

3. ANTECEDENTES

3.1. Suplementos Naturales

Los suplementos naturales son compuestos elaborados con elementos botánicos, vitaminas, minerales, aminoácidos, enzimas, extractos animales, entre otros (DSHEA, 1994). Están destinados a satisfacer necesidades particulares de nutrición y alimentación de determinados grupos poblacionales y tienen el objetivo de compensar el déficit alimentario en aquellos que, aún manteniendo una ingesta aceptable, no es adecuada para sus necesidades nutritivas. Los suplementos naturales se clasifican, según sea el compuesto activo, en suplementos alimenticios, dietéticos, energéticos, etc. (DSHEA, 1994).

Los suplementos alimenticios son alimentos fortificados con vitaminas, minerales, aminoácidos (donde el contenido final es superior al aporte natural medio) y sirven para complementar u optimizar la dieta diaria y con ello alcanzar un mejor rendimiento físico y cognoscitivo (DSHEA, 1994). Los suplementos dietéticos son aquellos concentrados que tienen uno o más ingredientes dietéticos de diversas funciones, entre la que se encuentra aportar el valor calórico en la dieta, en este caso cubriendo las carencias de la alimentación e inclusive, se llega a recomendar que pueden reemplazar la comida en los casos que se desea perder peso (DSHEA, 1994). Los suplementos energéticos son alimentos modificados en su valor calórico para contribuir en el 100% de lo que provee el alimento diario, éste contribuye con ayuda ergogénica en el alto rendimiento deportivo es decir, en el mejoramiento de las actividades que requieren fuerza y potencia máxima por cortos periodos de tiempo, como levantamiento de pesas, remo y carreras de velocidad, entre otros (DSHEA, 1994).

Los suplementos naturales son considerados alimentos, en razón de que no son capaces de prevenir, diagnosticar y curar enfermedades (DSHEA, 1994). Por lo tanto, las personas que complementan su dieta con sustancias como vitaminas, minerales y elementos botánicos, deben estar más informados sobre los usos de los productos que eligen. Este conocimiento puede ayudar a tomar decisiones conscientes sobre los

productos a seleccionar. Algunos suplementos pueden ayudar a cumplir una adecuada ingestión de elementos esenciales; otros pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades, por ejemplo, a pacientes con bajos niveles de hierro el médico puede recomendar un suplemento a base de este elemento (Zúñiga, 2003). La elección de incorporar suplementos en la dieta puede ser beneficiosa para la salud, sin embargo muchas veces estos productos no son necesarios, y pueden producir efectos negativos a la salud (Zúñiga, 2003).

Los suplementos naturales que aseguran ser efectivos para perder y/o ganar peso, incrementar la fuerza y la concentración mental e inclusive el rendimiento sexual, no son regulados por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) o alguna otra agencia a nivel mundial como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y por la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS, 2002). Esto significa que el consumidor no tiene la certeza de que los suplementos naturales sean seguros, funcionen y contengan lo que está indicado en la etiqueta del envase (DSHEA, 1994). Es un hecho que algunos suplementos a base de vitaminas, minerales, polvos de proteínas, carbohidratos entre otros, han sido empleados por muchos años sin aparentes efectos adversos para la salud sobre todo cuando se emplean de acuerdo a las recomendaciones de su fabricante. En los últimos años ha surgido una explosión de suplementos y paralelamente a esto se ha incrementado la preocupación por vigilar su calidad, haciendo notar que en una gran variedad de suplementos no se señalan sus componentes ni se advierte sobre los riesgos que puede representar su consumo (Clarkson, 2002; Zúñiga, 2003).

Los suplementos naturales pueden presentar riesgos para personas con determinadas condiciones de salud. Por ejemplo: si una mujer está embarazada o lactando no puede tomar suplementos que contengan algas marinas, fibras dietéticas, entre otros; algunos pacientes que padecen una condición crónica como diabetes, hipertensión, o enfermedades del corazón no pueden tomar suplementos que contengan ginseng, ginkgo biloba; vitaminas como el complejo B y minerales como hierro, zinc, cobre ya pueden producir reacciones alérgicas. Por todo lo anterior es conveniente consultar al médico antes de consumir cualquier tipo de suplementos (Zúñiga, 2003).

