



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

'EVALUACION DE LA TOXICIDAD DE LAS ESPECIES COMESTIBLES ACUMULADORAS DE METALES:

Helix aspersa y Opuntia EN Drosophila melanogaster'

TESIS MANCOMUNADA QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICA DE ALIMENTOS PRESENTA: MA. DEL ROSARIO CASTELLANOS FERREIRO

Y

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICA PRESENTA: REBECA OROZCO GARCIA



MEXICO, D. F.

2000



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.

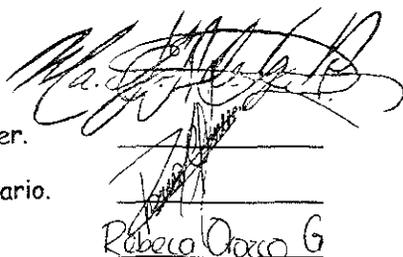
Jurado asignado:

Presidente: Prof. PEDRO VALLE VEGA
Vocal: Prof. LUCIA GABRIELA BASCUÑAN TERMINI
Secretario: Prof. MARÍA ESTHER DE LA ROSA DUQUE
1er Suplente: Prof. LETICIA GIL VIEYRA
2do Suplente: Prof. IMELDA VELÁZQUEZ MONTES

Sitio donde se desarrolló el tema:

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Bioinorgánica, Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, en la sección de Posgrado, Facultad de Química, UNAM. Con la colaboración de la Dra. M.I. Gaso y Prada y del grupo del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), y de la Dra. Leticia Tavera del depto. de Física de Radiaciones del ININ.

Asesor: Dra. De La Rosa Duque María Esther.
Sustentantes: Castellanos Ferreiro María del Rosario.
Orozco García Rebeca.



Handwritten signatures of the authors and advisor. The top signature is of María Esther de la Rosa Duque. Below it are the signatures of María del Rosario Castellanos Ferreiro and Rebeca Orozco García. The name 'Rebeca Orozco G' is also printed below the signature.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNAM POR PERMITIRNOS SER PARTE DE SU HISTORIA.

A LA FACULTAD DE QUÍMICA POR SER MÁS QUE UN RETO, SER
NUESTRO SEGUNDO HOGAR.

A MA. ESTHER, ISABEL GASO, LENA, ISABEL GRACIA, RAFAEL, POR
HACER DE NUESTRO FUTURO UNA REALIDAD.

A MIRYAM, CECI, MARA, TERE Y LUZ MA. POR LA PACIENCIA, EL APOYO
Y POR COMPARTIR CON NOSOTRAS LOS MEJORES MOMENTOS.

A NUESTROS SINODALES POR TOMARSE EL TIEMPO DE LEER Y MEJORAR
CON SUS COMENTARIOS ÉSTE TRABAJO.

Chayo y Rebe.

"DORMÍ Y SOÑÉ,
DESPERTÉ Y VI,
TUVE FE Y LOGRÉ
ALCANZAR ESTO QUE
UNA VEZ SOÑÉ"

Rosario Castellanos Ferreiro

A ESAS ENERGÍAS POSITIVAS QUE ILUMINAN Y GUÍAN MI CAMINO.

EN MEMORIA DE QUIEN SUPO SER Y ES MI EJEMPLO DE VIDA: MI

ABUELO.

A MI MADRE EN RECOMPENSA A TODO SU ESFUERZO, Y AMOR. POR SU
APOYO, COMPRENSIÓN Y PRESENCIA.

A MI ABUELITA POR DEDICARME SU VIDA Y SU TIEMPO, PORQUE ME
AYUDO A SER LO QUE SOY.

A LUPITA Y CHARO POR SU AMISTAD, CARIÑO Y PRESENCIA EN CADA
MOMENTO DE MI VIDA, POR CONFIAR Y CREER EN MI

A MI TÍOS ELISA, LUCHA, LAURITA, ANA, EFRÉN, HÉCTOR Y PATRICIA
POR SU CARIÑO Y APOYO, A MIS PRIMOS. A RICARDO POR ESTAR
SIEMPRE CON LA MANO DISPUESTA Y LA PALABRA PRECISA.

A LA DRA. MA. ESTHER DE LA ROSA, POR SU PACIENCIA Y SOBRETUDO
POR SU CARIÑO Y SABIDURÍA QUE ME IMPULSAN A SEGUIR ADELANTE.

A MIS AMIGOS: ALEJANDRO. CRISTINA, CARLITOS, JORGE, JAMES,
ADRIANA, PILI, KATIA, POR DEJAR UNA HUELLA MUY IMPORTANTE EN
MI VIDA

A RAMIRO, MAYTE, VÍCTOR, Y MARTÍN, POR SU ENSEÑANZAS Y SU
MANO AMIGA

A LA GRAN FAMILIA DEL IMA POR AYUDARME A SER MEJOR CADA DÍA

Y POR SUPUESTO A REBECA: POR FIN!... GRACIAS

A LOLA Y NICO POR QUE NOS UNE ALGO MÁS QUE LOS LAZOS DE
SANGRE...

A BETO, TU VIGOR ES UN EJEMPLO A SEGUIR.

A ROBERTO Y AMPARITO, AUNQUE SE MARCHARON ANTES DE VER ESTE
LOGRO SE QUE LO FESTEJAN CONMIGO DESDE DONDE ESTÁN.

A CRISTI Y CARLOS POR EL HOGAR QUE ME BRINDARON DURANTE MIS
ESTUDIOS.

A TACHO, CONCHA, SOTERO Y JUANA POR EL CARIÑO QUE ME HAN
DADO.

A NORMA Y LETY MIS AMIGAS Y COMPAÑERAS DE CARRERA,
DISFRUTAMOS MUCHO JUNTAS.

A CHAYO MI HERMANITA REIGUAL, NUESTRO EQUIPO ES EL MEJOR.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN:.....	11
INTRODUCCIÓN:.....	14
I. ANTECEDENTES:.....	18
1.- MEDIO AMBIENTE:.....	18
2.- CONTAMINACIÓN AMBIENTAL:.....	19
2.1 Clases de Contaminación:.....	20
2.2 Principales tipos de contaminación:.....	21
2.3 Criterios para el monitoreo de la contaminación:.....	25
2.4 Organismos bioindicadores:.....	27
3.- CONTAMINACIÓN EN ALIMENTOS:.....	28
3.1 Contaminación de alimentos por metales:.....	28
3.2 Contaminación de alimentos por radionúclidos:.....	34
4.- ESPECIES QUE SE ESTUDIAN EN ESTE TRABAJO.....	37
4.1 <i>Helix aspersa</i>	39
4.2 <i>Opuntia spp.</i>	41
4.3 <i>Drosophila melanogaster</i> como modelo de estudio:.....	46
II. OBJETIVOS:.....	49
III. HIPÓTESIS.....	50
IV. MATERIAL Y MÉTODOS:.....	51
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:.....	60
VI. CONCLUSIONES:.....	82
VII. BIBLIOGRAFÍA:.....	83
VIII. APÉNDICE.....	91
ANEXO 1.....	91
ANEXO 2: GRÁFICOS DE ACTIVIDAD DE RADIONÚCLIDOS.....	94
ANEXO 3: GRÁFICOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS.....	95
ANEXO 4: GRÁFICOS DE VIABILIDAD.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: VALORES DE REFERENCIA PARA LOS NIVELES DE INTERVENCIÓN DERIVADOS (NID) EN Bq/Kg.	35
Tabla II: SUPERFICIE CULTIVADA CON NOPAL - VERDURA POR ENTIDAD FEDERATIVA	43
Tabla III: VALOR NUTRICIONAL DEL NOPAL EN 100 g. DE PESO NETO.	45
Tabla IV: CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS EN EL NOPAL.	46
Tabla V: ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE Ra-226, Cs-137 Y K-40 (Bq/Kg), EN CARACOL TERRESTRES COMESTIBLES, RECOLECTADOS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER DE 1994 A 1999.	64
Tabla VI: ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/Kg) Y SUPERFICIAL (Bq/m ²) DE Ra-226, Cs-137 Y K-40 EN MUESTRAS DE SUELO DEL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER TOMADAS DE 1991 A 1999	65
Tabla VII: VALORES PROMEDIO DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN (FC) Y FACTOR DE TRANSFERENCIA AGREGADO (FTA (m ² /Kg.)) SUELO-GUSANO DE CARACOL.	67
Tabla VIII: ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE Ra-226, Cs-137 Y K-40 (Bq/Kg), EN NOPALES RECOLECTADOS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER DE 1994 A 1998.	68
Tabla IX: VALORES PROMEDIO DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN (FC) Y FACTOR DE TRANSFERENCIA AGREGADO (FTA (m ² /Kg.)) SUELO-NOPAL.	68
Tabla X: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS (ppm) PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE GUSANO Y CONCHA DE CARACOL.	72
Tabla XI: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS (ppm) PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE NOPAL	73
Tabla XII: CONCENTRACIONES UTILIZADAS PARA LOS TRATAMIENTOS DE TOXICIDAD.	77
Tabla XIII: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE CONCHA Y GUSANO RECOLECTADAS EN 1986	78
Tabla XIV: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE GUSANO DE CARACOL	78
Tabla XV: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE CONCHA DE CARACOL	79
Tabla XVI: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE NOPAL	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER)	16
Figura 2: Contaminación, Materia y Energía	24
Figura 3: Posibles rutas de exposición a contaminantes	38
Figura 4: <i>Helix aspersa</i>	40
Figura 5: <i>Opuntia</i>	42
Figura 6: Desarrollo Embrionario de <i>Drosophila melanogaster</i>	48
Figura 7: Equipo de Espectrometría Gamma con un Detector de Germanio Hiperpuro	54
Figura 8: Espectrofotómetro de Rayos X	56
Figura 9: Esquema de un espectrofotómetro de Absorción Atómica	58
Figura 10: Localización regional del CADER	60
Figura 11: Ubicación geográfica del CADER	61
Figura 12: Esquema del interior del CADER	63

RESUMEN:

Los alimentos que ingiere el hombre, ya sea de origen animal o vegetal, contienen muchos componentes que en concentraciones elevadas pueden perjudicar su salud. Algunos de estos componentes son los metales y radionúclidos, que pueden llegar a los alimentos de forma natural, ya que son absorbidos de la tierra, agua o aire; o de forma intencional en el proceso de elaboración o por causa de algunos accidentes.

Para monitoreo de metales pesados, radionúclidos y otros contaminantes presentes en el medio, se utilizan organismos bioindicadores, que tienen la capacidad de acumular estos contaminantes ya que están expuestos a todos los cambios del ecosistema, por depender en gran medida del lugar donde habitan, así como por desarrollar mecanismos bioquímicos de adaptación a estos cambios.

Los seres vivos podemos estar expuestos a la acción de numerosos agentes potencialmente tóxicos, sean estos físicos, químicos o biológicos que pueden provocar efectos fisiológicos, bioquímicos patológicos y genéticos en nuestro organismo. Muchos de estos tipos de contaminación la podemos encontrar en los alimentos. En este trabajo nos enfocamos a la causada por metales y radionúclidos que son incorporados y acumulados por el nopal (*Opuntia sp.*) y los caracoles terrestres comestibles (*Helix aspersa*) ya que por sus características físicas, biológicas y químicas, además de que son organismos sedentarios, son excelentes indicadores biológicos de algunos elementos químicos de origen natural y artificial

presentes en el suelo. Además estas especies son consumidas por el hombre, ya sea en combinación o por separado, y en algunos estratos sociales forma parte importante de la dieta diaria.

Si estas especies concentran en sus órganos y tejidos metales pesados y/o radionúclidos, y el hombre los consume en gran cantidad y con mucha frecuencia, por el hombre, la cadena alimenticia se convierte en una fuente importante de exposición a agentes químicos.

Con el objeto de evaluar la toxicidad de las especies comestibles *Helix aspersa* y *Opuntia spp.* que son acumuladoras de metales y radionúclidos se hicieron pruebas en *Drosophila melanogaster*, la pequeña mosca de la fruta; requiere solamente de 10 a 20 días para producir una generación; una pareja puede producir varios cientos de descendientes, y se desarrollan en una variedad de medios de cultivo de fácil preparación. Estas características han permitido la utilización de esta especie en los estudios toxicológicos y genéticos.

Para identificar los metales y radionúclidos presentes en las muestras de caracoles y nopales recolectados en los alrededores de Maquixco, Estado de México se utilizaron las técnicas analíticas de fluorescencia de rayos X, absorción atómica y espectrometría gamma. Estos análisis se llevaron a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Los posibles efectos tóxicos producidos por los metales y/o radionúclidos presentes en estas especies se determinarán en *Drosophila melanogaster*, midiendo la viabilidad larva-adulto como indicador de toxicidad. Se dio tratamiento crónico a larvas de 48 h. de edad con diferentes concentraciones de las muestrás de nopales y caracoles investigados.

Las concentraciones de metales presentes en las muestras de nopal, tienen una variación de concentración a lo largo del tiempo. En cuanto a la viabilidad, no se observó una dosis - respuesta, sin embargo las pruebas estadísticas señalan que algunas muestras de concha, gusano de caracol y nopal presentan toxicidad en *Drosophila melanogaster*. Sin embargo no podemos afirmar que esta toxicidad sea debida a los elementos y radionuclidos presentes en dichas muestras ya que la actividad de éstos, analizados por espectrometría gamma están por debajo de los límites permisibles en alimentos, reportados en el Codex Alimentarius.

