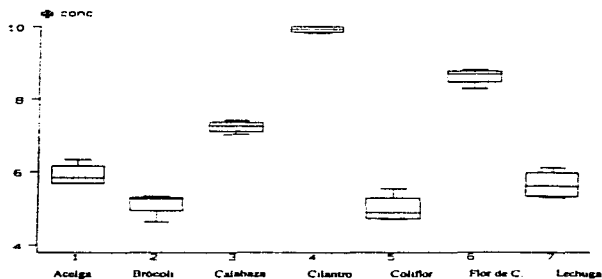


FIGURA 4. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE K EN HORTALIZAS



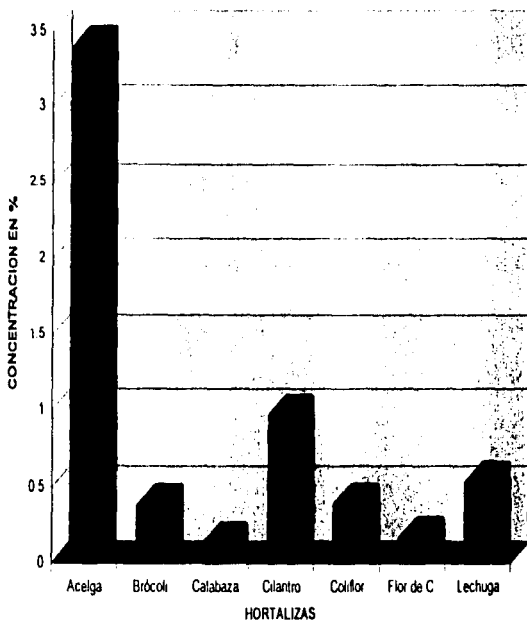
Análisis de Varianza para K en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	85.3308773	6	14.2218129	170.79	0.0000
Dentro de los grupos	1.74868658	21	0.08327079		
Total	87.0795639	27	3.22516903		

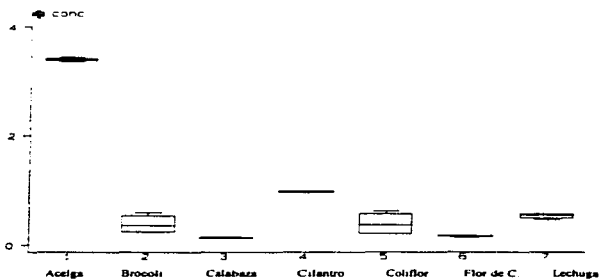
Prueba de Bartlett para igualdad de varianzas: $\chi^2(6) = 6.3848$
 Prob > $\chi^2 = 0.381$

Comparación de concentración de K por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-0.802 0.016					
3	1.31575 0.000	2.11775 0.000				
4	3.995 0.000	4.797 0.000	2.67925 0.000			
5	-0.923 0.004	-0.121 1.000	-2.23875 0.000	-4.918 0.000		
6	2.68575 0.000	3.48775 0.000	1.37 0.000	-1.30925 0.000	3.60875 0.000	
7	-0.2725 1.000	0.5295 0.355	-1.58825 0.000	-4.2675 0.000	0.6505 0.093	-2.95825 0.000

GRAFICA 5. CONCENTRACION DE SODIO EN HORTALIZAS



**FIGURA 5. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Na EN HORTALIZAS**



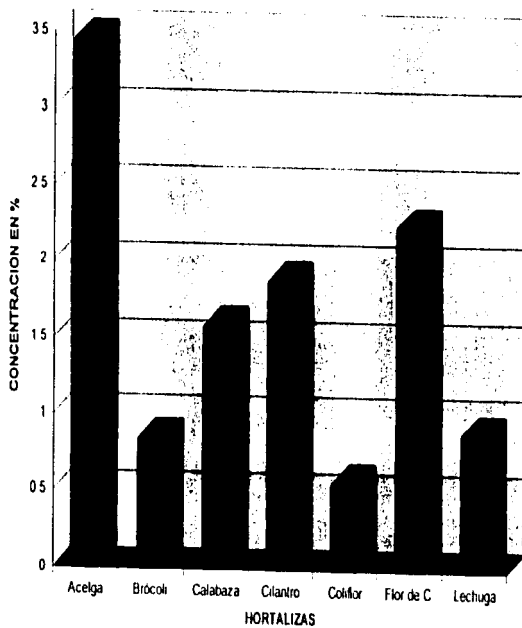
Análisis de Varianza para Na en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	32.1420759	6	5.35701264	488.24	0.0000
Dentro de los grupos	0.230413253	21	0.01097206		
Total	32.3724891	27	1.19898108		

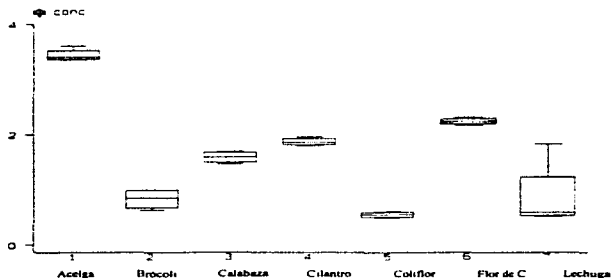
Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 37.8936$
 $\text{Prob} > \chi^2 = 0.000$

Comparación de concentración de Na por plantas						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-3.01425 0.000					
3	-3.266 0.000	-0.25175 0.057				
4	-2.431 0.000	0.58325 0.000	0.835 0.000			
5	-3.0125 0.000	0.00175 1.000	0.2535 0.054	-0.5815 0.000		
6	-3.23725 0.000	-0.223 0.140	0.02875 1.000	-0.80625 0.000	-0.22475 0.132	
7	-2.87325 0.000	0.141 1.000	0.39275 0.001	-0.44225 0.000	0.13925 1.000	0.364 0.002

GRAFICA 6. CONCENTRACION DE MAGNESIO EN HORTALIZAS



**FIGURA 6. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Mg EN HORTALIZAS**



Análisis de Varianza para Mg en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	24.2467977	6	4.04113295	60.37	0.0000
Dentro de los grupos	1.40576549	21	0.066941214		
Total	25.6525632	27	0.950094934		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 29.5637$
 Prob > $\chi^2 = 0.000$

Hortaliza	Comparación de concentración de Mg por planta					
	1	2	3	4	5	6
2	-2.607 0.000					
3	-1.85875 0.000	0.74825 0.011				
4	-1.57475 0.000	1.03225 0.000	0.284 1.000			
5	-2.893 0.000	-0.286 1.000	-1.03425 0.000	-1.31825 0.000		
6	-1.2115 0.000	1.3955 0.000	0.64725 0.041	0.36325 1.000	1.6815 0.000	
7	-2.5595 0.000	0.0475 1.000	-0.70075 0.020	0.98475 0.001	0.3335 1.000	-1.348 0.000

GRAFICA 7. CONCENTRACION DE CALCIO EN HORTALIZAS

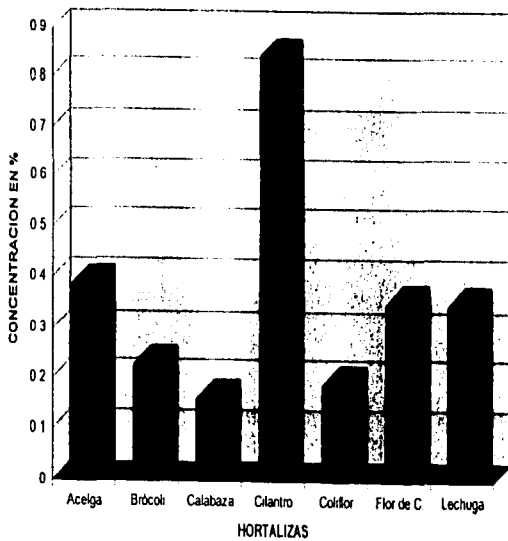
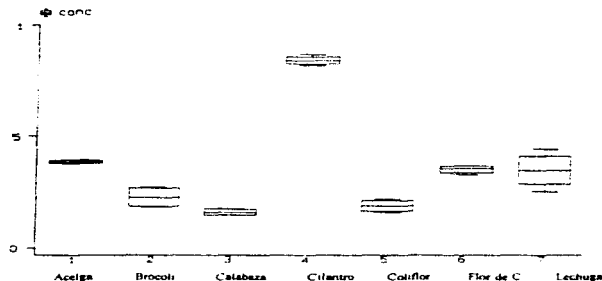