A diferencia de los medicamentos convencionales, para los suplementos naturales en la mayoría de los países incluyendo México, no existen normas de calidad y de seguridad e higiene que regulen y vigilen la selección de materia prima, elaboración, empaque y comercialización (FDA, 1996). Estos productos pueden ser producidos por cualquier persona, capaz de extraer de hojas, raíces, frutos, etc., y comercializar la llamada sustancia activa. Como ya se señaló, los suplementos naturales no son sometidos a las mismas normatividades que los medicamentos convencionales, y por lo tanto los fabricantes de estos productos son los únicos que definen el tipo de programa control y/o vigilancia (FDA, 1996). En diversos estudios se ha cuestionado estos programas al observar en el etiquetado, la falta de información sobre el nombre de todos los ingredientes y/o sustancias activas y la concentración de cada uno de éstos en la tableta, cápsula y/o porción. Además en muchos casos se presenta información errónea en la etiqueta, todo lo anterior pone en riesgo la salud del consumidor (Ramos y Simonsen, 2002). A este nuevo megamercado, la falta de pruebas se transforma en un problema y su regulación en una necesidad (Ramos y Simonsen, 2002).

En base a la falta de regulación y de control de calidad en su elaboración, los suplementos naturales corren el riesgo de acumular contaminantes como los metales pesados ya sea desde su materia prima y/o durante su elaboración (FDA, 1996). El término de “metales pesados” se refiere aquel metal cuya densidad es mayor a 5 g/cm^3 y sea tóxico en concentraciones bajas (Páez-Osuna, 1996). El riesgo para la salud que implican los metales pesados es conocido, dado que además de su toxicidad, son bioacumulativos, es decir; los organismos vivos apenas pueden eliminarlos de sus tejidos (Kiely, 1999). Los daños que causan los metales pesados son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a este tipo de contaminantes (Páez-Osuna *et al.*, 1998). Por lo cual el estudio de los metales pesados se ha convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública.

3.2. Fuentes de Contaminación

La mayor causa de contaminación por metales se debe a actividades industriales, mineras, agrícolas, entre otras. Estas actividades producen desechos y vapores que luego se condensan o coagulan en forma de humos o cenizas y cloruros procedentes de la reacción de los metales pesados con oxidantes para formar sulfuros u óxidos. Estos contaminantes terminan en el aire, agua y suelo, lo cual trae como consecuencia la contaminación de plantas y/o raíces (Goldberg, 1979) y así se incorporan a las cadenas tróficas (García y Dorronsoro, 2000).

Los metales presentes en los suelos son fuertemente adsorbidos a la raíz en la superficie de la membrana, posteriormente se da una conducción metabólica, una transferencia selectiva al simplasma y por último son transportados a la parte superior de la planta. Las concentraciones más altas de metales generalmente se encuentran en la raíz, con valores intermedios en la parte vegetativa (Kiely, 1999).

Los fenómenos naturales como la lluvia ácida tienen un efecto negativo sobre el suelo y el crecimiento de las plantas, al alterar las sustancias vitales del suelo y depositar metales tóxicos como el mercurio, lo cual dificulta la respiración y la fotosíntesis de las plantas (Stoker y Seager, 1981). También, el agua potable puede ser contaminada fácilmente por la lluvia ácida liberando sustancias químicas al mezclarse metales como el aluminio y el plomo, sustancias dañinas a la salud (Soria, 1996). Conceptualmente la acidez no neutralizada por la copa de los árboles, entra al suelo vía infiltración provocando la disminución del pH, incremento en la movilidad de metales pesados, reducción de los nutrientes al variar su ciclo, etc. (Kiely, 1999). Todo esto puede provocar la acumulación de metales en el suelo y plantas utilizadas en la elaboración de suplementos naturales. La presencia de metales ya sea en la materia prima tanto de origen vegetal como animal requerida para la elaboración de suplementos naturales, depende de muchos otros factores, entre los que hay que destacar las condiciones ambientales, la composición del suelo, la calidad del agua, los métodos de producción, procesado y empaque (FDA, 1996).

La adsorción y solubilidad de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo, ya que a pH bajos son más solubles por lo tanto más disponibles (García y Dorronsoro, 2000). La estructura fina del suelo favorece la entrada e infiltración de metales pesados. Los suelos de textura arcillosa tienden a adsorber a los metales pesados, que permanecen retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos tienen una baja capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (García y Dorronsoro, 2000).

Ciertos suplementos naturales se elaboran a base de plantas acuáticas, un ejemplo son las algas marinas que se desarrollan en un medio en el cual se vierten todos los residuos humanos de los cinco continentes, muchos de estos residuos son absorbidos por las algas y peces, los cuales son consumidos por la población que recibe sistemáticas dosis tóxicas y acumulables de metales con consecuencias irreversibles (Almela *et al.*, 2002).