Podemos concluir que las concentraciones de elementos y radionúclidos presentes en los caracoles de jardín y nopales no presenta ningún riesgo para los habitantes de los alrededores del CADER.

INTRODUCCIÓN:

La contaminación del medio ambiente siempre representa un riesgo para la salud humana; esta contaminación puede llegar a nosotros por diversas vías, por aire, agua, suelo, o por ingesta de alimentos contaminados. Los procesos que controlan el destino final de un compuesto químico en el ambiente son el transporte, la transformación y la transferencia del mismo. El transporte de los agentes químicos en el ambiente se debe fundamentalmente a las fuerzas naturales. La transformación es un cambio en la estructura física o química de un compuesto. La transferencia es el movimiento de los compuestos químicos en la biosfera: aire, agua, suelo y organismos vivos.

El comportamiento y destino final de muchos agentes químicos está también influido por diferentes aspectos como son la solubilidad en agua, la bioconcentración y la biotransferencia.

Uno de los tipos de contaminación que más interés ha despertado en los científicos es la causada por acumulación de metales pesados y la producida por algunos radionúclidos ya que la exposición del hombre a los mismos, trae severas consecuencias en su salud a corto o largo plazo. (IAEA, 1982b, 1991, 1996).

La mayoría de los metales pesados y radiactivos que naturalmente se encuentran en los alimentos están en cantidades muy pequeñas, el verdadero problema se presenta por la acumulación de los mismos y la biodisponibilidad que tengan dentro del organismo.

Esta contaminación ambiental por metales afecta a todos los organismos, desde las plantas, los insectos, otros animales hasta el hombre que forman parte del ecosistema de un lugar, ya que se incorporan a la cadena alimenticia en diferentes niveles y por lo tanto a la dieta normal de grupos de individuos que viven en determinadas zonas y de aquellos a quienes les lleguen los alimentos en forma indirecta. (Gasó, 1998).

En zonas marginales, donde el nivel socioeconómico es muy bajo, la población se alimenta de lo que tiene a su alcance y no represente un costo muy alto, un ejemplo de este tipo de alimento son los caracoles terrestres comestibles, que además tienen la característica de ser excelentes bioindicadores de la presencia de algunos metales presentes en el medio. Otro alimento que presenta estas características son los nopales que se consumen no solo en niveles de bajo poder adquisitivo, sino que son básicos en la alimentación mexicana, consumidos en cualquier forma, además sirven de alimento a los mismos caracoles por lo que pueden contribuir a que ocurra una mayor acumulación de metales en los caracoles.

La presente investigación se realizó con caracoles y nopales del interior y alrededores del Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER), de Santa María Maquixco, Edo. de México, México.(Fig.1). Se llevó a cabo el estudio de los metales y radionúclidos acumulados en dichos organismos con el fin de estimar los posibles riesgos a los que podría estar expuesta la población que vive en los alrededores del CADER.

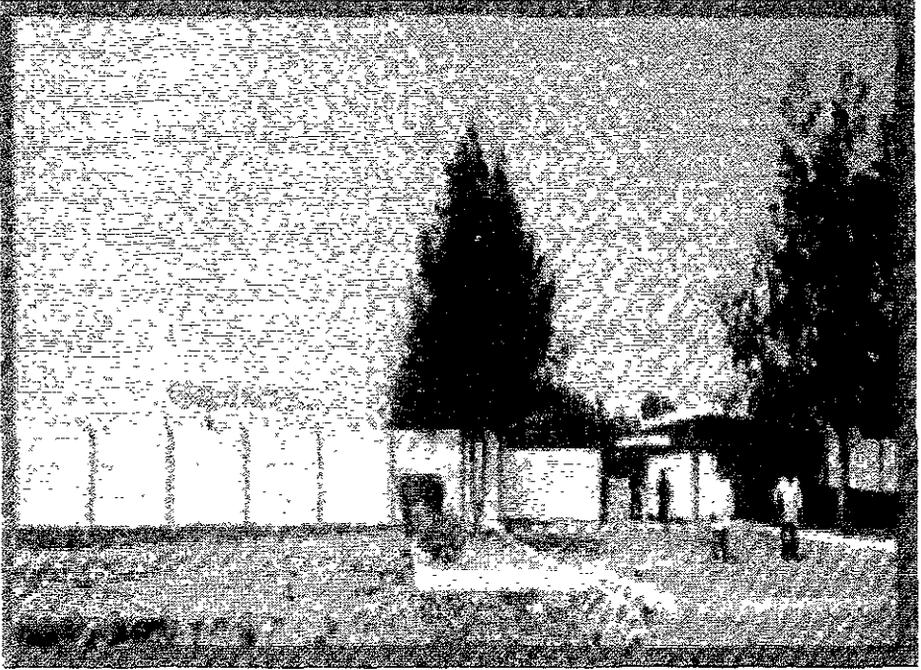


Figura 1: Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER)

Para evaluar los riesgos que se pueden presentar por contaminación de metales y radionúclidos, se determinaron las concentraciones presentes en este tipo de alimentos, mediante las técnicas analíticas correspondientes.

El potencial tóxico de las dos especies acumuladoras de metales pesados y radionúclidos se evaluó utilizando a *Drosophila melanogaster* como sistema biológico de prueba.

I. ANTECEDENTES:

1.- MEDIO AMBIENTE:

La Ecología es la ciencia que estudia las interacciones entre los organismos y su medio. Los organismos pueden estar asociados en tres niveles de organización: poblaciones, comunidades bióticas y ecosistemas: Una población es un grupo de individuos de una sola especie. Una comunidad biótica comprende todas las poblaciones que ocupan un área definida. La comunidad biótica, junto con el medio ambiente físico no viviente comprende un ecosistema.

Actualmente es muy difícil encontrar en el mundo ecosistemas que no hayan sido perturbados de alguna manera por el hombre, sobre todo en los lugares donde se practica la agricultura desde hace miles de años.

La vegetación se define como el conjunto de plantas consideradas en relación al lugar donde viven en agregaciones específicas. En los paisajes naturales, la flora y la fauna son originales y espontáneas, y la vegetación no sufre modificaciones por el hombre. En los paisajes sub-naturales, la flora y la fauna son nativas y espontáneas pero con algunos elementos extraños que se han ido incorporando a lo largo del tiempo. En los paisajes semi-naturales la flora y la fauna permanecen nativas, pero la vegetación ha sido evidentemente modificada por el hombre. (Poldini, 1990).

El criterio principal para la evaluación de los ecosistemas, es el de la vegetación potencial natural junto con el criterio de diversidad y vulnerabilidad. En

los ecosistemas naturales, la población humana está controlada por el ambiente y los productos de los ecosistemas que se consumen localmente. (Poldini, 1990).

Ciertos atributos de los ecosistemas juegan un papel muy importante en las modificaciones del comportamiento de los contaminantes en ellos. Entre los factores importantes que se deben considerar están: las características de la tierra, abundancia de nutrientes y agua así como la estructura de comunidades bióticas. La relación suelo - planta es el primer paso por el que los contaminantes se introducen a la cadena alimenticia.

2. - CONTAMINACIÓN AMBIENTAL:

La contaminación ambiental siempre ha existido. Sin embargo, en los últimos años ha aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo reflejándose éstos en efectos adversos sobre el ambiente y la salud.

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de sustancias naturales o sintéticas al ambiente, rebasa la capacidad del ecosistema para asimilarlas o degradarlas. Por lo que una definición simple de contaminación sería "la acumulación indeseable de sustancias, organismos o formas de energía en un sustrato"; sin embargo una definición más completa de contaminación ambiental es: *"La introducción o presencia de sustancias , organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que*

estas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona” (Albert, 1997).

De acuerdo a esta definición, sabemos el origen de la contaminación, es decir, la materia o energía que entra en un sistema y no sale de él y establece un equilibrio, pero si se encuentra en exceso en el sistema provocará contaminación. Esta materia o energía puede ser de origen natural o antropogénico por la generación de energía, industria, agricultura, procesos sociales, etc.

2.1 Clases de Contaminación:

La contaminación ambiental puede clasificarse de la siguiente manera:

Por el proceso que la causa: Si la contaminación es resultado de procesos naturales como erupciones de volcanes, erosión o de actividades humanas.

Por el tipo de contaminante. Los contaminantes pueden ser biológicos como *Vibrio cholerae*, o *Salmonella*; físicos como las radiaciones, el ruido o el calor; y los compuestos químicos como los clorofluorocarbonos o detergentes.

Por el origen de los contaminantes: En general pueden ser de origen natural o artificial, o ambos, por ejemplo: los contaminantes biológicos solo pueden ser de origen natural, mientras que los físicos y químicos, naturales o artificiales.

Los contaminantes químicos sintetizados por el hombre y que anteriormente no se encontraban en la naturaleza se les conoce también como xenobióticos.

Por la naturaleza química del contaminante: los contaminantes de origen natural, a su vez, se clasifican en orgánicos, como las micotoxinas y en inorgánicos como el plomo.

Por sus efectos: Esta clasificación es independiente del origen de los contaminantes, se enfoca al daño que provoca en los organismos expuestos, provocando un daño fisiológico o anatómico, cambios irreversibles en el equilibrio fisiológico, aumento en la sensibilidad a otros agentes químicos, físicos o biológicos y su presencia es incompatible con la vida.

Por el sustrato afectado: Esta clasificación se refiere al medio en el que los contaminantes se acumulen, por ejemplo el aire, el agua, el suelo, los alimentos. Sin embargo esta clasificación es muy general y puede incluir a las otras.

2.2 Principales tipos de contaminación:

2.2.1 Contaminación Biológica.

Se refiere a los organismos que se encuentran en un sustrato al que no pertenecen, o bien, pertenecen pero están en concentraciones elevadas.

En general, es de origen antropogénico ya que se ocasiona por deficiencias en los servicios de saneamiento, bajo nivel de educación, hábitos higiénicos, control de calidad e higiene en las industrias. Dicha contaminación puede evitarse, controlarse o reducirse ya que sus efectos suelen estar bien localizados en tiempo y espacio.

2.2.2 Contaminación Física:

Este tipo de contaminación se debe a diversas formas de energía que sobrepasan los niveles basales en el medio o sustrato donde se encuentre.

En estos contaminantes es difícil establecer una asociación entre ellos y sus efectos, ya que estos se pueden presentar a largo plazo y es muy complicado establecer una conexión con esta forma de contaminación. Algunos problemas que puede ocasionar son la muerte de plantas y animales, mutaciones, cáncer, defectos congénitos, efectos psiconeurológicos.

2.2.3 Contaminación Química.

Esta forma de contaminación ha ido en aumento conforme la sociedad va creciendo y sobretodo con la modernización y la industrialización que ocupan toda su atención. El resultado es el aumento de las fuentes de contaminantes, la entrada masiva al ambiente de numerosas sustancias de origen natural o xenobióticas que tardan en dispersarse y degradarse y que al entrar en los ciclos biogeoquímicos del lugar no se degradan, así como la movilización y uso crecientes de compuestos naturales como los metales pesados y el petróleo.

Cuando un contaminante químico entra en el ambiente su comportamiento dependerá de: Su naturaleza química, sus características fisicoquímicas, la cantidad en la que se presente y la frecuencia de sus emisiones.

Así como también influirán en su comportamiento algunas características del propio ambiente como: Temperatura, pH, humedad, luz, calor, naturaleza de los organismos presentes en el medio y las interacciones de éstos con el contaminante.

Los efectos que causan cualquiera de estos tipos de contaminación, tienen una relación muy estrecha con el tiempo en el que son evidentes, los síntomas se pueden manifestar inmediatamente, a mediano o a largo plazo, ello dependerá de la capacidad que tenga el ambiente para degradar los contaminantes y por supuesto el tipo de contaminación de que se trate, de la naturaleza del contaminante y de la insistencia de provocar esta contaminación.

Los efectos de estos contaminantes pueden presentarse en lugares cercanos al origen de la contaminación, aunque en ocasiones en lugares remotos, tal es el caso del accidente de Chernobil ocurrido en Ucrania el 26 de abril de 1986; parte de los radionúclidos liberados por la explosión del reactor nuclear fueron transportados hacia la troposfera y estratosfera y dispersados globalmente a la circulación general de la atmósfera, la que depende de la presión y el sistema de vientos, a estos efectos se les conoce como macro ambientales, globales o transfronterizos. Sin embargo en cualquier punto afectan tanto a un organismo como al ecosistema entero, y de modo directo o indirecto también afectan al hombre.

La manera en la que la contaminación puede llegar al hombre es por las vías respiratoria, dérmica, oral, transplacentaria o intravenosa. Hay que tomar en cuenta que el problema es mayor si se considera que el organismo no solo está expuesto a un solo tipo de contaminante sino a varios de ellos de manera simultánea provocándose efectos aditivos, sinérgicos, de potenciación, de antagonismo y tolerancia.