FIGURA 7. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Ca EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Ca en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	1.28323629	6	0.213872714	138.51	0.0000
Dentro de los grupos	0.032426495	21	0.001544119		
Total	1.31566278	27	0.048728251		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 17.4977$
 Prob > $\chi^2 = 0.008$

Comparación de concentración de Ca por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-0.159 0.000					
3	-0.2255 0.000	-0.0665 0.548				
4	0.45675 0.000	0.61575 0.000	0.68225 0.000			
5	-0.1975 0.000	-0.0385 1.000	0.028 1.000	-0.65425 0.000		
6	-0.03475 1.000	0.12425 0.004	0.19075 0.000	-0.4915 0.000	0.16275 0.000	
7	-0.038 1.000	0.121 0.006	0.1875 0.000	-0.49475 0.000	0.1595 0.000	-0.00325 1.000

GRAFICA 8. CONCENTRACION DE CADMIO EN HORTALIZAS

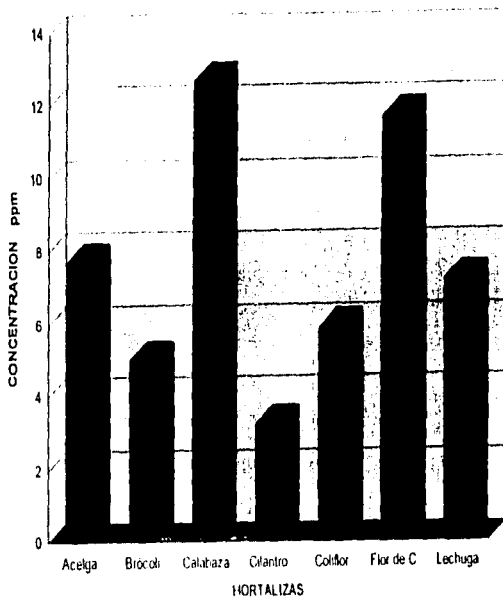
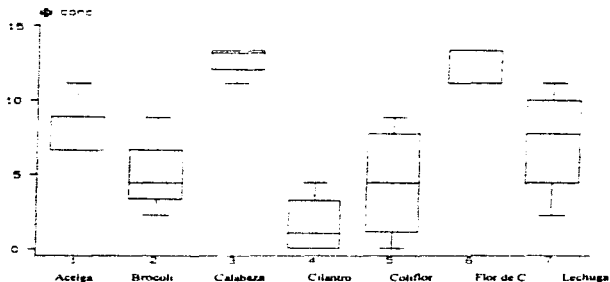


FIGURA 8. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Cd EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Cd en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	436.789422	6	72.798217	10.40	0.0000
Dentro de los grupos	196.013887	28	7.00049597		
Total	632.803309	34	18.611862		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 10.8308$

Prob > $\chi^2 = 0.094$

Comparación de concentración de Cd por planta

Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-2.77475 1.000					
3	-4.94475 0.279	7.7195 0.006				
4	-6.12225 0.060	-3.3475 1.000	-11.067 0.000			
5	-3.32775 1.000	-0.553 1.000	-8.2725 0.003	2.7945 1.000		
6	-4.00632 0.472	6.78107 0.007	-0.938429 1.000	10.1286 0.000	7.33407 0.003	
7	-0.55775 1.000	2.217 1.000	-5.5025 0.043	5.5645 0.039	2.77 1.000	-4.56407 0.051

GRAFICA 9. CONCENTRACION DE CROMO EN HORTALIZAS

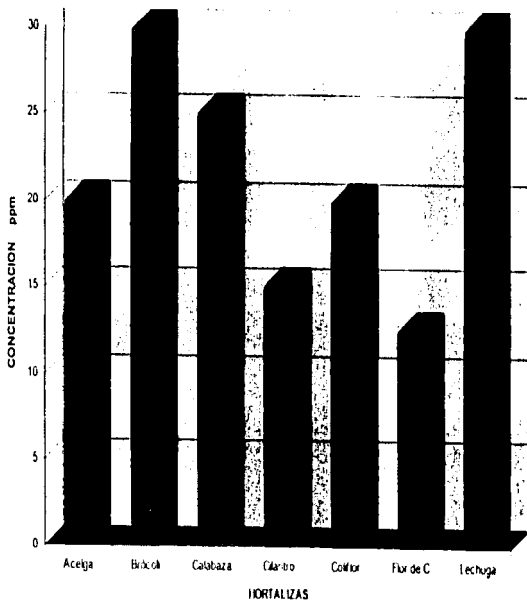
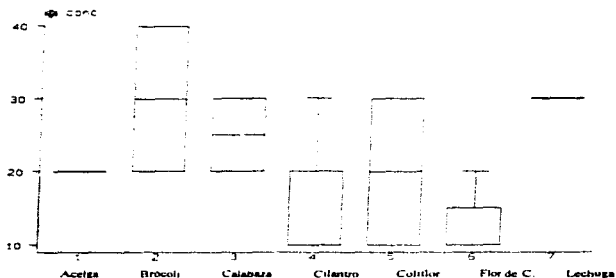


FIGURA 9. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Cr EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Cr en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	991.600717	6	165.266786	1.68	0.1748
Dentro de los grupos	2063.2177	21	98.2484618		
Total	3054.81841	27	113.141423		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianzas: $\chi^2(6) = 63.5261$
 Prob > $\chi^2 = 0.000$

Comparación de concentración de Cr por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-5.024 1.000					
3	5.001 1.000	10.025 1.000				
4	-5.003 1.000	0.021 1.000	-10.004 1.000			
5	-5.0265 1.000	-0.0025 1.000	-10.0275 1.000	-0.0235 1.000		
6	-7.484 1.000	-2.46 1.000	-12.485 1.000	-2.481 1.000	-2.4575 1.000	
7	9.9755 1.000	14.9995 0.929	4.9745 1.000	14.9785 0.935	15.002 0.928	17.4595 0.445

GRAFICA 10. CONCENTRACION DE NIQUEL EN HORTALIZAS

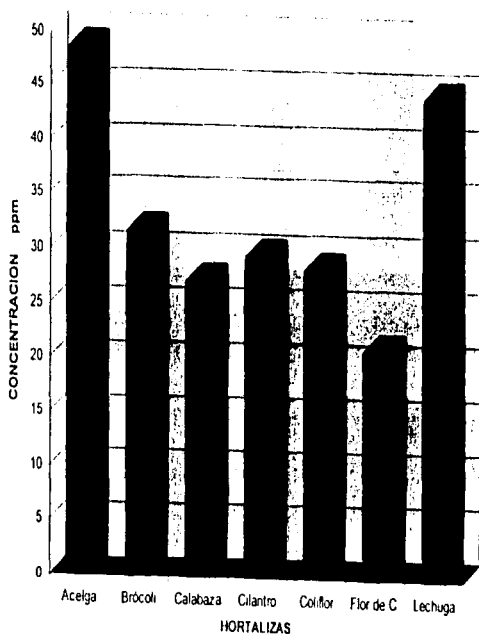
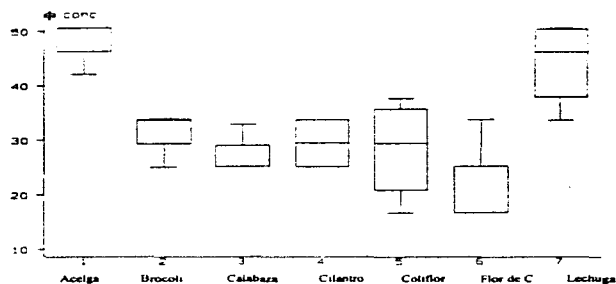


FIGURA 10. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE NI EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Ni en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	2325.3639	6	387.56065	9.05	0.0001
Dentro de los grupos	899.560057	21	42.8361932		
Total	3224.92396	27	119.441628		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 4.4743$ Prob > $\chi^2 = 0.613$