Las algas marinas tienen la capacidad de fijar concentraciones elevadas de metales como arsénico, plomo, cadmio y mercurio (Páez-Osuna, 1996). Son incapaces de regular con éxito la acumulación de metales pesados de lo cual pueden derivarse una serie de problemas.

Una de las algas más conocidas y comercializadas en distintos países del Continente Americano es la Espirulina verde (*Spirulina maxima*) que crece de forma natural en aguas frescas y es rica en minerales como el zinc (Villares *et al.*, 2002). En la medicina naturista el principal uso que tienen las algas marinas es controlar el peso corporal, prevenir el cáncer, reducir el colesterol y con funciones de complemento nutricional y bio-energizante (Villares *et al.*, 2002). De aquí la necesidad de tomar medidas y precauciones extremas en la selección de plantas acuáticas para la elaboración de suplementos naturales, en especial cuando provienen de zonas con problemas de contaminación (zona de vertidos industriales, metalúrgicos, mineros) (Ramos y Simonsen, 2002).

3.3. Marco Internacional

El uso de suplementos naturales a nivel mundial es cada vez mayor. Se estima que tan solo en 1988 se comercializó aproximadamente 26 billones de dólares (OMS, 2002). Paralelamente al auge en el consumo de los suplementos naturales ha surgido información sobre el riesgo que representan estos productos en la salud. La taxonomía y concentración del ingrediente activo y de los contaminantes químicos como pesticidas, micotoxinas y metales se han constituido en los aspectos de mayor necesidad de investigación.

En Singapur, Wong *et al.* (1993), estudiaron la presencia de concentraciones altas de metales pesados como cadmio, plomo y mercurio en 42 plantas herbarias de origen chino utilizadas para la elaboración de suplementos naturales, como encina, ginkgo (*Ginkgo biloba*), bambú (*Dracaena sandariana*), azalea (*Azalea japonica*), camelia (*Camellia japonica*), hierba de San Juan (*Ityperycum perforatum*), kava (*Piper methysticum*) y yohimbina (*Pausinystalia yohimbe*). Los autores atribuyen la presencia de metales al proceso de manufacturación, especialmente durante el secado al aire y el almacenamiento, ya que durante estos tratamientos, el aire contaminado entra en contacto con los elementos herbarios.

En Estados Unidos de América, Dolan *et al.* (2002), realizaron un estudio con 95 suplementos alimenticios, de los cuales la mayoría son utilizados por mujeres. Los resultados indicaron concentraciones altas de arsénico (<0.005-3.77 µg/g), cadmio (<0.01-0.368 µg/g), mercurio (<0.08-16.8 µg/g), y plomo (<0.02-48.6 µg/g). Los autores señalan que los niveles detectados de metales pueden ocurrir debido a la contaminación de la materia prima con la que fueron elaborados tales productos.

En un estudio realizado por Hight *et al.* (1993), en la ingesta diaria de suplementos naturales, detectaron niveles de plomo que superan los límites permitidos para niños y mujeres embarazadas; estos límites fueron encontrados en muestras de polen de abejas (7.6 µg/día), raíz de codonopsis (14 µg/día), raíz de pseudo ginseng (486 µg/día), extracto de ginseng de siberia (16 µg/día), bayas de vitex (6.9 µg/día), alga

espirulina (9.5 µg/día) y en cartílago de tiburón (11 µg/día). Estos resultados alertaron a la FDA a sugerir a los fabricantes que incluyan las recomendaciones o sugerencias en el etiquetado.

En España debido a la preocupación por los daños causados en el consumo de hierbas, Ernst (2002), estudió hierbas populares como raíces, tallos, hojas, entre otros, generalmente utilizadas en remedios caseros de consumo frecuente, como valeriana (*Valeriana officinalis*), manzanilla (*Artemisa granatensis*), tilo (*Tilia vulgaris*), castaño de indias (*Aesculus hippocastanum*), ginkgo (*Ginkgo biloba*), eucalipto (*Eucaliptus camaldulensis*), albahaca (*Ocimum basilium*), anís verde (*Pimpinella anisum*), entre otros. El estudio demuestra que el 64% de las muestras contenían niveles elevados de plomo y mercurio, el 41% de arsénico y el 9% en cadmio.