Por otro lado es importante señalar que no todos los organismos responden igual a los contaminantes, ya que influye el ambiente en el que se encuentren y la condición misma del organismo dada por su estructura genética, estado nutricional, ambiente, sexo, edad, estado emocional, etc. Los animales han desarrollado procesos de biotransformación por los que se pueden eliminar los agentes xenobióticos ya sea por la orina, heces fecales, o expirado en el caso de los gases. Sin embargo, cuando la absorción es mayor que la excreción, el agente contaminante (materia o energía) tiende a acumularse en cantidades elevadas y a mostrar un efecto tóxico.(Fig. 2)

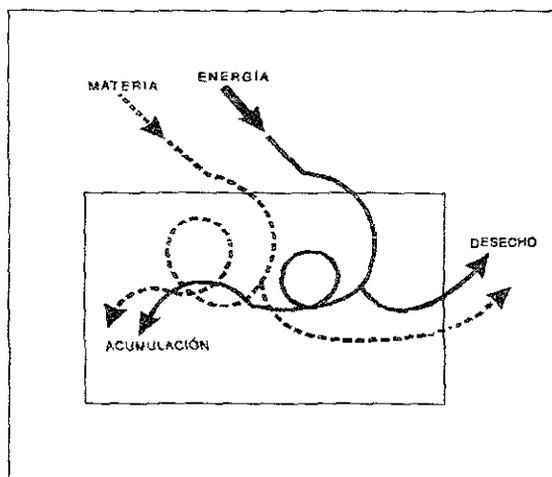


Figura 2: Contaminación, Materia y Energía

2.3 Criterios para el monitoreo de la contaminación:

Al comprender los riesgos y los efectos nocivos que la contaminación provoca, la población se ha preocupado por estudiar las causas y orígenes de la misma así como por implementar metodologías para medir la contaminación ambiental prevenirla y combatirla.

Es por ello que se han creado organismos que regulan y marcan normas, con el fin principal de establecer criterios que permitan garantizar la inocuidad de diversas sustancias así como establecer las dosis en las que no se produce ningún efecto adverso por lo que es necesario monitorear continuamente el aire, el agua, el suelo, los alimentos de consumo humano, así como para evaluar las concentraciones en que se encuentran y en base a la información recabada, tomar medidas preventivas de control o eliminación de la contaminación.

Para lo anterior es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios:

Principio de Precaución: Establece que cuando exista la amenaza de daño grave o irreversible, la falta de pruebas científicas definitivas no debe usarse como justificación para posponer las medidas encaminadas a evitar la degradación ambiental y a proteger los ecosistemas.

Criterios de peligrosidad: La peligrosidad es una característica intrínseca de una sustancia la cual puede dañar, contaminar o matar a los organismos, esto depende de su estructura química y de las propiedades fisicoquímicas. Entre estos criterios tenemos:

- ✦ *Persistencia:* Característica de las sustancias que permite resistir su degradación fotoquímica, biológica y química, por lo que su vida media en el ambiente es elevada.
- ✦ *Movilidad ambiental:* Cuando existe persistencia, una presión de vapor elevada y una sustancia muy soluble en agua, se da la movilidad ambiental, ya que la sustancia se incorpora fácilmente al ambiente y se integra a los ciclos biogeoquímicos.
- ✦ *Bioconcentración:* Algunas sustancias tienen más afinidad por los tejidos de los organismos que por el agua, por lo que tienden a acumularse en ellos, a esta capacidad se le conoce como bioconcentración.
- ✦ *Bioacumulación.* Se presenta cuando una sustancia aumenta su concentración en el organismo expuesto en función del tiempo y se acumula en él seguramente afectándolo en un momento dado.
- ✦ *Biomagnificación:* Algunas sustancias pueden ser concentradas sucesivamente en cada eslabón de la cadena alimenticia, como resultado, sus concentraciones en los organismos que se encuentran al final de dicha cadena, son mucho más elevadas que en los organismos que están en la base de ellas. Este proceso se conoce como biomagnificación y es de gran importancia para el comportamiento ambiental y los efectos indeseables de algunos contaminantes persistentes.
- ✦ *Transformaciones en el ambiente:* Muchas de las sustancias pueden transformarse en otras que pueden ser más tóxicas que las que le dieron origen, inclusive este tipo de transformaciones puede dar origen a los contaminantes xenobióticos.

- Efectos biológicos adversos: Efectos que provocan las sustancias en personas, organismos aislados o en ecosistemas.
- Efectos químicos y físicos en el ambiente: A diferencia del anterior, este criterio se refiere a sustancias o procesos que afectan algún parámetro abiótico, como la temperatura, precipitación pluvial, etc.

Criterios de riesgo: El riesgo es la probabilidad de que ocurra daño a causa de la exposición a un agente nocivo y sobre él influyen varios factores, tales como: los económicos, los sociales y ocasionalmente los culturales.

2.4 Organismos bioindicadores:

Actualmente, para monitorear contaminantes y tomando en cuenta los criterios de peligrosidad (bioconcentración, bioacumulación, biomagnificación, etc.) se utilizan organismos bioindicadores.

Las sustancias tóxicas de origen natural o antropogénico, como metales y radionúclidos que se depositan en la biosfera, dependiendo de su comportamiento físico, químico y biológico, pueden migrar e incorporarse a las diferentes especies vegetales y animales de los ecosistemas. Gracias a esta capacidad muchos organismos son utilizados como indicadores biológicos de la presencia de metales y radiactividad en el ambiente. Otra característica que deben presentar estos indicadores biológicos, es que pertenezcan a la zona de estudio, esto permite tener un mayor control de los resultados que se obtengan; principalmente si el estudio va dirigido a encontrar daños debidos a la contaminación proveniente de dietas que contienen las especies comestibles que puedan acumular contaminantes como

metales o radionúclidos del suelo, del agua, o aire. Las especies *Helix aspersa* y *Opuntia spp* tienen esas características por lo que son buenos bioindicadores.

3.- CONTAMINACIÓN EN ALIMENTOS:

La contaminación ambiental, tiene efectos sobre todo el ambiente en el que se desarrolla el hombre incluyendo a los alimentos. Ya sea porque los contaminantes se han estado bioacumulando, bioconcentrado y han pasado por el proceso de biomagnificación a lo largo de cadena alimenticia y llegan al hombre en concentraciones que pueden perjudicar la salud, o porque llegan a los alimentos por los procesos de elaboración, con control de calidad deficiente o por falta de higiene de los lugares de procesamiento e inclusive del personal encargado de elaborarlos.

3.1 Contaminación de alimentos por metales:

Uno de los factores que forman parte de la contaminación en alimentos es la presencia de minerales, micronutrientes, que a pesar de ser necesarios en pequeñas cantidades y su ausencia provocar enfermedades, su consumo en dosis elevadas puede ser perjudicial para el individuo que los ingiere. Estos minerales pueden ser absorbidos de la tierra, agua o aire, por los vegetales y animales, y por lo tanto encontrarse en los alimentos naturales y procesados. Por estas características su presencia puede ser detectada por medio de bioindicadores del mismo modo se hace para los radionúclidos. Algunos de estos elementos son el calcio, potasio, cobre, hierro, zinc, cromo, arsénico, cobalto, selenio, cloro, flúor, iodo, plomo, mercurio, cadmio, berilio, nitratos y nitritos, entre otros. (Berdanier, 1998).

Calcio: Es el componente principal de huesos y dientes, muchas de las rutas metabólicas necesitan del calcio como un catalizador que active estos mecanismos, y por lo tanto es un importante regulador del metabolismo celular, su presencia es importante en el músculo para su contracción y distensión. Sin embargo se pueden encontrar isótopos y radioisótopos de calcio, que al ser bioabsorbidos, de igual forma que el calcio no radiactivo, pueden ser monitoreados en el organismo para estudios biológicos y fisiológicos.

Hierro: Es el componente del grupo hemo de la hemoglobina, que tiene la función de circular el oxígeno y distribuirlo en todas las células, es esencial para la actividad del citocromo, el ciclo de la urea, lipogénesis y colesterogénesis, con la menstruación y hemorragias se pierde mucho de este elemento pudiendo causar anemias. Sin embargo el hierro en altas concentraciones puede ser tóxico y provocar hemocromatosis la que está relacionado con la carcinogénesis.

Cobre: Esencial cofactor para una gran variedad de enzimas, en la síntesis de colágeno, junto con el hierro y zinc interviene en la regulación y expresión de genes para las proteínas con enlaces metálicos, esta involucrado con la actividad de los antioxidantes. La acumulación del cobre por ingerirlo en exceso es raro en humanos ya que existen vías para eliminar los excesos, sin embargo se pueden presentar desordenes genéticos que impiden su eliminación y provoquen su acumulación como es el caso de la enfermedad de Wilson. (Berdanier, 1998).

Zinc: Es esencial para el buen funcionamiento de más de 70 enzimas, componente importante de los enlaces de ADN con proteínas, esto es a través de residuos de histidina y cisteína, gracias a estos enlaces se pueden sintetizar, expresar y desarrollar de un modo adecuado su función, tal es el caso de las vitaminas A y D, así como de hormonas tales como esteroides, etc. La contaminación por zinc puede provenir de alimentos que son procesados o almacenados en contenedores galvanizados por periodos largos. Algunos síntomas que se pueden presentar al ingerir estos alimentos son náusea, vómito, dolor epigástrico y diarrea, en casos severos puede existir sangrado. En ausencia de cobre además se pueden presentar anemias.

Arsénico: En concentración ultratraza es necesario para el crecimiento y un óptimo uso de hierro (Berdanier, 1998). El exceso de este elemento se convierte en un poderoso veneno metabólico. Además de que recientes investigaciones reportan que este metal influye en los mecanismos de reparación del ADN, representando un factor en el desarrollo del cáncer. (Nilsson, et al. 1999). El gas arsina es la forma más tóxica del arsénico ya que es un potente agente hemolítico, por exposición aguda provoca alteraciones gastrointestinales, cardiovasculares, nerviosas, renales y hepáticas, confusión, delirio, coma y muerte; por exposición crónica se presentan lesiones cutáneas como hiperqueratosis, carcinoma epidermoide, alteraciones en el metabolismo del grupo hemo, neuropatía central y periférica, degeneración y desmielinización axonal.

Cromo: Es necesario para el buen funcionamiento de la insulina. La deficiencia de cromo produce desnutrición y propensión a la diabetes, baja cuenta espermática, trastornos de peso, reducción del crecimiento y disfunción del sistema nervioso. Las formas químicas de importancia toxicológica son el cromo (VI) que provoca conjuntivitis, es corrosivo para piel y membranas provocando lesiones severas, rinitis, laringitis bronquitis, alteración del olfato, hemorragia nasal, perforación del tabique nasal, fibrosis pulmonar, cáncer de pulmón, trastornos gastrointestinales; y el cromo (III) que aunque es un nutriente esencial una exposición a cantidades excesivas puede desarrollar sensibilidad a este compuesto provocando alergias y lesiones en la piel.

Flúor: Aumenta la dureza de huesos y dientes, el exceso de este elemento se ve reflejado en el estado de los dientes provocando un moteado (manchado) característico.

Iodo: Es necesario para la síntesis de la hormona tiroidea (tiroxina y triyodotironina). Como la Tiroides es el principal reservorio de iodo el exceso repercute directamente en esta glándula. Los efectos tóxicos del iodo se deben a su acción en el tubo gastrointestinal. El yodo es muy corrosivo, pero al mismo tiempo se inactiva fácilmente combinándose con los alimentos que se encuentran en el tubo digestivo

Selenio: Es el principal componente de las llamadas selenoproteínas, de las cuales la más importante es la glutatión peroxidasa. El exceso de selenio interfiere

con la absorción y uso de zinc, aumenta los niveles de cobre en el corazón, hígado, y riñón.

Cobalto: Importante componente de la vitamina B₁₂. El exceso de cobalto interfiere con la absorción del hierro y provoca un inadecuado funcionamiento de proteínas y de la vitamina B.

Plomo: Es un elemento tóxico no esencial con capacidad de bioacumulación, todas las especies químicas de este elemento son biodisponibles, afecta prácticamente a todos los órganos y/o sistemas animales, los más sensibles son el nervioso donde causa encefalopatías que pueden ocasionar la muerte o la pérdida permanente del conocimiento, el hematopoyético ya que es tóxico para los eritrocitos y afecta la síntesis de hemoglobina causando anemias hipocrómicas; y el cardiovascular; también provoca efectos renales.

Mercurio: La intoxicación por mercurio puede ser provocada por el mercurio metálico, inorgánico y sus compuestos orgánicos causando: bronquitis, neumonitis intersticial, edema pulmonar, gingivitis, diarrea, vómito, hemorragia, depresión, pérdida de la memoria, reducción de reflejos, necrosis mandibular. El mercurio orgánico (metilmercurio) tiene efectos neurotóxicos y genotóxicos.