Comparación de concentración de Ni por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-16.927 0.031					
3	-21.4082 0.003	-4.48125 1.000				
4	-19.0842 0.010	-2.15725 1.000	2.324 1.000			
5	-20.2427 0.006	-3.31575 0.000	1.1655 1.000	-1.1585 1.000		
6	-27.565 0.000	-10.638 0.670	-6.15675 1.000	-8.48075 1.000	-7.32225 1.000	
7	-4.3905 1.000	12.5365 0.276	17.0177 0.029	14.6937 0.029	15.8522 0.053	23.1745 0.001

GRAFICA 11. CONCENTRACION DE PLOMO EN HORTALIZAS

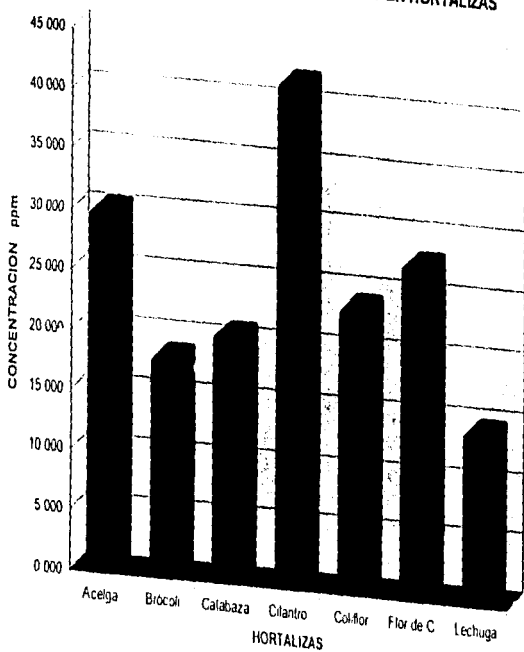
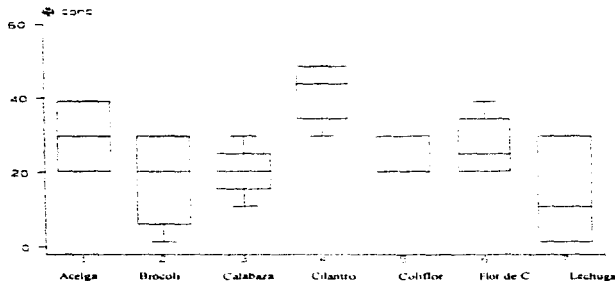


FIGURA 11. DIAGRAMA DE CAJA
CONCENTRACION DE Pb EN HORTALIZAS



Análisis de Varianza para Pb en 7 hortalizas.

Fuente	SS	df	MS	F	Prob > F
Entre grupos	2507.84518	6	417.974196	3.29	0.0194
Dentro de los grupos	2671.48612	21	127.213625		
Total	5179.3313	27	191.827085		

Prueba de Bartlett para igualdad de varianza: $\chi^2(6) = 1.6794$
 Prob > $\chi^2 = 0.947$

Comparación de concentración de Pb por planta						
Hortaliza	1	2	3	4	5	6
2	-11.8443 1.000					
3	-9.45325 1.000	2.391 1.000				
4	11.8027 1.000	23.647 0.155	21.256 0.304			
5	-12.203 1.000	-35875 1.000	-2.74975 1.000	-24.0058 0.140		
6	-2.34775 1.000	9.4965 1.000	7.1055 1.000	-14.1505 1.000	9.85525 1.000	
7	-19.2808 0.521	-7.4365 1.000	-9.8275 1.000	-31.0835 0.017	-7.07775 1.000	-16.933 0.962

TABLA 8. ANALISIS PROXIMAL EN HORTALIZAS.

Hortaliza	Humedad*	Cenizas*	Proteína*	Grasa*	Fibra*	CHOS*
<i>Acelga</i>	90.994	2.493	2.133	0.275	1.379	2.725
<i>Brócoli</i>	88.049	0.866	4.442	0.128	1.121	5.392
<i>Calabaza</i>	95.794	0.772	1.814	0.110	0.306	1.203
<i>Cilantro</i>	91.643	1.600	2.112	0.261	0.635	3.748
<i>Colíflor</i>	92.457	1.350	1.667	0.066	0.771	3.688
<i>Flor de Calabaza</i>	92.152	1.587	3.315	0.323	0.959	1.662
<i>Lechuga</i>	95.763	0.365	0.711	0.113	0.680	2.367

* Composición g/100 g de porción comestible.

TABLA 9. CONTENIDO DE VITAMINA C EN HORTALIZAS.

Hortaliza	Vitamina C □
<i>Acelga</i>	26.766
<i>Brócoli</i>	98.536
<i>Calabaza</i>	9.324
<i>Cilantro</i>	58.690
<i>Colíflor</i>	71.760
<i>Flor de Calabaza</i>	16.125
<i>Lechuga</i>	3.628

□ Composición mg/100 g de porción comestible.

A continuación se muestra el porcentaje reportado de varios autores en el Análisis Proximal en Hortalizas.

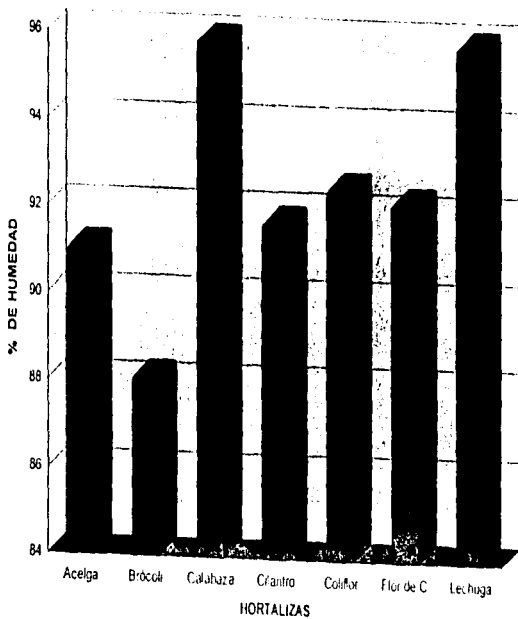
TABLA 10. ANALISIS PROXIMAL SEGUN DIFERENTES AUTORES.

Hortaliza	Humedad*	Cenizas*	Proteínas*	Grasa*	Fibra*	CHOS*	Vit C □	Referencia
Acelga	91 10	1 60	2 40	0 30	0 80	4 60	32	Maroto, Borrego, 1979
	90 80	1 60	1 60	0 40	1 00	5 60	34	Woot - Tsuen, 1977
	91 10		2 90	0 30	2 50	4 80	6	INNSZ, 1992
Brócoli	89 10		3 60	0 30	1 50	5 90	113	Charley, Helen, 1991
			5 45			4 86	118	Maroto, Borrego, 1989
	89 10		3 60		1 50	5 90	113	Valadez, Artemio, 1990
	87 39	1 20	4 50	0 60	1 60	6 40	94	Woot - Tsuen, 1979
	89 10		3 60	0 30	1 50	5 90	113	INNSZ, 1992
Calabaza			0 38			1 05	11	Maroto, Borrego, 1989
	90 60		0 80			7 70	23	Valadez, Artemio, 1990
	92 80	0 50	1 09	0 20	0 40	5 50	19	Woot - Tsuen, 1979
	92 60		1 90	0 10	1 10	4 30	9	INNSZ, 1992
Cilantro	86 00	2 00	3 30	0 70	1 70	8 00	75	Woot - Tsuen, 1979
	89 50		2 60	0 50	4 60	2 60	11	INNSZ, 1992
	91 00		2 70	0 20	1 80	5 20	78	Charley, Helen, 1991
Coliflor			2 48	0 34		4 55	69	Maroto, Borrego, 1989
	90 00	0 90	3 00	0 20	1 00	3 00	80	Osborne, D. R., 1986
	91 00		2 70		1 00	5 20	78	Valadez, Artemio, 1990
	89 40	0 90	2 80	0 40	1 00	6 50	82	Woot - Tsuen, 1977
	89 40		3 20	0 30	1 60	4 30	127	INNSZ, 1992
Flor de Calabaza	94 80	1 40	0 80	0 30	0 60	2 70	18	Woot - Tsuen, 1977
	93 90		1 40	0 10	0 60	2 70	15	INNSZ, 1992
Lechuga	95 50		0 90	0 10	0 50	2 90	6	Charley, Helen, 1991
	94 80	0 90	1 30	0 20		2 80		Destoyer, Norman, 1985
	95 00		0 80	0 10		2 30	5	Maroto, Borrego, 1989
	95 00	1 00	1 50	0 10	0 50	1 50	10	Osborne, D. R., 1986
	94 00		1 30			3 50	18	Valadez, Artemio, 1990
	95 80		1 00	0 10	0 50	2 70	7	Woot - Tsuen, 1977
			1 00	0 30	1 50	2 70	7	INNSZ, 1992