Almela *et al.* (2003), revelaron la presencia de niveles elevados de arsénico inorgánico y cadmio en 18 suplementos alimenticios elaborados a base de algas marinas (*Durvillaea antarctica*). Los niveles de arsénico fueron de 0.15 a 88 µg/g y cadmio de 0.03 a 1.9 µg/g. Debido a que actualmente en España no se cuenta con una legislación respecto a contaminantes en productos elaborados con algas del tipo verde, roja y café, compararon sus resultados con las legislaciones de países como Francia, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda y Australia. Los autores concluyeron que con el consumo diario de 1.7 g del producto, alcanzaría el límite semanal tolerable de estos metales. Los autores establecen la necesidad de restringir productos específicos y realizar estudios mas completos sobre la presencia de metales, en especial del arsénico inorgánico.

A partir de las concentraciones de metales detectadas se empezaron a hacer estudios acerca del efecto que tienen sobre la ingesta diaria, como tal es el caso de Dubick y Rucker (1983a) y Dubick (1983b), que examinaron la literatura publicada sobre suplementos naturales a base de vitaminas y minerales, ya que cerca de 4,000 estadounidenses presentaron síntomas de envenenamiento por el consumo de estos productos, donde el 80% de los consumidores eran niños. Los resultados indicaron que el 8, 11 y 16% de las muestras contienen niveles potencialmente tóxicos de vitamina A, C y E, respectivamente. En los productos a base de minerales se detectó el zinc en

niveles menores a 0.015 µg/día, valores dentro de los límites recomendados por la FAO/OMS (2002). También en estudios sobre efectos tóxicos de plomo y arsénico por el consumo de suplementos a base de aminoácidos, enzimas y fibras dietéticas así como de suplementos naturales a base de aloe vera, ajo, ginseng, preparaciones herbarias, alga espirulina, germen de trigo y aceite Dubick (1983c). El autor concluye que los daños causados por estos suplementos está indirectamente relacionada con el tipo de campaña publicitaria que los fabricantes y vendedores dan al exagerar los beneficios de los productos, ya que no están demostrados todas las bondades que se les atribuye.

A nivel mundial se puede considerar que los países como China, República de Corea y Vietnam tienen un sistema integrador, donde los suplementos naturales están oficialmente reconocidos (OMS, 2002).

3.4. Marco Nacional

En México, los estudios relacionados con la calidad de los suplementos naturales se enfoca básicamente a la identificación química del ingrediente activo, en aspectos microbiológicos y taxonómicos.

Al igual que en el resto del mundo, la comercialización de suplementos naturales se ha intensificado significativamente logrando cada vez una mayor aceptación entre la población. Desafortunadamente, en la actualidad sólo se cuenta con una Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SSA1-93) que instituye el procedimiento por el cual se debe revisar, actualizar y editar la medicina alternativa. Son escasas las estadísticas acerca de intoxicaciones, envenenamientos y enfermedades, a diferencia de otros países, relacionadas con el uso de este tipo de productos (Alvidrez-Morales *et al.*, 2002).

En noviembre del 2004 la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) con la finalidad de conocer los hábitos de consumo de aquellos suplementos naturales, alimenticios y dietéticos realizó un sondeo entre 300 personas (150 hombres y 150 mujeres) entre los 20 y 60 años de edad, en distintos puntos del área metropolitana de la Ciudad de México. El sondeo destaca que el 32% de las mujeres entrevistadas han probado algún tipo de “producto milagro”, contra el 10% de los hombres, lo que habla

de que ellas le dan más importancia a estar delgadas que ellos. Los productos más empleados fueron Redugrass, Slim Fast y Fat Away, mismos que son elegidos por su publicidad en televisión. Un hecho importante es que el 75% de las mujeres y el 64% de los hombres realizaron ejercicio y modificaron su alimentación bajando de peso mientras tomaban el “producto milagro” sin embargo, volvieron a subir de peso al dejar de realizar ejercicio y modificar la alimentación.

La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), de la Secretaría de Salud, anunció en febrero del 2005 que al menos 30 productos entre los que se encuentran suplementos naturales, energéticos, dietéticos y estimuladores sexuales serán retirados del mercado por manejar publicidad engañosa al atribuir cualidades a sus productos sin estar demostradas científicamente; además de que la publicidad incumple los requerimientos sanitarios vigentes. Se trata de productos elaborados por compañías como Merkacon, Directa (Innova), Genoma Lab., Suave y Fácil, CV Directo, Unilever, Bio Alternative, Biotanic y Crisma Lab. A nivel regional se espera que a través de la PROFECO, se pueda inmovilizar este tipo de productos.