Cadmio: Debido a su similitud con el zinc, las plantas lo absorben del agua de riego. La concentración de cadmio biodisponible aumenta cuando disminuye el pH del suelo. Los humanos están protegidos contra una exposición crónica a bajos niveles

de cadmio, gracias a una proteína rica en azufre, la metalotioneína, cuya principal función es la regulación del metabolismo del zinc. Debido a que esta proteína tiene varios grupos sulfhidrilos, puede formar complejos con todo el cadmio ingerido, que es eliminado después en la orina. Si la cantidad de cadmio que ingresa excede la capacidad de la metalotioneína, se almacena en hígado y riñón provocando disneas, alteraciones renales y hepáticas, fatiga, debilidad; si es inhalado puede provocar irritación de las vías respiratorias, edema pulmonar, además de anorexia, náuseas.

Berilio: Los efectos que causa la intoxicación por berilio son: enfermedad aguda de berilio, los síntomas incluyen rinitis, faringitis, traqueobronquitis, tos, disnea al realizar esfuerzos, pérdida de apetito y peso, debilidad general y cansancio, caída rápida en la capacidad vital, normalmente los pacientes se recuperan al cesar la exposición aunque pueden desarrollar la enfermedad crónica de berilio, presentando los siguientes síntomas: tos, disnea al realizar esfuerzos, pérdida de apetito y peso, debilidad general y cansancio, hipertrofia del corazón, cianosis, alteración hepática, cálculos, esclerosis. También se considera como carcinógeno.

Nitratos y Nitritos: El agente tóxico es el nitrito, el cual se forma naturalmente en el cuerpo a partir de la reducción de los nitratos. Los efectos producidos por los nitritos son: hematológicos oxidando el ión ferroso en la desoxihemoglobina a ión férrico lo que produce la metahemoglobina, que no puede unirse de manera reversible al oxígeno ni transportarlo. También es un

vasodilatador, a causa de su acción relajante sobre el músculo liso vascular provocando hipotensión y shock.

Todos estos micronutrientes que son indispensables para que el organismo realice muchas de sus funciones, en exceso pueden causar riesgos en la salud a causa de la toxicidad asociada a su exceso, por lo que es muy importante monitorearlos en el ambiente donde se encuentran y son absorbidos por los vegetales y animales del lugar y consumidos por los habitantes de esas zonas representando un riesgo para su salud.

3.2 Contaminación de alimentos por radionúclidos:

Muchos de los compuestos naturales contienen radionúclidos en mayor o menor concentración. Esa radiactividad natural descubierta hace más de 100 años por Henri Becquerel (1896), se utiliza en la actualidad con fines prácticos en muchas ramas de la ciencia y la industria. El descubrimiento de las reacciones de fusión y fisión han permitido producir nuevos radionúclidos que se suman a los compuestos radiactivos naturales existentes en el ambiente, estos radionúclidos se han integrado al ecosistema terrestre, siendo la principal fuente de contaminación la precipitación radiactiva originada a partir de la fisión del uranio utilizado en ensayos nucleares y para generar energía (Aarkrog, 1990), por lo que la naturaleza de la contaminación ambiental está cambiando al igual que las concentraciones altas de los contaminantes localmente restringidas a concentraciones inferiores, muy dispersas así como sus efectos de agudos a crónicos. (Gasó,1998). Algunos de los isótopos o

radionúclidos que se encuentran en el suelo ya sean de origen natural y/o artificial y que se pueden acumular en los organismos son: U-235, Ra-226, Cs-137, Co-60, K-40.

Para la adopción de medidas de protección a alimentos contaminados, el Organismo Mundial de la Salud (WHO,1989; OMS, 1987) y el Organismo para la Agricultura y la Ganadería (FAO; CAC,1989) elaboraron y publicaron normas sobre los Niveles de Intervención Derivados (NID) para radionúclidos en alimentos (ver tabla I), con el fin de controlar el consumo de los mismos en caso de accidentes nucleares y establecer los niveles de concentración aplicables en el comercio internacional de alimentos. Los valores de NID deben establecerse de acuerdo a las características alimenticias concretas de cada país y la aplicación de éstos debe garantizar la no limitación de la distribución y el consumo de los alimentos cuyos niveles de radiactividad estén por debajo de los establecidos en las normas sanitarias correspondientes (IAEA, 1986).

Tabla I: VALORES DE REFERENCIA PARA LOS NIVELES DE INTERVENCIÓN DERIVADOS (NID) EN Bq/Kg.

Tipo de radionúclido	Cereales	Raíces y Tubérculos	Hortalizas	Fruta	Carne	Leche	Pescado	Agua Potable
Dosis alta por unidad ingerida (1E-08 Sv/Bq)	35	50	80	70	100	45	350	7
Dosis baja por unidad ingerida (1E-08 Sv/Bq)	3500	5000	8000	7000	10000	4500	35000	700

Algunos de los valores reportados para los radionúclidos como el Cs-137 indican que no debe haber una actividad mayor de 1000 Bq/Kg., mientras que para el Ra-226 se establece una actividad no mayor a los 120 Bq/Kg. (CAC, 1989). Para simplificar los cálculos de dosis por la incorporación de material radiactivo se utilizan factores dosimétricos que han sido calculados a partir de parámetros y modelos metabólicos. Generalmente están divididos según el isótopo, el órgano o tejido y la edad del grupo. Estos factores por lo general se calculan para un tiempo de integración de 50 años, por lo que tienen unidades de equivalente de dosis comprometida efectiva por unidad de actividad (Sv/Bq). Los factores dosimétricos que se reportan para el Cs-137, son:

Niños de 1 año	1.0E-08 Sv/Bq
Niños de 10 años	1.0E-08 Sv/Bq
Adultos	1.3E.08 Sv/Bq

Los efectos que sobre la salud humana pueden presentarse por la exposición a metales y radioisótopos afectan de manera aguda y severa entre otros a la producción de células sanguíneas, la resistencia a infecciones, la función intestinal y puede dar lugar a lesiones graves de la piel, disminución de la fertilidad en hombres y mujeres que puede ser permanente, así como otros efectos tardíos tal es el caso de problemas cardiovasculares, cataratas, alteraciones en la tiroides etc.. (IAEA, 1982b, 1991, 1996; Albert, 1997) Todos estos daños han sido encontrados en individuos expuestos a concentraciones elevadas de metales en diferentes regiones del mundo y a la radiación emitida debido al accidente de Chernobil.

Por ser México un país exportador e importador de alimentos, es necesario el establecimiento de la vigilancia ambiental de los alimentos organizada por la Secretaría de Salud (NOM-006-NUCL-1994, NOM-AA-21-1985, NOM-033-SSA1-1993, NOM-117-SSA1-1994, NOM-088-SSA1-1994, NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996, NOM-010-STPS-1998). Esta vigilancia tiene entre otros objetivos el de medir las concentraciones de compuestos contaminantes en los alimentos y el agua, estimar su contribución a la dosis de exposición por la ingestión de alimentos contaminados y en caso de accidentes, limitar la dosis por ingestión mediante la adopción de medidas apropiadas.

4.- ESPECIES QUE SE ESTUDIAN EN ESTE TRABAJO

En México diversas comunidades de escasos recursos, se alimentan de las especies comestibles que encuentran a su alrededor y que no generan gastos elevados a su economía. Entre estas especies se encuentran *Helix aspersa* (caracol terrestre comestible) y *Opuntia spp.* (nopal), las cuales por sus características físicas, biológicas y químicas, además de que son sedentarias en las zonas donde se consumen, son excelentes indicadores biológicos, tanto de contaminación radiactiva como por metales pesados provenientes del agua, suelo y aire (Fig.3). (Beeby y Richmond, 1988).

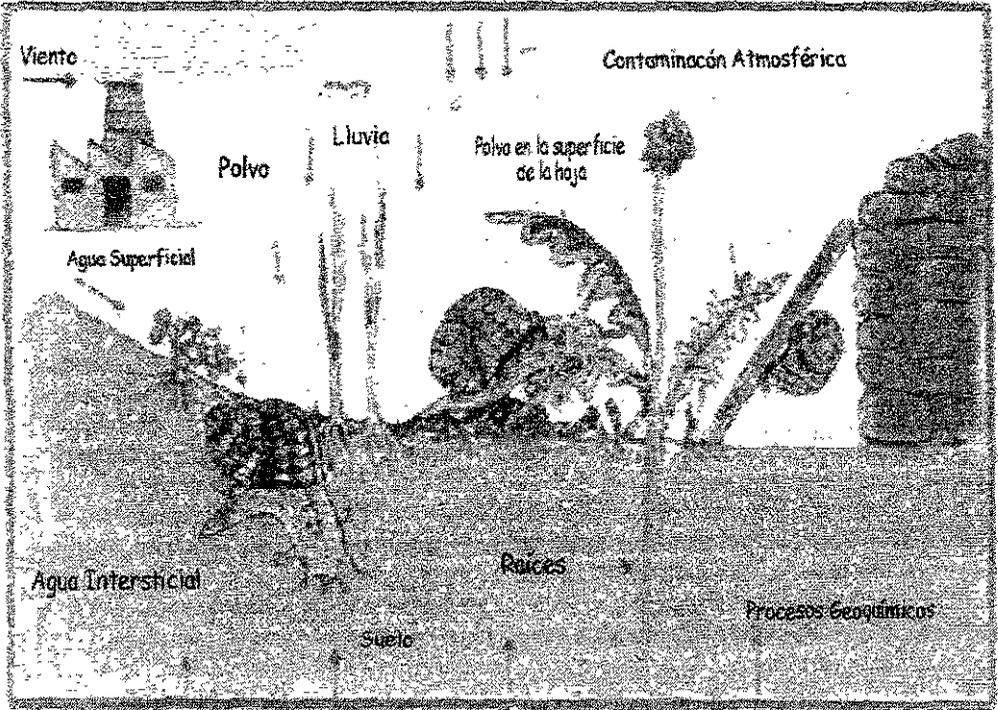


Figura 3: Posibles rutas de exposición a contaminantes

4.1 *Helix aspersa*

Helix aspersa (Fig. 4), tiene la capacidad de acumular radionúclidos como el Ra-226 y el Cs-137, (Jeffrey, 1990; Gaso, et al.) además ha mostrado la capacidad de desarrollar mecanismos bioquímicos de adaptación en casos de contaminación debida a metales pesados (Beeby y Richmond, 1988). *Helix aspersa* tiene una larga fibra de células de calcio en su glándula digestiva o hepatopáncreas, estas células contienen grandes cantidades de gránulos intercelulares que son sitios de acumulación de una gran variedad de cationes (Almedros y Porcel, 1992), Gracias a estas características fisiológicas y por los resultados obtenidos en el laboratorio relacionados con la bioacumulación de metales y de radionúclidos de larga vida media, los caracoles *Helix aspersa* son excelentes bioindicadores de contaminación radiactiva en áreas restringidas.

Además de las características antes descritas para *Helix aspersa*, este caracol se alimenta de otra especie capaz de acumular metales y radionúclidos, este es el caso de *Opuntia spp.*, que también es un bioindicador, a través del que tales compuestos se integran en la cadena alimenticia regional.

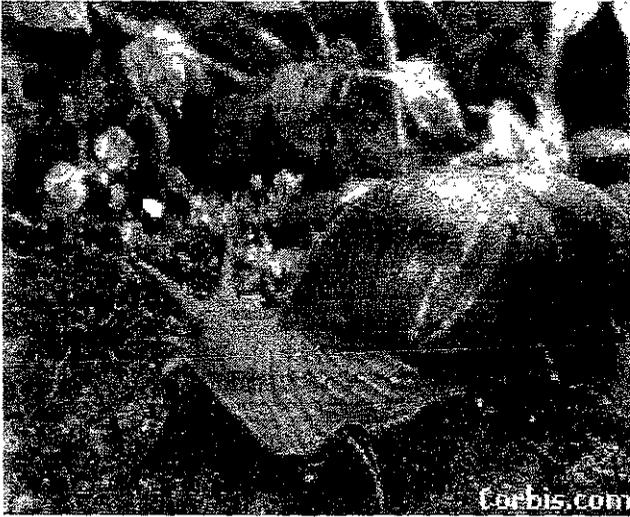


Figura 4: *Helix aspersa*

4.2 *Opuntia spp.*

El nopal pertenece al género *Opuntia*, miembro de la familia de las cactáceas (Fig.5). Es originario de América en donde adquirió una valiosa importancia en las culturas prehispánicas (Granados, et al, 1997), no solo como alimento sino también como elemento religioso, remedio de algunas enfermedades, como planta de ornato y hasta como talismán.

Por sus condiciones geográficas, México es el país donde crece un mayor número de especies de nopal, se conocen alrededor de 110 especies diferentes y sus formas de consumo son múltiples. El género *Opuntia* es una planta que ha desarrollado un mecanismo de resistencia a la sequía con base en el mantenimiento de un alto potencial hídrico (Walter y Stadelman, 1974), debido a su gran proporción de masa e sus raíces y la profundidad de las mismas (Fisher y Turner, 1978).

En la tabla II, se muestran los estados de la República con mayor superficie cultivada con nopal como verdura, siendo el primer lugar el D.F. en la delegación Milpa Alta, mientras que el Estado de México es el principal productor de tuna.