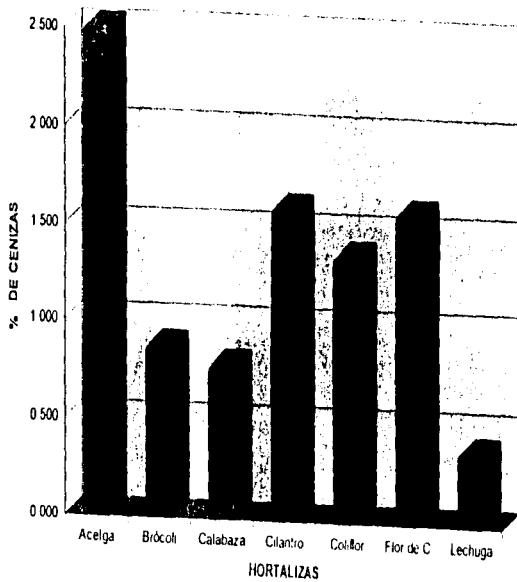
* Composición g/100 g de porción comestible.

□ Composición mg/100 g de porción comestible.

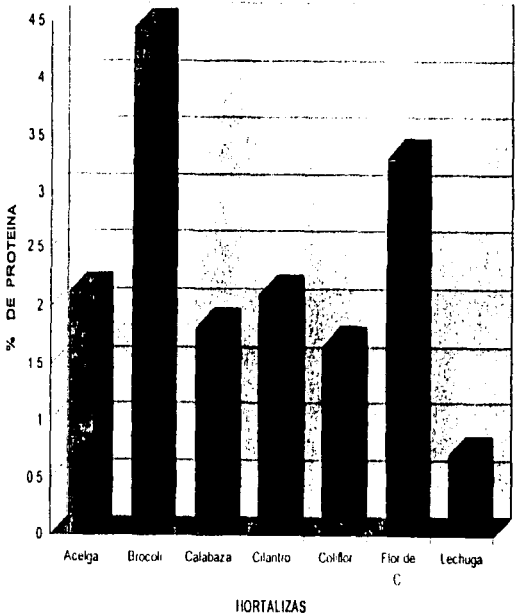
GRAFICA 12. CONTENIDO DE HUMEDAD EN HORTALIZAS



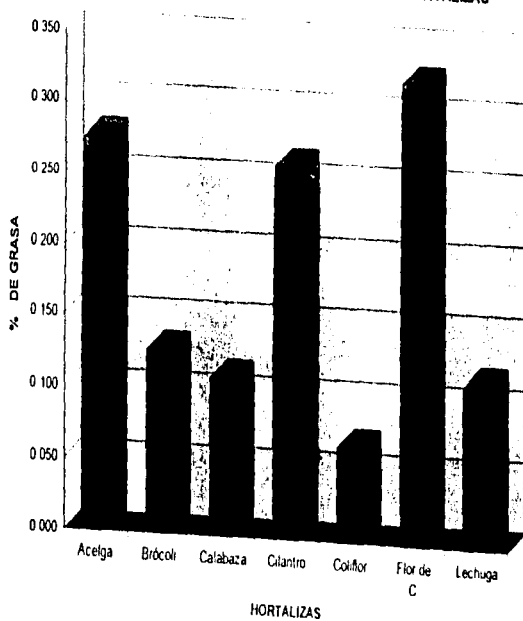
GRAFICA 13. CONTENIDO DE CENIZAS EN HORTALIZAS



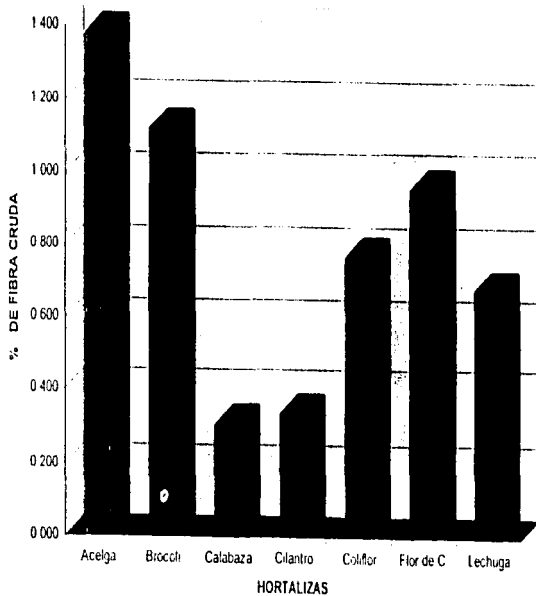
GRAFICA 14. CONTENIDO DE PROTEINA EN HORTALIZAS



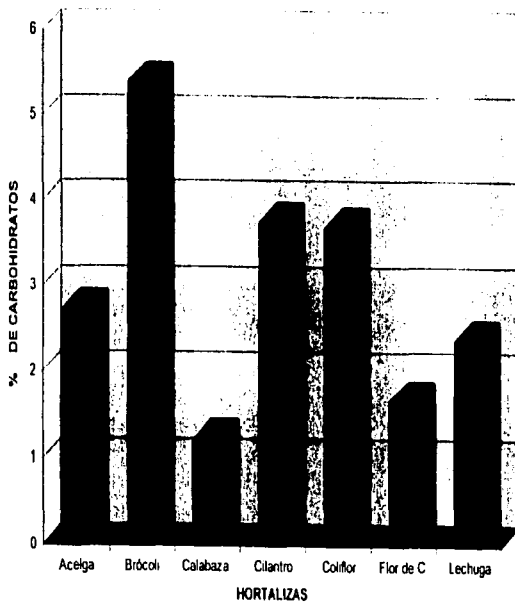
GRAFICA 15. CONTENIDO DE GRASA CRUDA EN HORTALIZAS



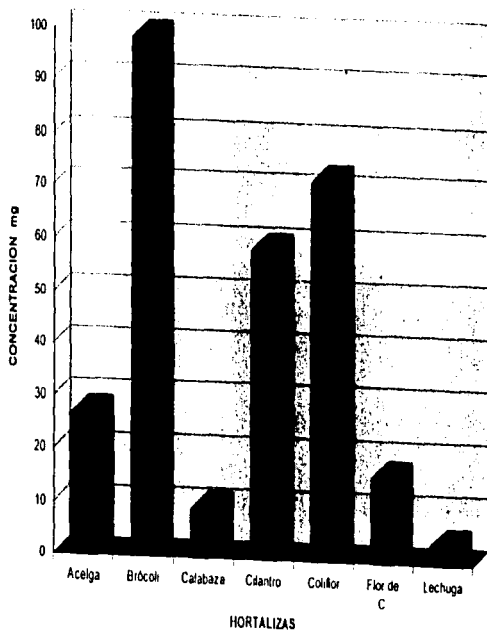
GRAFICA 16. CONTENIDO DE FIBRA CRUDA EN HORTALIZAS



GRAFICA 17. CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN HORTALIZAS



GRAFICA 18. CONTENIDO DE VITAMINA C EN HORTALIZAS



10. ANALISIS DE RESULTADOS.

El presente estudio realizado en hortalizas provenientes del municipio de Ixmiquilpan Hidalgo, se cuantificaron los niveles de elementos metálicos considerados como constituyentes y contaminantes, los elementos analizados fueron Cu, Zn, Fe, K, Na, Mg, Ca, Cd, Cr, Ni y Pb. De manera paralela se realizó el análisis proximal de las mismas, obteniendo los niveles de Humedad, Cenizas, Proteínas, Grasa, Fibra, Carbohidratos y Vitamina C.

El presente trabajo resulta ser de gran importancia, debido a que las hortalizas forman parte de la alimentación del hombre y cualquier causa que afecte los niveles normales de su contenido nutricional, también podrá afectar al ser humano que las incluya en su dieta.