Durante la década de los 80's hubo reportes de la presencia de plomo en ciertas sustancias utilizadas como remedios entre la población México-Americana de los Estados Unidos de América (Cueto, 1992). Una investigación subsecuente realizada por Cueto (1992), mostró un ejemplo similar en México, al detectar plomo en tres remedios utilizados para tratamiento de enfermedades gastrointestinales conocidos como: greta (monóxido de plomo), azarcón (tetraóxido de plomo) y albayalde (carbonato de plomo). En el reporte se señala la presencia de plomo del 7.70 al 94.10% de las muestras. El autor sugiere que estos remedios caseros fueron contaminados vía aérea debido a la cercanía de los cultivos con la carretera y hace notar que estos hallazgos no invalidan el trabajo de los conocidos “curanderos o boticarios”, sino que evidencia la necesidad de llevar a cabo programas educativos dirigidos a toda aquella persona que se encarga de preparar suplementos o remedios caseros de origen natural.

En México se ha expresado la preocupación por la contaminación de origen ambiental, ya que en la producción y elaboración de suplementos naturales se han detectado metales pesados como cobre, zinc, plomo, cadmio, mercurio y arsénico entre

otros ya que éstos pueden tener efectos negativos en la salud de los consumidores (Barreto, 2002).

3.5. Toxicología de los Metales

Los metales son una parte esencial en el ser humano, al constituir el 3 % en masa del cuerpo humano y jugar importantísimas funciones biológicas, principalmente la enzimática (Méndez, 2001). Los metales, desde el punto de vista biológico, pueden ser de dos tipos: esenciales y no esenciales (Méndez, 2001). Los metales esenciales como el cobre y el zinc, son los que pueden encontrarse en los organismos vivos y ejercen una función biológica insustituible (Almudena y Lizaso, 2003). Un déficit en el organismo de un metal esencial conduce a serias alteraciones biológicas en el hígado y riñón, por ejemplo en el caso de cobre ayuda a la formación de hemoglobina y forma parte de varias enzimas que intervienen en la cadena respiratoria, mientras que el zinc está presente en numerosas enzimas y es el encargado del crecimiento y desarrollo de los huesos. Los metales no esenciales como el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico, por el contrario, ejercen efectos biológicos negativos, como infertilidad, afecciones en el sistema nervioso central, disminución del coeficiente intelectual, etc. (Méndez, 2001). Ahora bien, cualquier metal esencial por encima de una cierta concentración puede resultar tóxico (Méndez, 2001).

3.5.1. Características Físicas y Químicas del Cobre

El cobre es un metal que ocurre naturalmente en las rocas, el suelo, el agua y el aire, también ocurre naturalmente en plantas y animales. Es un metal esencial en bajos niveles para todos los organismos (ATSDR, 2002). El contenido de cobre en un hombre adulto es de 1.4 – 2.1 $\mu\text{g/g}$, mientras que en un niño la cantidad se triplica por su función esencial durante el crecimiento. El consumo diario de cobre debe ser de 1.5 – 3.0 $\mu\text{g/g}$ (Méndez, 2001).

3.5.1.1. Fuentes de Exposición. El cobre se encuentra en el ambiente por diversas razones: por tierras o aguas naturalmente ricas en cobre, la combustión de fósiles y desechos, la producción de abonos de fosfato. El cobre en el suelo se adhiere firmemente por intercambio inorgánico y cuando aumenta el pH, se forman compuestos insolubles. La solubilidad del cobre en el suelo es mínima con pH 5-6. Las reacciones de intercambio y el contenido de nitrógeno del suelo constituyen factores muy importantes para el transporte pasivo del cobre inmóvil (EPA, 2000).

El cobre se ha encontrado en por lo menos 884 de los 1,613 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, 2000). Los niveles más altos se encuentran en los medios marinos, principalmente en los depósitos minerales.

3.5.1.2. Efectos Tóxicos. El cobre se concentra fundamentalmente en los órganos en que ocurren los principales procesos metabólicos: hígado, cerebro, corazón y riñones. En forma aguda provoca hemólisis, necrosis hepática, hemorragias gastrointestinales, etc. En forma crónica aparece irritación respiratoria, alteraciones gastrointestinales y dermatitis. Sistemáticamente origina fiebre del humo metálico, anemia hemolítica, degeneración hepática, alteraciones renales, cerebrales y visuales (González, 2002).