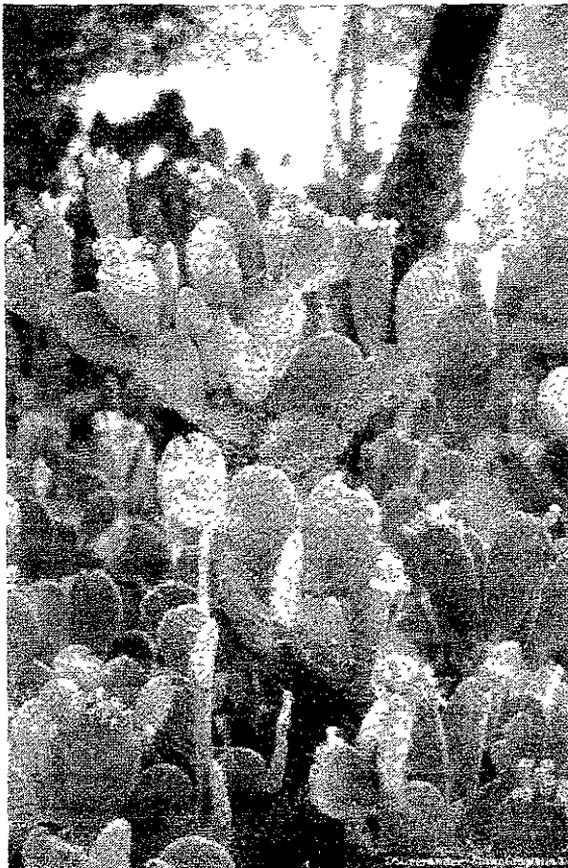


Figura 5: *Opuntia*

Tabla II: SUPERFICIE CULTIVADA CON NOPAL - VERDURA POR ENTIDAD FEDERATIVA

Entidad Federativa	Superficie en hectáreas (ton)
D.F.	7500
Morelos	450
Puebla	400
Michoacán	318
Guanajuato	280
Baja California	150
Jalisco	120
Oaxaca	100

SARH,1987

Sin embargo, el nopal verdura no ocupa los primeros lugares por superficie ya que es superado por otros cultivos. En cambio por producción total del cultivo se encuentra en el séptimo lugar con 311,694 toneladas por año, solo superado por cultivos como el melón, sandía, cebolla, chile verde, papa y tomate rojo.(SAGAR, 1998) Tiene un consumo aproximado de 3.03 Kg. /año /habitante. (SARH, 1987).

Los usos del nopal son muy diversos, se usa para fabricar cosméticos, medicinas, como cerco, forraje, y como alimento tanto como verdura como fruta.

Los beneficios que otorga el nopal a la salud han sido campo de investigación científica ya que es considerado un alimento altamente nutricional y preventivo de varias enfermedades crónicas.

La celulosa y la lignina que posee lo hacen portador de la fibra indispensable para el buen funcionamiento del tracto gastrointestinal, con lo cual previene la aparición de estreñimiento y la diverticulosis.

El nopal a nivel popular se utiliza como auxiliar en el tratamiento de la diabetes, por su gran contenido de fibra que impide o retrasa la absorción de glucosa, por lo que hay disminución de la glucemia, también se ha comprobado que disminuye el colesterol total y los ácidos grasos, y así mismo ayuda a la reducción de peso corporal. En la tabla III y IV se muestra el valor nutricional del nopal.

Existen numerosos reportes de plantas que pueden acumular radionúclidos, ya sea vía raíz o a través de la superficie foliar, siendo esta la ruta de entrada de estos contaminantes a la cadena alimenticia (Aberg & Hungate, 1967, Desment et al, 1990). Este es el caso de algunas especies del subgénero *Opuntia sp.* que tienen la capacidad de concentrar radionúclidos e incorporarlos a la cadena alimenticia (Gaso et al. 1999), ya que es utilizada abundantemente como forraje por parte de la fauna silvestre y aprovechamiento antropógeno como forraje, alimento y medicinal.

En estudios anteriores se ha demostrado que se acumulan radionúclidos en varias especies de *Opuntia* (Rojas, et al., 1995) coincidiendo todos en que la mayor actividad registrada está en los cladidos y frutos, y aún más en los frutos que en los cladidos ya que las partes reproductivas presentan una mayor actividad metabólica en relación a los cladidos y raíz.

Por otro lado la escasez de actividad metabólica presentada en la raíz puede explicarse por el fenómeno de resuspensión, ya que por acción del viento los radionúclidos son depositados en la superficie del suelo y de las hojas (Romney, et al, 1982; Romney, et al, 1983; Frissel, et al, 1990).

Tabla III: VALOR NUTRICIONAL DEL NOPAL EN 100 g. DE PESO NETO.

Concepto	Contenido
Porción Comestible	78%
Energía (Kcal.)	27
Proteínas (g)	1.70
Grasa (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg.)	93
Hierro (mg.)	1.60
Tiamina (mg.)	0.03
Riboflavina (mg.)	0.06
Niacina (mg.)	0.30
Ascórbico (mg.)	8
Retinol (mcg Eq.)	41

Fuente: SARH 1987.

Tabla IV: CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS EN EL NOPAL

Aminoácido	Contenido (mg.)
Lisina	4
Isoleucina	4
Treonina	4.8
Valina	3.8
Leucina	5.2
Triptofano	0.8
Metionina	0.7
Fenilalanina	5.4

Fuente: SARH 1987.

4.3 *Drosophila melanogaster* como modelo de estudio:

La mosca de la fruta *Drosophila melanogaster* es el eucarionte, mejor conocido genéticamente y que además presenta numerosas ventajas para realizar estudios genéticos, ya que son fáciles de cultivar, se reproducen rápidamente obteniéndose un gran número de generaciones en poco tiempo y siendo su descendencia abundante, se les puede mantener en espacios pequeños y los costos de manutención son bajos.

El desarrollo embrionario que sigue de la fertilización y formación del cigoto (Fig. 6), tiene lugar dentro de las membranas del huevo. El huevecillo produce una larva que pasa por tres estadios y dos mudas larvales la primera las 25h. y la segunda a las 48h. que al alimentarse y crecer se transforma en pupa aproximadamente a las

96h. La pupa a su vez se transforma en "imago" o adulto. La duración de estos estados varia con la temperatura completándose el ciclo de vida de *Drosophila melanogaster* en aproximadamente 10 días a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y 60% de humedad (Demerec, 1975), y además tiene un proceso de activación metabólica similar al de los mamíferos. (Vogel, 1975). Presenta un número cromosómico bajo ($2n=8$) y las larvas presentan cromosomas gigantes en las glándulas salivales, los cuales se ha utilizado en estudios citogenéticos para mutagénesis y evolución. (Ramos et al, 1993).

Se cuenta con varios ensayos que permiten detectar un amplio espectro de daños genéticos, como mutaciones genéticas, lesiones, duplicaciones, translocaciones, recombinación y efectos de elementos transportables (Würgler, 1986), pudiéndose realizar esto tanto en células germinales como somáticas.

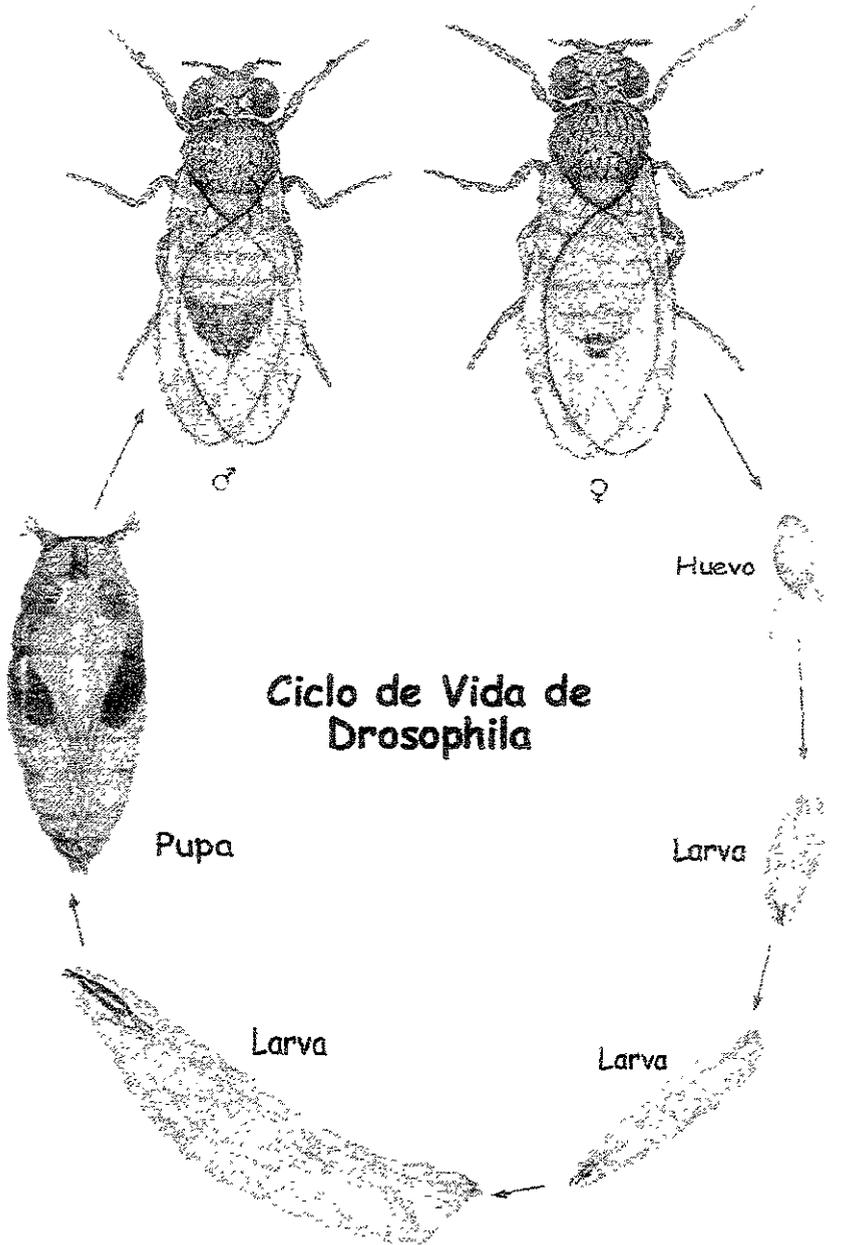


Figura 6: Desarrollo Embrionario de *Drosophila melanogaster*

" EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LAS ESPECIES ACUMULADORAS DE METALES: *Helix aspersa* y *Opuntia spp.* EN *Drosophila melanogaster*."

II. OBJETIVOS:

- ▶ Identificar los metales y radionúclidos que son acumulados por las especies comestibles *Helix aspersa* y *Opuntia spp.*
- ▶ Evaluar el potencial tóxico de las especies comestibles *Helix aspersa* y *Opuntia spp.* que tienen la capacidad de acumular metales y radionúclidos, utilizando como modelo de estudio a *Drosophila melanogaster*.
- ▶ Determinar el (los) nivel (es) de la cadena alimenticia del hombre en que los metales y radionúclidos se pueden incorporar.

Objetivos específicos:

- * Determinar el contenido de metales y radionúclidos en las especies comestibles *Helix aspersa* y *Opuntia spp.*
- * Comparar el efecto tóxico de las especies comestibles *Helix aspersa* y *Opuntia spp.* del interior y del exterior del CADER, Edo. de México, México.
- * Evaluar la dosis que recibiría el hombre por consumir las especies acumuladoras de metales *Helix aspersa* y *Opuntia spp.*

III. HIPÓTESIS

Los nopales y los caracoles contienen los metales y radionúclidos que están en el medio donde se desarrollan, por lo que el hombre puede incrementar la ingesta de estos compuestos que en concentraciones elevadas llegan a representar un riesgo de salud.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS:

Fase I:

Colecta de caracoles y nopales en las cercanías del CADER, entre éste y Maquixco el Alto, Edo. de México, México (19°47'39" N;98°50'04" O) localizado en la parte central del eje Neovolcánico Transmexicano, con una altitud de 2475 m. En el sitio de estudio, no existen ríos cercanos y la porosidad en las rocas es muy baja, por lo que no hay infiltraciones de agua, excepto en las zonas fracturadas. El clima es templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 14.4° pudiendo subir en el verano a 32°C. De octubre a marzo es más frío y seco presentándose masas de aire polar, mientras que en la época de lluvias la humedad es alta, con una precipitación media anual de 638.5 mm (Gaso, 1995). Según la recomendación de la gente que vive en esta región, los caracoles fueron recolectados durante la mañana. Los caracoles se encuentran entre las pencas de los nopales, ya que de ellos se alimentan, por lo que para retirarlos es necesario utilizar guantes para evitar las espinas. Se debe obtener una muestra de materia viva entre 4 y 5 Kg. para garantizar con esto, que se tenga suficiente materia seca para hacer las determinaciones posteriores. La manera de conservar la muestra hasta el momento de su análisis es mantenerlas a 4°C, lo que provoca un aletargamiento en los caracoles.

En cuanto a los nopales, se corta la penca lo más pegado al tronco posible, con la ayuda de los guantes y un cuchillo de carnicero para lograr desprender la penca de un solo tajo y evitar lastimar el arbusto. Se debe coleccionar entre 4 y 5 Kg. de muestra fresca conservándose a temperatura ambiente hasta su análisis.