A los resultados obtenidos para la concentración de metales se les aplicó un análisis de varianza y prueba de Bartlett para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre cada una de las especies estudiadas (Figura 1-11).

Cabe señalar que esta prueba no se aplicó al Análisis Proximal debido a que no se tuvieron los suficientes datos.

Se observó que en todas las especies existe comportamiento distinto y muy variado respecto los niveles de elementos, se resalta la Acelga, la cual muestra un marcado incremento en Fe, Na, Mg y Ni (siendo este último un metal contaminante), y presenta diferencia estadísticamente significativa con las demás especies hortícolas (Fig. 3, 5, 6, 10).

En Cobre (Tabla 1) se observó que hay un incremento respecto al valor citado en la literatura para la mayoría de las hortalizas, no obstante resalta el Brócoli por que su concentración experimental (23.030 ppm) se eleva casi ocho veces a la presentada en la Tabla 4 (2.93 ppm).

En la prueba estadística de análisis de varianza para este elemento se obtiene una $Prob>F$ de 0.0292, se supone que este valor al ser menor de 0.05 debiera presentar diferencia significativa, sin embargo, al aplicar la prueba de Bartlett la cual hace una comparación individual entre cada una de las especies se observa que los valores obtenidos para $Prob>F$ en todos los casos son mayores de 0.05 (0.154 - 1.000), lo cual nos permite concluir que no hay diferencia significativa entre los niveles de Cu encontrados en cada una de las especies estudiadas.

El comportamiento de este elemento en cada una de las especies es distinto por la manera en que se va acumulando y por su movilidad limitada, también por la formación de complejos estables con la materia orgánica y en particular el pH que presenta la disolución del suelo.

En Zinc se encuentran valores ligeramente altos para todas las hortalizas en comparación con los niveles descritos en la literatura. Para Brocoli según Buenrostro, (1995) en la Tabla 4 cita 61 ppm en comparación con lo encontrado Tabla 1 (102.162 ppm) presenta el doble de su concentración. En cuanto a Flor de Calabaza en la Gráfica 2 se observa que es la tiene mayor cantidad de este nutrimento a diferencia de las demás especies.

El análisis de varianza aplicado proporciona una Prob>F igual a 0.000, este valor al ser menor de 0.05 nos indica la existencia de diferencia significativa entre las especies. Al aplicar la prueba de Bartlett observamos que existe diferencia entre la mayoría de las especies (Prob>F = 0.000 - 0.003 < 0.05), excepto entre Brócoli-Calabaza, Brócoli-Acelga, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Coliflor, Calabaza-Lechuga, Coliflor-Lechuga (Prob>F = 1.000), (Figura 2).

El Hierro presenta una elevada concentración en Acelga (3180.15 ppm) en comparación a la descrita en la literatura (576.5 ppm), (Tabla 1 y 4). También se observa un incremento en Cilantro que se triplica y cuyo valor experimental fue de 1710.12 ppm y el teórico de 503.8 ppm, (Tabla 1 y 4). Por otra parte la Lechuga (174.34 ppm) y Coliflor (191.94 ppm) muestra niveles por debajo a los que expone la literatura (675.8 ppm para Lechuga y 409 ppm para Coliflor).

En el análisis estadístico al realizar el análisis de varianza se obtiene como resultado Prob>F = 0.000 < 0.05 lo que nos permite concluir que para este elemento hay diferencia estadísticamente significativa entre las especies. Esta observación se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett que nos muestra diferencia en casi todas las especies (Prob>F = 0.000-0.003 < 0.05), excepto para Brócoli-Calabaza, Brócoli-Coliflor, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Coliflor, Calabaza-Lechuga, Coliflor-Lechuga (Prob>F = 1.000 > 0.05), las cuales no presentaron diferencia significativa (Figura 3).

El incremento que muestra este elemento no afecta grandemente a las hortalizas ya que suele almacenarse en las hojas en forma de una fosfoproteína, que sirve de reserva para el desarrollo de los plastos y, en consecuencia para la fotosíntesis.

En lo que respecta al Potasio, la mayoría de las especies cuentan con niveles levemente altos a los especificados en la literatura, llamando la atención el Cilantro que muestra el doble, con un valor experimental de 9.922 %, mientras el marcado en la literatura es de 4.11%.

En el análisis de varianza se obtiene como resultado $\text{Prob}>F = 0.000 < 0.05$ con lo que se concluye para este elemento que hay diferencia estadísticamente significativa entre las especies. Esto se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett que nos muestra diferencia entre la mayoría de las especies ($\text{Prob}>F = 0.000-0.004 < 0.05$), excepto para Acelga-Lechuga, Brócoli-Coliflor, Brócoli-Lechuga, y Coliflor-Lechuga ($\text{Prob}>F = 0.093-1.000 > 0.05$), las cuales no presentaron diferencia significativa (Figura 4).

Las plantas absorben a este nutrimento sin establecer límite en su metabolismo, fenómeno que se conoce como "consumo de lujo", esto es debido a que cuenta con una elevada movilidad en la fisiología vegetal, además de ser un regulador de equilibrio hídrico en el tejido vegetal.

El Sodio tiene la función de regular el equilibrio hídrico y no ser estructural, siendo un elemento móvil y las cantidades presentes al igual que las de potasio será mayor a aquel órgano de la planta dedicado a la adsorción y/o almacenamiento de agua, por lo que se encuentra principalmente en raíz y hoja los niveles más altos. En Cilantro experimentalmente marco un decremento, su valor experimental es 0.965% mientras que la literatura marca un 3.063%. Hay otra hortaliza que registra casi el mismo fenómeno, esta es la Lechuga la cual presenta una concentración de 0.523% a o comparación de teórica que es de 1.41%. Las demás especies como son Brócoli, Acelga, Calabaza, Coliflor se observa que están en los límites establecidos (Tabla 2 y 5).

En el análisis estadístico al efectuar el análisis de varianza se obtiene como resultado $\text{Prob}>F = 0.000 < 0.05$ lo que permite deducir para este elemento que hay diferencia estadísticamente significativa entre las especies. Lo que se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett que muestra diferencia entre las especies ($\text{Prob}>F = 0.000-0.002 < 0.05$), exceptuando Brócoli-Calabaza, Brócoli-Coliflor, Brócoli-Flor de Calabaza, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Coliflor, Calabaza-Flor de Calabaza, Coliflor-Flor de Calabaza y Coliflor-Lechuga con una $\text{Prob}>F = 0.054-1.000 > 0.05$, las cuales no presentaron diferencia significativa (Figura 5).

Para Magnesio sobresalen tres especies, Acelga, Cilantro y Brócoli, las cuales tienen el doble de la concentración (experimental 3.44, 1.8 y 0.84 %; teórica 1.28, 0.62 y 0.45 % respectivamente), (Tabla 2 y 5).

En el análisis de varianza efectuado se obtiene una $\text{Prob} > F = 0.000 < 0.05$ lo que nos indica este elemento presenta diferencia estadísticamente significativa entre las especies. Esto se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett que nos muestra diferencia entre la mayoría de las especies ($\text{Prob} > F = 0.000-0.004 < 0.05$), excluyendo a Brócoli-Coliflor, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Cilantro, Cilantro-Flor de Calabaza y Coliflor-Lechuga con una $\text{Prob} > F = 1.000 > 0.05$, las cuales no presentaron diferencia significativa (Figura 6).

El Magnesio es un componente específico de la clorofila, juega un papel importante en numerosas reacciones enzimáticas como cofactor de la mayor parte de las enzimas que intervienen en la fosforilación, su importancia es grande en la transferencia de energía.

Este elemento cuenta con la característica de ser fácilmente translocado de la raíz al resto de la planta y de las partes más viejas a las partes fisiológicamente activas de la planta, ello explica el porque se encuentre en Acelga, Cilantro y Brócoli altos niveles de este elemento.

En el caso Calcio se observan las especies horticolas están dentro de los niveles reportados (Tabla 5) a excepción de la Calabaza, que ve incrementada muy levemente su concentración experimental (0.159 %) a la teórica (0.52 %). No obstante, en el análisis de varianza se obtiene como resultado $\text{Prob} > F = 0.000 < 0.05$ lo que permite deducir que hay diferencia estadísticamente significativa entre las especies en este elemento. Lo que se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett ($\text{Prob} > F = 0.000-0.006 < 0.05$), exceptuando Acelga-Flor de Calabaza, Acelga-Lechuga, Brócoli-Calabaza, Brócoli-Coliflor, Calabaza-Coliflor y Flor de Calabaza-Lechuga ($\text{Prob} > F = 0.0548-1.000 > 0.05$), las cuales no presentaron diferencia significativa (Figura 5).