En el hombre se conocen dos desórdenes genéticos íntimamente ligados al cobre, enfermedad de Wilson y enfermedad de Menke. En la primera existe un defecto del metabolismo del cobre, que consiste en un progresivo aumento del contenido de cobre en el hígado, cerebro, riñón y cornea. La segunda es un padecimiento ligado a la sexualidad, en el que existe un defecto en el transporte de cobre por la placenta y una alteración en la absorción intestinal de este metal y se caracteriza por una deficiencia severa de cobre en el cerebro e hígado y muy alta concentración en otros órganos, antes del nacimiento. Estos desordenes genéticos hacen necesario identificar y cuantificar la presencia de cobre en la dieta, incluyendo a los suplementos ya que existe un gran número de éstos que contienen grandes cantidades de cobre (Repetto, 1995).

3.5.2. Características Físicas y Químicas del Zinc

Es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano. La exposición a altos niveles de zinc ocurre al ingerir alimentos y tomar agua (ATSDR, 2002). Actúa como cofactor y como integrante de al menos 200 enzimas (Repetto, 1995). El contenido de zinc en un hombre adulto es de 1.4- 2.3 g. por lo cual es el segundo metal de transición en abundancia en el organismo humano. La dieta diaria normal contiene 12-15 mg de zinc, de los cuales sólo se absorben alrededor de 5 mg (Méndez, 2001).

3.5.2.1. Fuentes de Exposición. El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos (González, 2002). Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales, pero en la actualidad la mayor concentración proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, la combustión de petróleo e incineración de desperdicios. Se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire. La lluvia y la nieve remueven del aire las partículas de polvo con zinc (ATSDR, 2002).

Dependiendo del tipo de suelo, algunos compuestos de zinc pueden moverse al agua subterránea y lagos, arroyos y ríos, la mayor parte del zinc en el suelo permanece adherido a partículas de suelo y no se disuelve en agua. El zinc se ha encontrado en por lo menos 953 de los 1,636 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales de los Estados Unidos de América (EPA, 2000).

3.5.2.2. Efectos Tóxicos. El zinc se acumula principalmente en los órganos sexuales y en el hígado. Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10 a 15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud (2.3 µg/g). La ingestión de grandes cantidades por períodos breves puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos (ATSDR, 2002). Si se ingieren grandes cantidades durante un período más prolongado puede ocurrir anemia y disminución de

los niveles de lipoproteínas de alta densidad, las cuales se encargan de movilizar principalmente el colesterol de regreso al hígado. No se sabe si los niveles altos de zinc afectan la reproducción en seres humanos, sin embargo la administración de grandes cantidades de zinc (102 µg/g) a ratas provocó esterilidad (ATSDR, 2002).

3.5.3. Características Físicas y Químicas del Plomo

El plomo es un metal carente de valor biológico, es decir, no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. El plomo ha sido objeto de amplios estudios tanto en animales de experimentación como en humanos, los cuales han permitido el conocimiento de su toxicología (Cueto, 1992). El plomo inorgánico absorbido es transportado en sangre unido al estroma del eritrocito; su concentración está en equilibrio con los tejidos blandos, no así con el hueso donde se acumula preferentemente (Repetto, 1995).

3.5.3.1. Fuentes de Exposición. El plomo ocurre en forma natural en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. No tiene olor ni sabor especial. Se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, la producción de materiales industriales y por la combustión de fósiles (Repetto, 1995). El plomo tiene muchos usos diferentes. Se utiliza en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos (soldaduras y cañerías) y en dispositivos para evitar irradiación con rayos X (Cueto, 1992).

El plomo no se degrada, sin embargo compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua (ATSDR, 2002). Cuando se libera al aire, puede ser transportado a largas distancias antes de sedimentar en el suelo. El movimiento del plomo desde el suelo a aguas subterráneas dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (ATSDR, 2002). Se ha encontrado plomo en por lo menos 1,026 de los 1,467 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales de los Estados Unidos de América (EPA, 2000).

3.5.3.2. Efectos Tóxicos. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo. El más sensible es el sistema nervioso, especialmente en los niños. También daña a los riñones y al sistema reproductivo (ATSDR, 2002; Almudena y Lizaso, 2003).