Fase II:

Determinación de la actividad específica de los radionúclidos contenidos en las muestras en el laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

La preparación de las muestras de nopal y de caracol para su análisis es la siguiente: una vez recolectadas estas especies, se registra el peso total muestreado para cada especie, obteniéndose así el peso húmedo. Es necesario, que a los caracoles se les someta a un proceso de separación entre el tejido blando y la concha, lo cual se hace por medio de calor (150°C) y por un periodo de 24 horas. Posteriormente las muestras se secan a 125°C durante 48 horas o hasta peso constante tomando la precaución de no exceder temperaturas de 350°C ya que correríamos el riesgo de que se volatilice el Cs-137 y haya variaciones en los resultados.

Una vez seca la muestra se pesa para obtener el peso seco y calcular la pérdida de humedad en el proceso de secado o factor de humedad (Fh). El análisis por espectrometría gamma se lleva a cabo colocando la muestra seca y molida en un Marinelli de 500 cm^3 con una capacidad de 450 g de muestra o en una caja circular de 5.5 cm de diámetro con capacidad de 40 g de muestra, según la cantidad de muestra seca que se haya podido obtener.

Una vez puestas las muestras en el contenedor adecuado (geometría Marinelli o cartucho), se efectúa la medición utilizando un equipo de espectrometría gamma con un detector de germanio hiperpuro (Fig.7). Se utilizó la técnica señalada ya que

está basada en la medición de la energía discreta que emiten los radionúclidos después de la emisión de partículas alfa o beta. además de que no se necesitan separaciones químicas ni una preparación previa de la muestra.

Los espectrómetros gamma están constituidos por un detector de radiación gamma de alta resolución rodeado de un blindaje de plomo (10 cm) cobre (0.25 cm), aluminio (0.5 cm) y plástico (1 cm), que permite tener un bajo fondo de radiación y de una electrónica de bajo ruido y alta estabilidad para realizar conteos de larga duración para muestras de baja actividad.

El espectrómetro se calibra en energía y eficiencia. Los picos de radiación gamma utilizados son: 663 keV para Cs-137; 1461 keV para K-40 y 186.2 keV para el Ra-226. Debido a la interferencia del pico de 185.7 keV del U-235, se deben hacer medidas indirectas de Bi-214 y Pb-214 para la determinación de Ra-226 (Canet y Jacquemin, 1990; Gaso et al, 1995). El tiempo de medida variará entre 1000 y 60000 segundos dependiendo de la concentración del radionúclido en la muestra. Las calibraciones de eficiencia del detector para las diferentes geometrías utilizadas en la medida (Marinelli o cartucho), se llevan a cabo con patrones certificados, usando fuentes de Am-241 (59.5 keV), Co-57 (122.06 y 136.5 keV), Cs-137 (661.66 keV), Na-22 (511 y 1274.5 keV) y Co-60 (1176.24 y 1332.5 keV).

Fase III:

Identificación de metales en las muestras de caracol y nopal la cual se realizó mediante la técnica analítica de fluorescencia de rayos X y espectroscopia de absorción atómica para la cuantificación de plomo. La figura 8 muestra un espectrofotómetro de rayos X.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de 0.1 a 100 amstrongs de longitud de onda. Estas radiaciones pueden tener un comportamiento ondular o corpuscular y dichos corpúsculos son partículas llamadas fotones.

Los rayos X se producen cuando los electrones de la capa interna son excitados normalmente por un electrón incidente. Los fotones de mayor utilidad de los rayos X son los que sean más energéticos, con menor longitud de onda, producidos por el llenado de los niveles K y L. Estos rayos X pueden utilizarse para determinar la composición de un material desconocido, dicho material producirá espectros de emisión llamados "continuos" debido a excitaciones de baja energía, mientras que los espectros de emisión "característicos" se producen cuando la excitación es más potente.

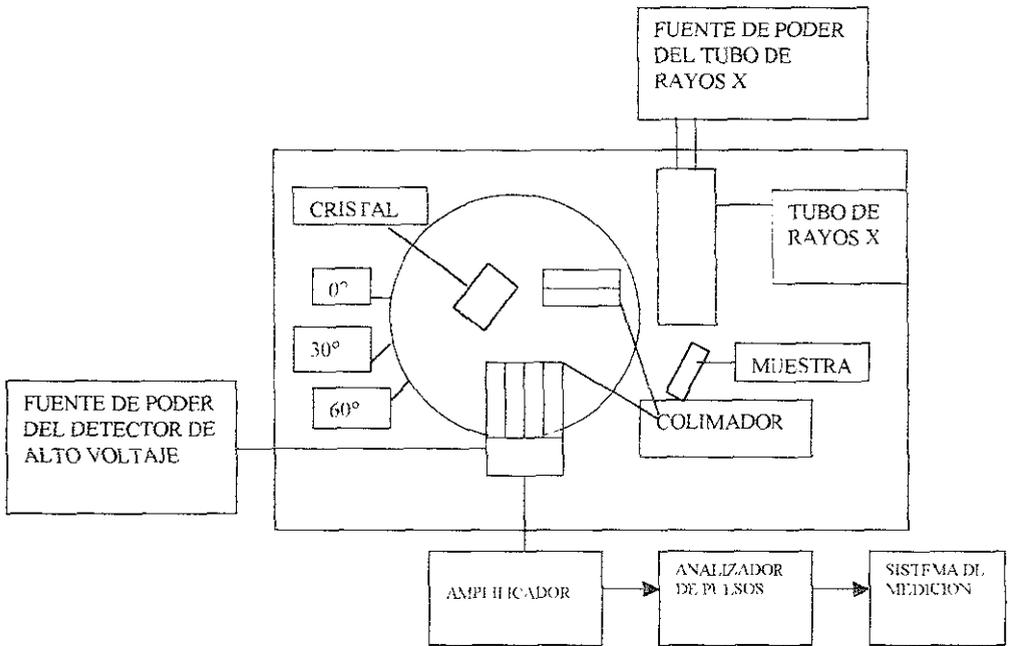


Figura 8: Espectrofotómetro de Rayos X

Algunas ventajas de este método son:

- La emisión de rayos X es simple y ordenada.
- El espectro de rayos X es relativamente independiente del estado químico
- La excitación y absorción de los rayos X varía uniformemente con el número atómico
- La preparación de la muestra puede ser no destructiva.
- Las interferencias en las líneas espectrales es poco frecuente.
- La muestra puede estar sólida, en pasta, líquida o gaseosa.
- La preparación de la muestra, así como el análisis es relativamente rápido y no requiere de una labor intensa.

Algunas desventajas de este método.

- Hay poca sensibilidad para elementos de bajos números atómicos
- En donde la concentración es baja (por abajo de partes por millón) es necesario concentrar la muestra para tener mejor sensibilidad.
- Es necesario el uso de estándares
- Los efectos entre elementos deben ser reconocidos y corregidos previamente.
- Los costos iniciales del equipo son relativamente altos.

La absorción atómica (Fig.9) es un método muy utilizado para la determinación de metales por ser un método muy sensible, específico y rápido. El gran avance en la tecnología ha logrado que mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica se pueda conocer la cantidad de metales pesados, como el plomo, de muestras de alimentos, fluidos, tejidos, etc.

La espectroscopía de absorción atómica utiliza la luz absorbida por los átomos en fase gaseosa para cuantificar su concentración. Las muestras que se analizan pueden ser sólidas o líquidas sin importar la especie química que se trate. Sin embargo es necesario para el análisis vaporizar la muestras mediante una flama o un horno de grafito.

Para determinar la concentración de metales presentes en la muestra se utiliza la Ley de Lambert- Beer como en cualquier otra técnica espectroscópica; el uso de curvas de calibración en esta metodología también es necesaria.

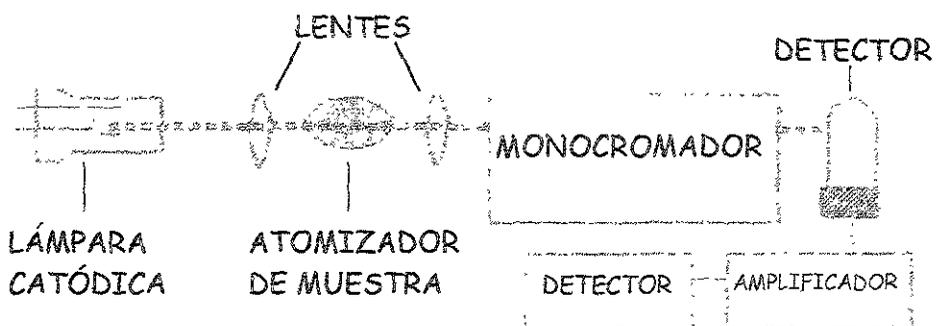


Figura 9: Esquema de un espectrofotómetro de Absorción Atómica

Fase IV:

Determinación de la toxicidad de los concentrados de las muestras de los caracoles y nopales en *Drosophila melanogaster*, midiendo la viabilidad de larva adulto, utilizando las larvas de 48 h. de edad de la cepa silvestre Oregón-R (OR-R).

Se colocan 100 larvas por cada vial con medio sintético "Carolina Supply", al que se adiciona el concentrado de la muestra a probar de caracol o nopal de acuerdo a las concentraciones establecidas mostradas en la Tabla X, dando tratamiento crónico. Una vez que se obtienen los adultos se cuenta el número de individuos sobrevivientes al tratamiento.

Fase V:

Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos utilizando el método de X^2 un nivel de significancia de $p > 0.05$ (3.841).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Fase I:

Las muestras de 1986 hasta 1997, fueron proporcionadas por la Dra. Isabel Gaso del grupo de Vigilancia Radiológica Ambiental del ININ. Se realizó un muestreo los días 18 y 19 de septiembre de 1998 en Maquixco el Alto, Edo. de México (Ref.1998, fig. 11), siendo la muestra obtenida de 4.5 Kg. de caracol. Los ejemplares de *H. aspersa* que se obtuvieron se mantuvieron a 4°C hasta que se inició su procesamiento en el laboratorio de Vigilancia Radiológica de ININ. Los ejemplares de *Opuntia sp.*, cuya muestra fue de 5 Kg., se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que se inició su procesamiento en el laboratorio de Vigilancia Radiológica de ININ.