Este elemento es de baja movilidad, no pudiendo redistribuirse con facilidad de las hojas viejas a las jóvenes, no se considera tóxico a altas concentraciones y es eficaz en detoxificación de niveles altos de otros elementos en las plantas.

En cuanto a los metales contaminantes, se aprecia que para Pb, el Brócoli rebasa el nivel propuesto en la bibliografía (valor experimental 17.97 y teórico 5.97), (Tabla 3 y 6). En Cilantro, Calabaza y Coliflor se observa un incremento del doble de su concentración (Tabla 3 y 6). Para Lechuga en contraparte disminuye el intervalo propuesto, siendo el dato experimental de 14.052 ppm y teórico 19.68 ppm (Tabla 3 y 4).

En el análisis estadístico al realizar el análisis de varianza se obtiene una $\text{Prob} > F = 0.0194 < 0.05$ lo que denota que existe diferencia estadísticamente significativa entre estas hortalizas. Al aplicar la prueba de Bartlett se observa que hay diferencia solo entre Cilantro y Lechuga ($\text{Prob} > F = 0.017 < 0.05$). A excepción de las anteriores las demás especies no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($\text{Prob} > F = 0.140-1.000 > 0.05$), (Figura 11)

Este elemento es el menos móvil a diferencia de los demás por su relativa baja concentración en soluciones naturales de suelos; las vías disponibles para la entrada de plomo a las plantas es la captación por raíces y en mayor proporción la captación por las hojas.

Para Niquel se observa que en la mayoría de las especies casi triplica su valor de concentración, con excepción de Brócoli que se incrementa notoriamente por arriba del reportado en la literatura (Tabla 3 y 6).

En cuanto al análisis estadístico, el análisis de varianza muestra una $\text{Prob} > F = 0.0001 < 0.05$. Bartlett muestra que existe diferencia significativa entre algunas de las hortalizas ($\text{Prob} > F = 0.000-0.031 < 0.05$), a excepción de Acelga-Lechuga, Brócoli-Calabaza, Brócoli-Cilantro, Brócoli-Flor de Calabaza, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Cilantro, Calabaza-Coliflor, Calabaza-Flor de Calabaza, Cilantro-Coliflor, Cilantro-Flor de Calabaza, Coliflor-Flor de Calabaza y Coliflor-Lechuga, las cuales no presentaron diferencia significativa con una $\text{Prob} > F = 0.053-1.000 > 0.05$ (Figura 10).

Este nutrimento aún no es aceptado como esencial para los vegetales, sin embargo hay informes de ser tóxico para algunos de ellos si se ven incrementados los niveles permitidos.

Para Cadmio se observa que la Calabaza (12.667 ppm) presenta el doble de la concentración descrita en la literatura (6.66 ppm), (Tabla 3 y 6). Las demás especies se aproximan al nivel reportados.

Por otra parte el análisis de varianza presenta una $\text{Prob} > F = 0.000 < 0.05$ lo que evidencia que hay diferencia estadísticamente significativa entre las especies. Bartlett muestra diferencia entre algunas especies ($\text{Prob} > F = 0.000-0.043 < 0.05$), excluyendo Acelga-Brócoli, Acelga-Calabaza, Acelga-Cilantro, Acelga-Coliflor, Acelga-Flor de Calabaza, Acelga-Lechuga, Brócoli-Cilantro, Brócoli-Coliflor, Brócoli-Lechuga, Calabaza-Flor de Calabaza, Cilantro-Coliflor, Coliflor-Lechuga y Flor de Calabaza-Lechuga ($\text{Prob} > F = 0.051-1.000 > 0.05$), (Figura 8).

Debido a que las hortalizas no tiene un mecanismo para excretar el Cadmio, una vez que lo absorbieron, este se acumula en sus tejidos y esto puede explicar que lo encontremos en altos niveles en la Calabaza y Flor de calabaza.

Los valores de Cromo en Brócoli, Calabaza y Coliflor, la bibliografía reporta valores igual a cero, sin embargo, experimentalmente se obtuvo la presencia de niveles altos de este metal (29.920, 24.985 y 19.943, respectivamente).

El análisis estadístico para este elemento no reporta diferencia significativa entre las hortalizas debido a que el análisis de varianza muestra una Prob > F = 0.1748 > 0.05. Esta observación se comprueba al aplicar la prueba de Bartlett que no muestra ningún valor menor de 0.05, ya que las Prob > F = 0.445-1.000 > 0.05 (Figura 9).

Los mecanismos que intervienen en la absorción y translocación del Cromo en las plantas no son bien conocidos; sin embargo, suele asociarse a nutrientes muy móviles como son Potasio y Magnesio, los cuales suelen estar presentes en cantidades altas en las hortalizas, de aquí que a pesar de ser un elemento ligeramente móvil pueda captarse con facilidad y presentar altos niveles en ellas.

La tabla 7 nos muestra los niveles de concentración reportados por diferentes autores para los elementos metálicos en las plantas, presentando intervalos amplios que al ser comparados con los obtenidos experimentalmente se observa que casi todas las especies entraron dentro de los rangos descritos. Las excepciones fueron:

En Cobre, Prevél marca el rango de 0.2 a 200 ppm en donde entran todas las especies; sin embargo, para Loué el intervalo dado es de 2 a 20 ppm y de aquí las especies que tienen un ligero incremento son Brócoli (23.030 ppm), Cilantro (23.099 ppm) y Flor de Calabaza (21.375 ppm). Se puede decir que se está en de los límites propuestos.

Para Hierro, Prevél marca un margen que va desde 25 a 1200 ppm, que a pesar de ser amplio se encontraron 2 hortalizas con valores por arriba del valor máximo, estas son Acelga (3180.15 ppm) y Cilantro (1700.125 ppm).

Prevél y Adriano marcan un intervalo de 0.01 a 20 ppm para Plomo, las especies que sobrealen de este límite son Acelga (29.82 ppm), Cilantro (41.623 ppm), Coliflor (23.489 ppm) y Flor de Calabaza (27.472 ppm). Casi todas las especies que aquí se enlistan presentan concentraciones de este metal que rebasando lo establecido en la literatura.

El Cadmio lo reportan dos autores Prevél (0.1-5 ppm) y Geiger (0.5 a 5 ppm), de donde las hortalizas que sobrepasan dichos valores son: Acelga (7.722), Calabaza (12.667), Coliflor (5.859), Flor de Calabaza (11.65 ppm) y Lechuga (7.164 ppm). Este metal se encuentra también en casi todas las hortalizas analizadas, aún cuando su concentración no es alta para todos los cultivos.

En cuanto a los metales pesados en general, una vez que han sido incorporados cada especie vegetal crea un mecanismo para que no se afecte su metabolismo, quizá por medio de translocarlos vía corriente transpiratoria a las hojas sin ser asimilados puesto que no son elementos esenciales y de ahí por vía floema transportados a otra parte de la planta.

La variación en los niveles de concentración de cada metal por especie se explica debido a la movilidad de los elementos en ellas, y de acuerdo a diversos factores como son el estado fisiológico interno de la planta, lo cual es influenciado por el genotipo, el estado de crecimiento y factores ambientales, esto finalmente afecta su distribución dentro de la planta, sin descartar además, que algunos de los elementos tienen características similares, esto puede provocar la competencia por los mismos espacios y causar efectos no deseables para dicha planta.

Nuestro cuerpo necesita contar con un contenido nutricional aceptable para desempeñar actividades diarias y mantenerse sano, estos requerimientos lo vamos a obtener de los diferentes tipos de alimentos, dentro de los cuales las hortalizas juegan un papel importante, por lo tanto, estas tienen que consumirse en buen estado y con un alta calidad nutricional.

Al realizarse el estudio de la calidad nutricional a través del Análisis Proximal se aprecia que dichas hortalizas aún teniendo la presencia de elementos contaminantes, estos no interfieren de forma importante en la disminución del contenido nutricional de las mismas.