El plomo entra en el organismo a través del tracto gastrointestinal, desde donde es distribuido por la sangre a otros tejidos y depositado lentamente en los huesos, donde se localiza el 95% del plomo corporal total (Repetto, 1995). En forma aguda aparece vómito, anorexia, debilidad, incoordinación, convulsión, estupor, coma y muerte. En forma subcrónica y crónica prevalecen la neurotoxicidad, acompañada de una variada alteración de otros órganos. La neurotoxicidad infantil por dosis altas provoca encefalopatía aguda, con letargía, edema cerebral, coma y muerte. A dosis bajas la afectación es predominantemente periférica con disminución del aprendizaje (Cueto, 1992).

3.5.4. Características Físicas y Químicas del Cadmio

El cadmio es un elemento no esencial para los sistemas biológicos que se encuentra presente como contaminante en los alimentos, agua o aire. La toxicidad del cadmio en humanos ha sido debatida durante los últimos 40 años. El repetido fracaso de la OMS para preparar y publicar un documento de criterios de la salud ambiental sobre este elemento es indicativo de que su significación en la salud humana presenta más controversia que la de otros tóxicos ambientales (ATSDR, 2002).

3.5.4.1. Fuentes de Exposición. El cadmio entra al aire a través de fuentes como la minería, industria, en la combustión de carbón y desechos domésticos. En el aire las partículas de cadmio pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo, en el cual se adhieren fuertemente y parte de ellas se disuelven en el agua (Repetto, 1995). Este elemento no se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma química. Las plantas, peces y otros animales incorporan cadmio del medio ambiente; la principal incorporación a la cadena alimentaria se hace principalmente a través de la dispersión en el suelo, aguas y plantas que son capaces de absorberlo a través de la raíz,

por los brotes, las hojas, lo cual trae como consecuencia que éstas pueden ser utilizadas en el consumo o en la elaboración de suplementos naturales. Se ha encontrado cadmio en por lo menos 776 de los 1,467 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales de los Estados Unidos de América (EPA, 2000).

3.5.4.2. Efectos Tóxicos. El cadmio se acumula en la sangre, corteza renal, hígado, testículos y próstata, pulmones y huesos, permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles. En forma aguda produce vómito, diarrea, dolores abdominales por inflamación del hígado, respiración acortada, gastroenteritis por ingestión y alteraciones testiculares, ováricas y en ganglios sensitivos (ATSDR, 2002).

En forma crónica provoca cáncer de próstata, proteinuria de origen tubular, anemia por interferir la absorción de hierro, hipertensión, hiperglucemia, reacciones inmunitarias, alteraciones en el sistema nervioso central y periférico y alteraciones del metabolismo mineral (osteoporosis) (Repetto, 1995).

Debido a que se acumula en las células proximales tubulares, el primer signo de la disfunción tubular es un incremento en la excreción urinaria de proteínas de bajo peso molecular (Repetto, 1995). Causa daños embriotóxicos y teratógenos, origina daños en la placenta y puede causar lesión fetal (Méndez, 2001; ATSDR, 2002)

3.5.5. Características Físicas y Químicas del Mercurio

El mercurio es un metal tóxico, distribuido de forma natural y visto comúnmente como un metal líquido brillante, de color blanco plateado e inodoro y poco soluble en agua (Labunska *et al.*, 2000; Soto, 2001; Chemical Program, 2002). Las propiedades físicas y químicas del mercurio lo convierten en un metal atractivo para su uso (Repetto, 1995).

3.5.5.1. Fuentes de Exposición. El mercurio inorgánico (mercurio metálico y compuestos de mercurio inorgánicos) pasa al aire durante la extracción de depósitos minerales en la combustión de carbón y basura y de plantas industriales (Repetto, 1995;

ATSDR, 2002). Se encuentra en el agua, en la tierra de depósitos naturales, de basurales y de actividad volcánica. La forma orgánica como el metilmercurio puede ser formado en el agua y el suelo por pequeños organismos llamadas bacterias (Repetto, 1995; ATSDR, 2002). Esta sustancia química se ha encontrado en por lo menos 714 de los 1,467 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales de Estados Unidos de América (EPA, 2000; ATSDR, 2002).

3.5.5.2. Efectos Tóxicos. El sistema nervioso es muy susceptible a todas las formas de mercurio. El metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son los más nocivos, ya que una mayor cantidad de estas formas de mercurio llegan al cerebro (ATSDR, 2002). La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico u orgánico puede dañar en forma permanente a los riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o a la audición y problemas de la memoria. La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos (ATSDR, 2002).