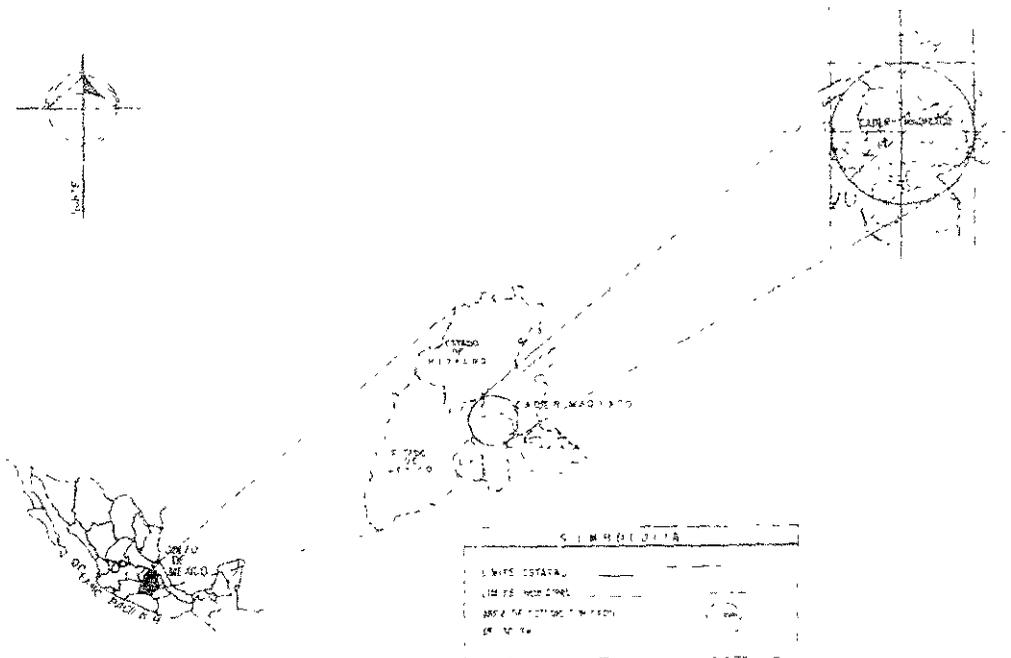


Figura 10: Localización regional del CADER

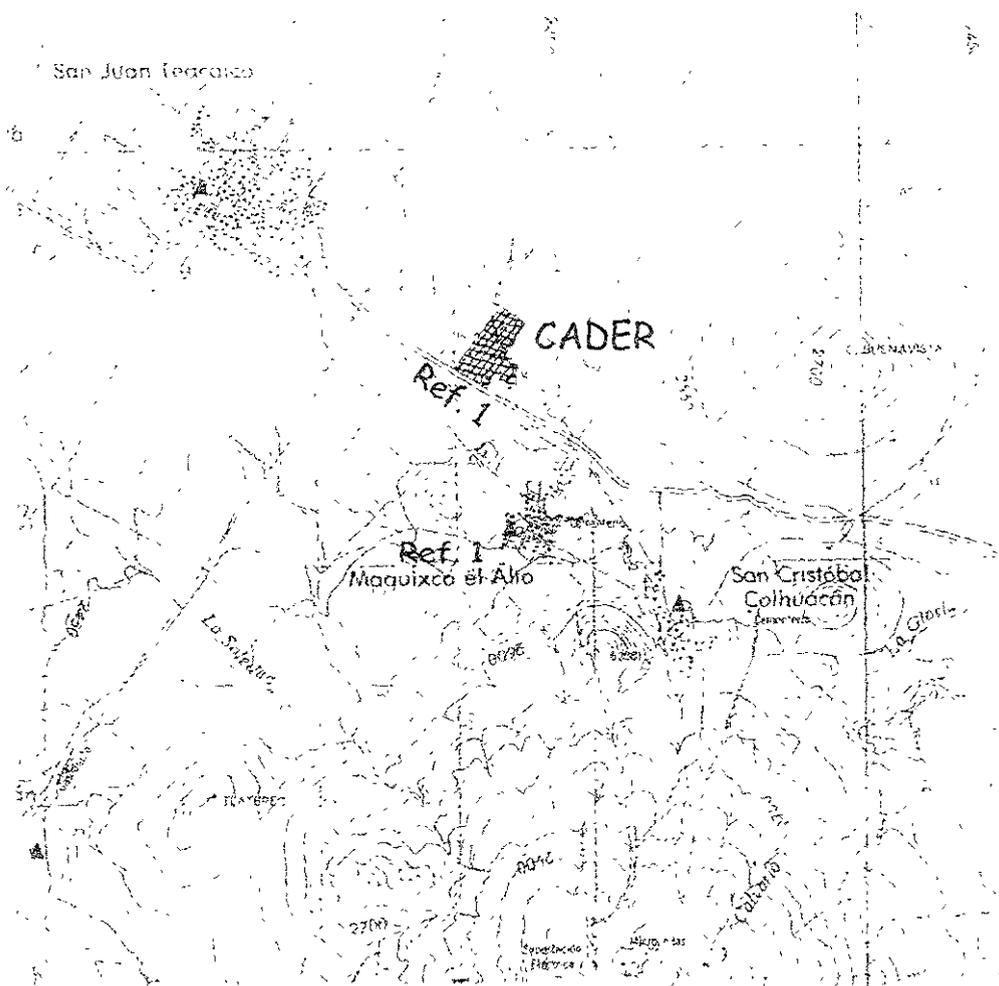


Figura 11: Ubicación geográfica del CADER

Fase II:

Los tejidos blandos de los caracoles se desprendieron de las conchas secándolos a 150°C durante 24h., para secarlos por completo se mantuvieron 24h. más a la misma temperatura, obteniendo un total de muestra seca de tejido blando de 350.9 g y un total de concha de 782.8 g.

Las muestras de los caracoles se analizaron para determinar la presencia de U-235, Ra-226, Cs-137, Co-60 y K-40 en un equipo de espectrometría gamma con un detector de germanio hiperpuro Pinceton Gamma Tech. Duselford, modelo N-IGC 29, con una eficiencia relativa de 27.4%, el tiempo de conteo fue de 60000 seg. por muestra . Se obtuvo además una muestra de referencia de los poblados: Maquixco, Nopaltepec, Tepeyahualco y Sta. María Tecajete (Ref. 1,2,3,4 respectivamente) situados entre 10 y 15 Km. del CADER.

Ya se habían reportado algunos datos de actividad específica (Bq/Kg) de muestras de suelo de 1991 a 1999 del interior del CADER (Gaso. et al, 1999),(Fig. 12), los cuales se indican en la tabla VI, así como las correspondientes actividades superficiales (Bq/m²), considerando que 2.5 Kg. de suelo corresponden a una superficie de muestreo de 279 cm². Estos datos son útiles para la discusión de los resultados obtenidos en nuestro trabajo. Podemos encontrar también los datos de muestras de caracol (concha y gusano) colectados de 1994 a 1999 en el interior del CADER los cuales se indican en la tabla V.

A partir de 1994 se empiezan a muestrear caracoles comestibles comunicadores biológicos, debido a que se iban a iniciar las labores de movimiento de suelo para descontaminar las zonas con mayor concentración de Ra-226 y Cs-137. Los muestreos se llevaron a cabo cada año, hasta que en 1998, ya no pudo obtenerse la muestra en el interior del CADER, debido a que se altero el hábitat (suelo, nopaleras, etc.) en las que se desarrollaban las poblaciones de caracoles y hasta la fecha no se han podido recuperar, por lo que no se cuenta con datos de actividad específica de radionúclidos en dicho tipo de muestras del interior del CADER. Debido a ello se tomaron para este trabajo unas muestras de nopal y caracol en el exterior del CADER frente al mismo (separado por una carretera, Ref. 1, fig. 11), cerca del poblado mas cercano (Sta. María Maquixco, Ref.1, fig. 11)

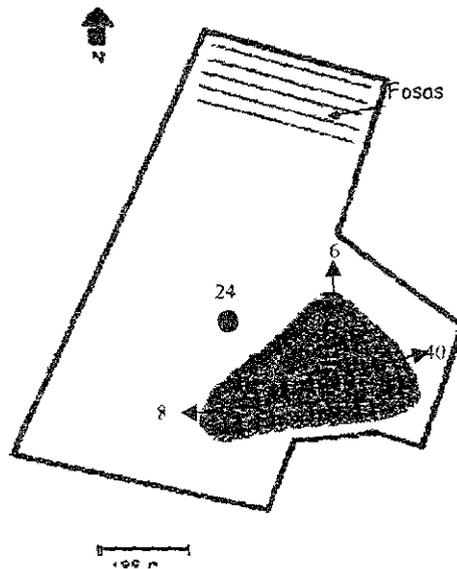


Figura 12: Esquema del interior del CADER

Los datos de actividad de las muestras de nopal recolectados durante 1994 y 1998 se muestran en la tabla VIII.

Tabla V: ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE Ra-226, Cs-137 Y K-40 (Bq/Kg), EN CARACOLES TERRESTRES COMESTIBLES, RECOLECTADOS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER DE 1994 A 1999.

AÑO	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE MUESTRA	Fh	Ra-226		Cs-137		K-40	
				(p.s.)	(p.h.)	(p.s.)	(p.h.)	(ps)	(ph)
1994 ^{cs}	8 y 6	gusano	0.20	723	145	51	10	107	21
1994	40	gusano	0.20	306	61	< 2	< 0.4	551	110
1995	8 y 6	gusano	0.20	466	93	< 1	< 0.2	156	31
1996	8 y 6	gusano	0.11	238	26	24	2.6	102	11
1996	40	gusano	0.19	134	26	1	0.2	187	36
1997	40	gusano	0.14	192	27	2	0.2	216	30
1997 ^{cs}	8 y 6	gusano	0.15	714	107	29	4	180	27
1997	40	gusano	0.14	46	6	1	0.1	84	12
94-97	CADER	gusano	0.17	352	61	14	2	198	35
1994 ^{cs}	8 y 6	concha	0.77	426	328	43	33	281	216
1994	40	concha	0.77	263	202	8	6	84	65
1995	8 y 6	concha	0.62	34	21	< 1	< 0.6	27	17
1996	8 y 6	concha	0.70	46	32	4	2.8	36	25
1996	40	concha	0.79	19	15	1	0.8	45	32
1997	40	concha	0.70	23	16	< 0.1	< 0.1	34	24
1997 ^{cs}	8 y 6	concha	0.69	95	66	11	8	28	19
1997	39	concha	0.66	15	10	< 0.5	< 0.3	27	18
94-97	CADER	concha	0.71	115	86	9	6	70	52
1994	Ref. 2	gusano	0.20	< 10	< 2	< 2	< 0.4	226	45
1996 ^{cs}	Ref. 2	gusano	0.17	23	4	< 1	< 0.2	136	26
1997	Ref. 3	gusano	0.25	23	6	< 0.4	< 0.1	233	58
1998 ^{cs}	Ref. 1	gusano	0.19	38	7	< 0.4	< 0.1	235	45
1999	Ref. 4	gusano	0.20	32	6	0.3	0.1	216	43
94-99	Ref. *	gusano	0.20	25.20	5.00	0.82	0.18	209	43
1994	Ref. 2	concha	0.77	44	34	< 2	< 15	105	81
1996 ^{cs}	Ref. 2	concha	0.65	< 5	< 3	< 0.3	< 0.2	37	24
1997	Ref. 3	concha	0.77	< 3	< 2	< 0.2	< 0.2	62	48
1998	Ref. 1	concha	0.73	< 4	< 3	< 0.2	< 0.1	47	34
1999	Ref. 4	concha	0.72	< 3	< 2	0.2	0.1	32	23
94-99	Ref. *	concha	0.73	11.80	8.80	0.58	0.42	56.60	42.00

*Referencia (Maquixco, Nopaltepec, Tepayahualco, Sta Ma. Tecajete)

^{cs}Muestras a las que se les evaluó la toxicidad

En la tabla V, vemos que las muestras colectadas el 1998 marcadas como Ref. 1, presentan valores similares a los encontrados en los demás puntos de referencia esto indica que no existe un flujo de contaminación del CADER hacia el exterior, hay que recordar que estas muestras fueron tomadas en los límites del CADER y no en el interior debido a que las condiciones naturales del suelo, vegetación y fauna se afectaron por las labores de la descontaminación por lo que la población de caracoles que había logrado adaptarse durante 20 años a ese hábitat, incluso contaminado, debido a su características de crecimiento y reproducción soportando dosis muy altas de agentes tóxicos (Gomot, 2000; Gomot y Pihan, 2000), empezó a descender en el número de individuos desde 1994.

Tabla VI: ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/Kg) Y SUPERFICIAL (Bq/m²) DE Ra-226, Cs-137 Y K-40 EN MUESTRAS DE SUELO DEL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER TOMADAS DE 1991 A 1999

AÑO	PUNTO DE MUESTREO	Ra-226		Cs-137		K-40	
		(Bq/Kg)	(Bq/m ²)	(Bq/Kg)	(Bq/m ²)	(Bq/Kg)	(Bq/m ²)
1991	6	2671	210315	5397	424960	263	20709
	8	7950	625983	13467	1060392	232	18268
1991	promedio	5310.5	418149	9432	742676	247.5	19488
1991	Ref.*	33	2598	8	630	247	19449
1992	6	1234	97165	3648	287244	266	20945
	8	2904	228661	4961	390629	254	20000
	40	2988	235275	168	13228	268	21102
1992	promedio	2375	187034	2926	230367	263	20682
1992	Ref.*	32	2520	7	551	321	25276
1993	6	562	44252	42	3307	228	17953
	8	1400	110236	694	54646	364	28661
	40	17010	1339367	169	13307	271	21339
1993	promedio	6324	497952	302	23753	288	22651
1993	Ref.*	84	6614	7	551	416	32756
1994	6	770	60630	125	9843	262	20630
	8	889	70000	756	59527	291	22913
	40	7936	624881	162	12756	414	32598

1994	promedio	3198	251837	348	27375	322	25381
1994	Ref. 2	55	4331	6	472	555	43701
1995	6	2147	169055	73	5748	229	18031
	8	1160	91338	1009	79449	274	21575
	40	10101	795353	163	12835	324	25512
1995	promedio	4469	351915	415	32677	276	21706
1995	Ref.*	34	2677	4	315	283	22283
1996	6	729	57401	26	2047	242	19055
	8	2486	195748	358	28189	256	20157
	40	7871	619763	214	16850	309	24331
1996	promedio	3695	290971	199	15696	269	21181
1996	Ref. 2	32	2520	5	394	352	27716
1997	6	745	58661	31	2441	286	22520
	8	228	17953	652	51338	289	22756
	39	228	17953	39	3071	289	22756
	40	7362	579684	158	12441	302	23779
1997	promedio	2606	205196	283	22283	293	23097
1997	Ref. 3	38	2992	3	236	291	22913
1998	6	1318	103779	66	5197	278	21890
	8	3370	265354	1035	81496	263	20709
	40	2721	214252	64	5039	284	22362
1998	promedio	2470	194462	388	30577	275	21654
1998	Ref. 1	29	2283	3	236	314	24724
1999	6	344	27087	35	2756	263	20709
	8	1182	93071	1227	96614	280	22047
	40	2087	164330	51	4016	302	23779
1999	promedio	1204	94829	438	34462	282	22178
1999	Ref. 4	28	2205	2	157	335	26378
94-97	CADER	3281	258340	290	22810	290	22816
94-99	Ref. *	36	2866	4	299	369	29087

*Referencia (Maquixco, Nopaltepec, Tepeyahualco, Sta. Ma. Tecajete)

Observamos en la tabla VI que los valores van disminuyendo en cada uno de los puntos muestreados a lo largo del tiempo (de 5310.5 Bq/Kg en 1991 a 1204 Bq/Kg en 1999) esto se debe a la labores de ingeniería y operativas llevadas a cabo por los encargados de Protección Radiológica del CADER.