En el Análisis Proximal realizado (Tabla 8, 10 y en las Gráficas 12 a 17), se observó que en Humedad, Proteína, Grasa, Fibra y Carbohidratos los valores obtenidos, son comparables a los reportados en la bibliografía, aunque en algunos de ellos se presenta ligeras disminuciones o incrementos en la mismas.

En Humedad, todas las especies se encuentran dentro de los rangos descritos en la bibliografía. Las hortalizas cuentan con un alto contenido de Humedad, esta característica suele darles su succulencia, y mientras sufran pérdida de esta el alimento tenderá a secarse. En los tejidos vegetales, puede decirse que el agua existe en dos formas generales. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante y

la que se libera con gran facilidad. El agua ligada se haya combinada o absorbida, se encuentra como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales.

El análisis de Cenizas mostró la mayor variación entre las concentraciones obtenidas y las descritas en la bibliografía, donde en diferentes especies se obtuvo incrementos y decrementos notorios. Los incrementos fueron en Acelga, Calabaza, Coliflor y Flor de Calabaza, sobresaliendo a este grupo la Acelga (con 2.493% , teórico 1.60%). Los decrementos se registraron en Brócoli, Cilantro y Lechuga, siendo esta última la hortaliza con mayor diferencia, la cual presenta una concentración de 0.365%, mientras que el rango propuesto por la bibliografía es de 0.90-1%.

En Proteína se aprecia que en Calabaza (1.814%) y Flor de Calabaza (3.315%) existió un ligero incremento en la concentración en comparación con la literatura (0.38-1% para Calabaza y 0.80% para Flor de Calabaza); en cambio para Cilantro (2.112%) y Coliflor (1.667%) se noto un ligero decremento, cuyo valor reportado en literatura son 3.30% y 2.48-2.70%, respectivamente

Para Grasa se muestra que Brócoli (0.128%), Calabaza (0.110%), Cilantro (0.261%) y Coliflor (0.066%) presentan una ligera disminución en su valor en comparación a la literatura, que indica para el Brócoli 0.30-0.60%, Calabaza 0.20%, Cilantro 0.70% y Coliflor 0.20-0.40%.

En Fibra también se aprecia una pequeña disminución en Acelga (1.379%), Brócoli (1.121%), Cilantro (0.635%) y Coliflor (0.771%). La literatura propone para Acelga (0.80-1%), Brócoli (1.50-1.60%), Cilantro (1.70%) y Coliflor (0.60-1.80%).

En Carbohidratos se obtuvo una disminución en Acelga (2.725%), Cilantro (3.748%) y Flor de Calabaza (1.662%). Los rangos descritos en la bibliografía son Acelga (4.60-5%), Cilantro (8%) y Flor de Calabaza (2.70%). Las diferencias obtenidas, que se presentaron de aumento o disminución al hacer la suma total para obtener los carbohidratos es debido a que el resultado final de las pruebas que se realizaron dentro de análisis proximal se dio más o menos porcentaje, no cayendo dentro del rango establecido provocando así que los carbohidratos aumentarán o disminuirán según fuese el caso.

Las tres clases de componentes principales presentes en los alimentos (Proteínas, Grasas y Carbohidratos) se pueden usar como fuentes de energía, pero mientras que las Proteínas son mucho más valiosas para la formación del cuerpo, las Grasas y Carbohidratos sólo sirven para proporcionar energía.

Los alimentos que contienen una elevada proporción de agua, por supuesto tienen poca concentración de Grasas, Carbohidratos y Proteínas, por lo que proporcionan pocas calorías. Los alimentos deshidratados son fuentes de energía concentrada, lo mismo que los alimentos ricos en grasas.

La función de la Vitamina C (Tabla 9 y 10; Gráfica 18) es auxiliar a la absorción del Hierro en el intestino y a ayudar a la formación del tejido conectivo (el cemento que se encuentra en todas las células del cuerpo).

El contenido de ácido ascórbico de los alimentos varía con la especie, tipo de suelo, clima, madurez y almacenamiento. La Vitamina C se puede oxidar tanto con el aire, como con una enzima, la oxidasa del ácido ascórbico, presente en la misma verdura. Las trazas de metales como Hierro, Zinc y más especialmente el Cobre aceleran la oxidación de la Vitamina C.

Se observa que en el análisis de metales se aprecia una elevada concentración de estos elementos, por lo que probablemente esto afectó a las hortalizas en general en cuanto a su contenido de Vitamina C, ya que esta presentó un ligero decremento en su concentración en comparación a la cantidad especificada en la literatura.

Otro factor que pudo haber alterado la concentración de Vitamina C es que después de la colecta de las especies, estas no se analizaban inmediatamente por causa del traslado (Ixmiquilpan - laboratorio). Por la fácil oxidación de esta vitamina pudo haber existido una pérdida en la concentración de la misma.

La tabla que se elaboró a partir de los resultados promedios del análisis de las hortalizas en estudio fueron comparadas con la presentada por la literatura. Cabe mencionar que dichas muestras pueden verse afectadas por factores como son tiempo de cosecha y tipo de granja, y debe considerarse también en que condiciones se presentan las mismas (cosecha, madurez, suelo, clima, almacenamiento, etc.).

II. CONCLUSIONES.

Al término de este estudio se cumplieron los objetivos inicialmente planteados, obteniendo las siguientes conclusiones:

1. El Cu y Zn mostraron un ligero incremento en Brócoli, Cilantro y Flor de Calabaza.
2. En general se presentaron cantidades considerables de Fe en todas las especies, sobresaliendo en gran medida la Acelga.
3. El Na presenta una disminución en los valores de concentración en Cilantro y Lechuga
4. Para todas las especies el Ca esta presente en concentraciones que concuerdan con los valores descritos en la literatura.
5. El K y el Mg presentaron, en la mayoría de las especies valores ligeramente altos a los especificados en la literatura.
6. En el caso de los elementos contaminantes (Pb, Cd, Cr y Ni), se presentaron cantidades considerables en algunas especies hortícolas, entre las que se encuentran: Brócoli, Cilantro, Calabaza y Coliflor, las cuales presentaron concentración alta de en Pb; La Flor de Calabaza y Calabaza, reportaron alta concentración en Cd; El Cr mostró valores altos en Brócoli, Calabaza y Coliflor; Finalmente el Ni presentó para todas las especies valores altos en concentración. La presencia de estos metales propone un consumo moderado de este tipo de alimentos ya que representa un riesgo su ingestión en grandes cantidades.
7. La Acelga es una de las especies que contiene mayor concentración de metales, presenta un marcado incremento en Fe, Na, Mg y Ni.
8. El análisis proximal muestra niveles comparables con los descritos en la literatura lo que evidencia que la presencia de los metales pesados no interfieren de forma importante para la disminución del contenido nutricional en las hortalizas, por lo que solo se enfoca a un potencial efecto tóxico la presencia de estos elementos en ellas.
9. El análisis estadístico aplicado hace evidente la existencia de diferencias significativas para algunos elementos entre las hortalizas estudiadas.

12. SUGERENCIAS.

Se propone realizar un estudio comparativo de un sitio que sea regado con aguas blancas y con las mismas especies analizadas en el presente trabajo.

Para el análisis de la Vitamina C es necesario que se realice lo más rápido posible para evitar la oxidación de la misma. Así mismo se propone preparar el reactivo titulante más concentrado para observar mejor el vire en la determinación, tratando de manipular lo menos posible estas muestras hasta análisis.