El mercurio se acumula principalmente en el sistema nervioso central y en las grasas por ser liposolubles (ATSDR, 2002). En forma aguda provoca insuficiencia respiratoria, vómitos y alteración del sistema nervioso. La afectación crónica del sistema nervioso central, provoca eretismo (alteración de la personalidad, excitabilidad, pérdida de memoria, insomnio), sordera, ceguera, alteración tiroidea y gingivitis. Puede también afectarse el sistema nervioso periférico con degeneración de fibras fundamentalmente sensitivas. En riñón hay necrosis tubular proximal (ATSDR, 2002).

3.5.6. Características Físicas y Químicas del Arsénico

El arsénico es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre, es un elemento no esencial (Méndez, 2001). Los derivados inorgánicos de arsénico (trióxido y pentóxido) se usan como pesticidas, raticidas, en productos para preservar la madera y como herbicidas. También se emplean en la fabricación de

cristales (ATSDR, 2002). La dosis tóxica de arsénico inorgánico en el adulto es de 0.0005 $\mu\text{g/g}$ y la potencialmente mortal es de 0.002 $\mu\text{g/g}$, aunque existe un amplio margen de variabilidad individual (Repetto, 1995). Las formas orgánicas, que tuvieron un uso medicinal a principios de siglo para curar la sífilis, amebiasis, etc., se consideran, en general, menos tóxicas (Repetto, 1995).

3.5.6.1. Fuentes de Exposición. El arsénico se encuentra tanto en suelo como en agua y en la mayoría de los tejidos vegetales y animales. Es un tóxico persistente cuya presencia en las zonas contaminadas se mantiene después de muchos años con la posibilidad de incorporarse a la cadena alimentaria, donde su principal vía es la bebida, pescados y la ingesta de plantas contaminadas, las cuales pueden ser utilizadas en la elaboración de suplementos. Se ha encontrado arsénico en 1,014 de los 1,598 sitios de la Lista de Prioridades Nacionales de los Estados Unidos de América (EPA, 2000; ATSDR, 2002).

3.5.6.2. Efectos Tóxicos. Los derivados del arsénico se dividen en inorgánicos y orgánicos. Las sales inorgánicas son mucho más tóxicas que las orgánicas y más solubles. El 70% del arsénico ingerido proviene de los alimentos, en cuyo caso, generalmente se trata de derivados menos tóxicos. El 29% proviene del agua y el 1% del aire que respiramos, donde se halla en la forma inorgánica y soluble. Actualmente existen evidencias de su efecto carcinogénico para el hombre (Almudena, 2003).

El arsénico inorgánico se concentra en los leucocitos y así se transporta al hígado y riñones, pulmones, cabello, dientes, uñas y piel. Mientras que el arsénico elemental (As) es poco tóxico por su escasa solubilidad. Aparte de su capacidad irritante, los demás compuestos arsenicales producen intoxicaciones sobreagudas, agudas y crónicas (Páez-Osuna, 1996).

La intoxicación sobreaguda, por rápida absorción de una gran cantidad de arsénico oscila entre 120 y 200,000 μg y en niños, dosis de 2 $\mu\text{g/g}$ pueden ser letales (Repetto, 1995). Se manifiesta una hora tras la exposición como un cuadro neurológico paralítico sin vómitos ni diarreas (ATSDR, 2002). La intoxicación aguda, aparece como

un cuadro gastrointestinal, con vómitos, diarreas e intensos dolores abdominales, fiebre, insomnio, anemia, melanosis, alteraciones cardíacas y nerviosas periféricas. En las formas crónicas se producen cuadros irritativos, cutáneos, necrosis corneal y la típica perforación del tabique nasal, anemia, alteraciones cardiovasculares, neuritis periférica. Se inicia con pérdida de fuerza, anorexia y vómitos (ATSDR, 2002)

2.6. Importancia de la Estimación de la Ingesta de Metales

El contenido de metales en los alimentos tanto de origen animal como vegetal depende de muchos factores entre los que hay que destacar las condiciones ambientales, los métodos de producción y procesado y el lugar de origen del alimento, especialmente en relación a la composición del suelo (Almudena y Lizaso, 2003). Es por esto que se vuelve necesario disponer de valores confiables de la ingesta diaria total de metales y evaluarla por comparación con las recomendaciones de ingesta diaria de la FAO/OMS para estimar el riesgo toxicológico al que esta expuesta la población.