13. BIBLIOGRAFIA.

- Adriano, C., 1992. "Biogeochemistry of Trace Metals". Lewis Publishers, USA. pp. 20-370.
- Albert A. L., 1988. "Curso Básico de Toxicología Ambiental", Segunda Edición. Limusa Noriega. México. pp. 105-182.
- Alloway, B. J., 1990. "Heavy Metals in Soils". John Wiley & Sons. New Jersey. pp. 125-146.
- Aragón, M.E., Villa N. I., 1994. "Prácticas de Laboratorio de Análisis de Alimentos". Departamento de Alimentos y Biotecnología. División de Ingeniería. Facultad de Química. UNAM. México, D.F. pp. 2-19.
- Arthey, D., 1992. "Procesado de Hortalizas". Acribia, Zaragoza. pp. 1-4.
- Barberá, R.; Farré, R.; Roig, M. J., 1990. "Evaluación de un Método para la Determinación de Cadmio y Plomo en Vegetales por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama". *Anal. Bromatol.* **XLII-2** 345-352.
- Barcelo, J. & Poschenrieder, C., 1989. "Estress Vegetal". *Investigación y Ciencia*, **154**:54-62.
- Bidwell R.G., 1979. "Fisiología Vegetal" A.G.F. Editores. México. pp. 269-291.
- Bonis, A., 1994. "El Papel del Magnesio, Cobre y Cinc en el Deporte" *Alimentaria, Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos* **251**:41-50.
- Broger T.C., Johnson C.M. & Poull R.E., 1972. "Some Aspect of Lead in Plant Nutrition". *Plant and soil* **36**:301-303.
- Brownsell, V.L., Griffith, C.J. & Eleri, J., 1993. "La Ciencia Aplicada al Estudio de los Alimentos". Ed. Diana, México. pp. 13.
- Buenrostro, G., 1995. "Evaluación de los Niveles de Concentración de Elementos Constituyentes y Contaminantes en diferentes Especies Hortícolas con Flor y Fruto en el Municipio de Ismiquilpan, Hgo.". Tesis. F.E.S. Zaragoza, UNAM. México. pp. 53-77.

Cameron, A. G. & Fox, B. A., 1992. "Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud". Limusa Noriega. México. pp. 271, 299-319.

Carson B.L. & Ellis H.V., 1971. "Toxicology and Biological Monitoring of Metal in Humans". Lewis Published. USA. pp. 245-246.

Charley, H., 1991. "Tecnología de Alimentos". Ed. Limusa Noriega. México. pp. 676-685.

Chetel, J. C., 1988. "Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos" Vol. I. Acribia, Zaragoza. pp. 135-139.

Desrosier, N. W., 1985. "Elementos de Tecnología de Alimentos". Compañía Editora Continental. México. pp. 225-227.

Duffus, J. D., 1983. "Toxicología Ambiental". Ed. Omega. Barcelona. pp. 43-45; 88-93.

Feldman, E. B., 1988. "Principios de Nutrición Clínica". Ed. El Manual Moderno. México. pp. 46-48.

García, P., 1991. "Aspectos Toxicológicos de las Aguas". *Anal. Bromatol.* **XLIII-213**:239-255.

Geiger, P., Federer, P. & Sticher, H., 1993. "Reclamation of Heavy Metal-Cotaminated Soil: Field Studies and Germination Experiments". *J. Environ Qual* **22**: 210-207.

Glaser R.A.B. & Hernández H., 1972. "Lead Detection Air Living Plants Tissue Using a New Histochemical Method". *J. Air Pollution Contrs.* **22**:463-467.

González, M. J., 1985. "Contaminación de Alimentos por Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH), Bifenilos Policlorados (PCBs) y Metales Pesados". *Rev Agroquim. Tecnol. Aliment.* **4**: 25.

Gordon, H., 1984. "Horticultura". Ed. AGT. México. pp. 307; 320-332.

Grande, M., 1996. "Determinación de Cu, Zn, Fe, Mg, Ca, Na, K, Pb, Cr, Cd y Ni en Plantas Comestibles y Forrajeras de Ixmiquilpan, Hgo.". Tesis. FES Zaragoza. UNAM. México. pp. 48-65.

- Hart, L., 1984. "Análisis Moderno de los Alimentos". Ed. Acribia, Zaragoza, pp. 1-13.
- Hernández T., 1995. "Fibra Alimentaria. Concepto, Propiedades y Métodos de Análisis". *Alimentaria XXXIII-261*: 19-29.
- Henrich L. B., 1993. "Química del Suelo". Limusa Noriega, México, pp. 19-25.
- Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ), 1992. "Tablas de uso Práctico del Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México". INNSZ Y CONAL, México, pp. 1-10.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., 1992. "Trace Elements in Soil and Plants". 2da. CRC-Press, Boca Raton Florida, pp. 150-154.
- López A.D., González D.L.D. & Moreno S.A.R., 1987. "La Salud Ambiental en México". Universo Veintiuno, México, pp. 50-63.
- López R. & López M., 1990. "El Diagnóstico de Suelo y Planta". 4a. ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 26-35; 112-113; 221-223.
- López T. M., 1994. "Horticultura". Ed. Trillas, México, pp. 37-51.
- Loué, A., 1988. "Los Microelementos en Agricultura". Mundi-Prensa, Madrid, pp. 20-155.
- Lucas, B., 1994. "Nutrición". Departamento de Alimentos y Biotecnología, División de Ingeniería, Facultad de Química, UNAM, México, pp. 30-31.
- Maroto B., 1989. "Horticultura. Hierbacea Especial". 3a. ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 202, 252, 314, 456.
- Martínez M. C., 1980. "La Ortiga en la Alimentación. IV) Fibra Alimentaria". *Anal. Bromatol.* Madrid, **XXXII-2**:109-118.
- Molina, G., 1979. "Plomo: Sus Implicaciones Sociales y Efectos Sobre la Salud". *Gaceta Médica de México*, **115**:2, pp. 20-28.

- Mondragón, M., 1989. "Evaluación de los Efectos Provocados por los Metales Pesados (Cadmio y Zinc) en los Géneros *Fraxinus* sp (Fresno) y *Eucalyptus* sp (Eucalipto). Así como en las Propiedades del Suelo bajo Condiciones de Invernadero durante el período Nov.85 a Oct.86". Tesis. UNAM. FES Zaragoza. México. pp. 10-119.
- Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. & Lindsay, W. L., 1983. "Micronutrientes en Agricultura". AGT Editor. México. pp. 267-286.
- Muller, H.G., 1988. "Nutrición y Ciencia de los Alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza. pp. 42-46.
- Osborne D.R., 1986. "Análisis de los Nutrientes de los Alimentos". Acribia. Zaragoza. pp. 90-91.
- Prevel, M., 1987. "Plant Analysis as a Guide the Nutrients Requirements of Temperate and Tropical Crops". Lavosier Plubishing Inc. USA. pp.14-59.
- Primo Y. E., 1982. "Química Agrícola III. Alimentos". Ed. Alhambra. Madrid. pp. 129-157.
- Raymond, D., 1985. "Cultivo Práctico de Hortalizas". Compañía Editorial Continental. México. pp. 72-75.
- Ready, C.N. & Patrich J.W. II., 1977. "Effect of Redox Potencial and pH on the Uptake of Cd, Pb, by Rice Plants". *J. Environ. Quall.* 6: (3) 254-262.
- Rodney, J. Noel, 1979. "Determination of Crude Protein in Animal Feeds. Using Block Digestion Followed by Steam Distillation: Collaborative Study". *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 62:290-291.
- Rodríguez Z. C., 1992. "Perspectivas del Uso de las Aguas Residuales en el Estado de Hidalgo". Pachuca, Hidalgo. Resúmenes SARH. pp. 83.
- Salisbury, F. B., 1994. "Fisiología Vegetal". Grupo Editorial Iberoamericano. México. pp. 131-148.
- Sánchez M. C., 1989. "Vida y Nutrición". Siglo XXI Editores. México. pp. 46-50.

- Skoog, D., 1990. "Química Analítica". 4a. ed. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid. pp. 480-515.
- Valadez A., 1990. "Producción de Hortalizas". Ed. Limusa. México. pp. 19-20, 55, 163, 167, 233.
- Vellion C., 1986. "Trace Element Analysis of Biological Samples". *Analytical Chemistry*. **58**:(8) 851A-859A..
- Wild, A., 1992. "Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell". Mundi-Prensa. Madrid. España. pp. 860.
- Woot-Tsuen & Wu-Leung., 1977. "Tabla de Composición de Alimentos Para Uso en América Latina. Interamericana. México. pp. 23-28.
- Xing F. X., 1989. "Response of Kidney Bean to Concentration and Chemical Form of Cd, Zn and Pb in Folloted Soil". *J. Environ. Pollution*. **57**:127-137.
- Zimbhal R.L. & Hasset J. J., 1972. "Lead in soil. Lead in the Enviroment". N.S.F.R.A. Washington. USA. pp. 93-98.