La dieta de la mayoría de los humanos, está compuesta de alimentos que provienen de diferentes partes del mundo, por lo que es difícil correlacionar la concentración de radionúclidos de los alimentos con la contaminación de las áreas donde viven las personas; por ello debe calcularse la contaminación de cada producto alimenticio y sus parámetros de transferencia, que son parámetros que sirven para evaluar el movimiento de material radiactivo a través de dos medios diferentes, de una forma individual y local (Molina et al., 1996).

Tabla VII: VALORES PROMEDIO DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN (FC) Y FACTOR DE TRANSFERENCIA AGREGADO (FTA (m²/Kg.)) SUELO-GUSANO DE CARACOL.

AÑO	LUGAR DE MUESTREO	Ra-226			Cs-137		
		FC (p.s.)	(p.h)	FTA (p.h.)	FC (p.s.)	(p.h)	FTA (p.h)
1994	CADER	0.161	0.032	0.0004	0.078	0.014	0.00018
1995	CADER	0.104	0.021	0.0003	0.002	0.0005	0.00001
1996	CADER	0.101	0.007	0.0001	0.063	0.007	0.0001
1997	CADER	0.122	0.018	0.0002	0.039	0.005	0.0001
*Promedio (94-97)	CADER	0.122	0.019	0.0003	0.0456	0.007	0.0001
**Promedio (94-97)	CADER	0.107	0.019	0.0002	0.048	0.007	0.0001
1994	Ref. 2	0.182	0.036	0.0005	0.333	0.067	0.0008
1996	Ref. 2	0.718	0.125	0.0016	0.200	0.040	0.0005
1997	Ref. 3	0.605	0.158	0.0020	0.133	0.033	0.0004
1998	Ref. 1	1.31	0.241	0.0031	0.133	0.033	0.0004
1999	Ref. 4	1.143	0.214	0.0027	0.150	0.050	0.0006
*Promedio (94-99)	Ref. 1,2,3,4	0.792	0.155	0.0019	0.189	0.045	0.0005
**Promedio (94-99)	Ref. 1,2,3,4	0.700	0.139	0.0017	0.205	0.045	0.0006

* Obtenido con los valores de esta Tabla

** Obtenidos con los valores promedio de las Tablas V y VI.

Tabla VIII: ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE Ra-226, Cs-137 y K-40 (Bq/Kg), EN NOPALES RECOLECTADOS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL CADER DE 1994 A 1998

AÑO	PUNTO DE MUESTREO	Fh	Ra-226		Cs-137		K-40	
			(p.s)	(p.h)	(p.s)	(p.h)	(p.s)	(p.h)
1994	6,8,40	0.12	<15	<4.8	<2	<0.24	817	98
1995	6,8,40	0.11	109	12	<2	<0.22	1528	168
1996*	6,8,40	0.11	129	14.33	1.46	0.16	949.3	104.6
1997	6,8,40	0.15	26	4	<0.8	<0.12	769	115
1998**	24	0.11	89.5	10	14.5	1.8	738.5	81.5
94-98	1,2,3,6,7	0.12	73.7	9.026	4.152	0.508	960.36	113.42
1996	Ref. 1	0.10	<4	<0.4	<0.2	<0.02	853	85
1997	Ref. 1	0.10	<17	<1.7	<1	<0.1	1456	146
1998*	Ref. 1	0.10	<13	<1.3	<0.8	<0.08	1286	129
96-98	Ref. 1	0.10	11.33	113	0.66	0.066	1198.3	120

*Muestras a las que se les evaluó la toxicidad

Tabla IX: VALORES PROMEDIO DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN (FC) Y FACTOR DE TRANSFERENCIA AGREGADO (FTA (m²/Kg.)) SUELO-NOPAL

AÑO	LUGAR DE MUESTREO	Ra-226			Cs-137		
		FC (p.s.)	FC (p.h.)	FTA (p.h.)	FC (p.s.)	FC (p.h.)	FTA (p.h.)
1994	CADER	0.0046	0.0015	0.00002	0.006	0.0007	0.000009
1995	CADER	0.024	0.0026	0.000034	0.005	0.00053	0.0000067
1996	CADER	0.035	0.0039	0.00005	0.007	0.0008	0.00001
1997	CADER	0.01	0.0015	0.00002	0.003	0.00042	0.000005
1998	CADER	0.036	0.0040	0.000051	0.037	0.0046	0.00006
*Promedio (94-98)	CADER	0.022	0.0027	0.000035	0.0116	0.00141	0.000018
**Promedio (94-98)	CADER	0.0224	0.0027	0.000035	0.014	0.0017	0.000022
1996	Ref. 1	0.125	0.0125	0.00016	0.04	0.0040	0.00005
1997	Ref. 1	0.447	0.0447	0.0057	0.333	0.033	0.00042
1998	Ref. 1	0.448	0.0448	0.000057	0.266	0.0266	0.00034
* Promedio (96-98)	Ref. 1,2,3,4	0.34	0.034	0.0019	0.212	0.0212	0.00027
**Promedio (96-98)	Ref. 1,2,3,4	0.31	0.031	0.0004	0.165	0.0165	0.0002

* Obtenido con los valores de esta Tabla

** Obtenidos con los valores promedio de las Tablas VI y VIII.

El impacto potencial del aumento en la concentración de cualquier radionúclido en el ambiente, se estima a partir de la dosis que reciben los organismos y el público. Para calcular la dosis equivalente efectiva anual (E), debida a la incorporación interna por la ingestión de Cs-137 y Ra-226, proveniente de la parte comestible de los caracoles y de los nopales, se utilizó la ecuación propuesta por Shutov *et al.* (1996) y modificada por Gaso *et al.* (2000) (ver anexo 1):

Se escogieron algunos puntos de muestreo del interior del CADER, en los que se desarrollaron los caracoles comestibles muestreados de 1994 a 1997. Los valores correspondientes a este último periodo, se utilizaron para el cálculo de los coeficientes de transferencia agregados suelo-caracol, con el fin de hacer la evaluación de dosis por ingestión que recibiría la población debido a la incorporación de Ra-226 y Cs-137. El factor de transferencia (FT) suelo-caracol y suelo-nopal se expresa, en general, como el cociente entre la actividad específica de la parte comestible (Bq/Kg (p.s.)) y la del mismo radionúclido en los primeros centímetros del suelo.

Según las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1994) y con el fin de calcular el Factor de Transferencia Agregado (FTA), el cual se expresa en ($m^2/Kg.$), se relaciona la concentración de actividad del radionúclido en el producto alimenticio (Bq/Kg) (p.h.), con la actividad superficial de dicho radionúclido en el suelo (Bq/m^2) (p.h.). De esta manera el FTA caracteriza la migración de cada radionúclido desde el suelo, hasta los productos comestibles silvestres, en los ecosistemas seminaturales y permite calcular la dosis debida a la ingestión del producto fresco.

En las Tablas VII y IX, se presentan los resultados del cálculo de los factores de transferencia (FT) y Factores de Transferencia Agregado (FTA), suelo-parte comestible del caracol y suelo-nopal respectivamente, correspondientes a las muestras arriba mencionadas. Con el fin de simplificar los cálculos y para obtener un único valor anual de dichos factores de transferencia, se utilizó la actividad promedio de la parte comestible, cuando se disponía de dos o más valores en un mismo año. También se hizo el cálculo utilizando el promedio general de actividad específica en el caracol y en el nopal y el promedio general de la actividad específica y superficial en el suelo. Se utilizaron los valores de la actividad en el suelo seco, ya que es similar al del suelo húmedo (Gasó et al, 1995; Gasó et al, 1999; Gasó et al, 2000; Frantsevich et al, 1996).

En general los factores de transferencia para las muestras de Referencia son mayores, debido a que se utilizaron los valores inferiores a la concentración mínima detectable, como valores reales, pero podrían ser cualquier número inferior al reportado. De ahí la importancia de contar con medidas de muy baja actividad en este tipo de muestras, aunque tengan que determinarse por otros métodos que incluyan separaciones radioquímicas previas.

Los valores calculados de dosis equivalente específica (ver anexo 1) son muy parecidos entre las dos formas de cálculo, especialmente cuando se tienen valores bajos de actividad superficial en suelo para Ra-226 y valores bajos de actividades específicas en la parte comestible del caracol con las muestras de nopal los valores calculados también son muy semejantes; el hecho de que los valores de actividad específica estén

dentro de los intervalos permitidos no indica que la cantidad acumulada de los radionúclidos sea o no tóxica a lo largo de la cadena alimenticia ya que esto se determina al calcular la dosis que un individuo recibiría al consumir estas especies que de antemano sabemos que los acumulan a lo largo de su vida.

Así, para el Ra-226, la dosis que recibiría el hombre debido a la ingestión de estos organismos bioacumuladores sería considerable con respecto a la reportada (Frantsevich et al, 1996), para la dieta europea tipo (4×10^{-6} Sv/a). También representaría un porcentaje importante de la dosis total anual por ingestión (0.3 mSv), por lo que la contribución de este tipo de alimentos silvestres, deberá seguirse vigilando, especialmente en el área del CADER, aún en el caso de su desmantelación y cierre, incluyendo además los alrededores del mismo.

Fase III:

El análisis de los metales presentes en las muestras de caracol y nopal, se realizó en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del ININ y la determinación cuantitativa de plomo se realizó en el Laboratorio de Métodos de Separación Inorgánica del depto. De Química Analítica de la Facultad de Química de la UNAM.

En la Tabla X se presentan los resultados obtenidos en la determinación de elementos en las muestras de caracol, mientras que en la tabla XI se presentan los resultados obtenidos en las muestras de nopal.

Tabla X: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS (ppm) PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE GUSANO Y CONCHA DE CARACOL

AÑO	MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	Ca	Ba	K	P	Fe	S	Cl	Mn	Ti	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb
1986	Concha y gusano	CADER	141253	—	6487	<4.7	207	—	456	47	<0.2	—	40	116.1	5.4	10.5	459	59.9
1994	Gusano	CADER	9147	371	3384	1357	756	1703	1537	47	25	0.4	93.6	75.2	44.5	10.7	123.4	6.7
1997	Gusano	CADER	8951	159	3505	2160	146	2561	1951	28.6	<0.2	<3	83.5	84.5	73	2	54.8	<0.5
		Promedio	9049	265	3444.5	1758.5	451	2132	1744	37.8	—	—	88.55	79.85	58.7	6.35	89.1	6.7
1996	Gusano	Ref 2	6844	406	2232	1593	518	1814	533	139	<0.2	0.2	107.8	104.5	43.6	7.7	113.4	2.7
1998	Gusano	Ref.1	10113	215	2341	1416	579	1771	1134	102	24	<0.1	75.9	85.2	12.6	6	62.8	4.3
		Ref.1 y 2	8478.5	310.5	2286.5	1504.5	548.5	1792.5	833.5	121	12.1	0.15	91.85	94.85	28.1	6.85	88.1	3.5
1994	Concha	CADER	87925	<3	2156	2309	108	<25	<20	<1	<0.2	35.5	46	13.8	<0.5	<0.5	888	50.5
1997	Concha	CADER	74082	<3	1843	3382	151	<25	<20	<1	<0.2	20.4	44.8	13.2	8	<0.5	93.1	47.4
		Promedio	81003.5	<3	1999.5	2845	129.5	<25	<20	<1	0.2	27.95	45.4	13.5	4.25	0.5	490.5	48.95
1996	Concha	Ref 2	75270	<3	1948	4751	122	<25	<20	42.3	<0.2	27	155	55.1	6.1	<0.5	808	55.2
1998	Concha	Ref.1	216083	<0.4	3434	—	153	<3.2	<2	13	<0.2	25	21	7.4	<0.02	<0.02	839	49.6
		Ref.1 y 2	145676.5	<1.7	2691	—	137.5	<14.1	<11	27.6	0.2	26	88	31.25	3.06	0.26	823.5	52.4

Tabla XI: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS (ppm) PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE NOPAL

AÑO	PUNTO DE MUESTREO	Ca	Ba	K	P	Fe	S	Cl	Mn	Ti	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb
1996	8	24367	70	11472	<40	29	<25	1081	35	<0.2	<3	7.1	9.4	54.3	6.1	176.4	12.6
1998	24	23753	104	6174	<4.7	163	<3.2	1020	32	7	<0.1	14.5	14.4	13.9	11	299.7	16
1998	24	11265	60.5	14518	<40	165	233	512	110	<0.2	<3	9.2	8.1	30.4	12.5	131	6.7
1998	24	12359	124	13461	<4.7	511	<3.2	285	146	41	10	25.7	15.4	43.4	21.5	232.6	10.8
	Promedio	17936	89.63	11406.3	<22.4	217	66.1	725	80.8	12.1	4.03	14.13	11.83	35.5	12.78	209.93	11.525
1998	Ref.1	34324	194	24245	<4.7	82	<3.2	5587	209	1	2.5	15.1	16.5	14.9	24.6	204.4	14.5

Las especies acumuladoras de metales o algún otro elemento, aumentan la concentración del mismo a lo largo del tiempo, es decir, concentran dicho metal o elemento en sus tejidos, sin embargo esto también puede pasar a la inversa, estas especies pueden desarrollar mecanismos de eliminación o disminución provocando que la concentración de estos agentes que pueden ser tóxicos para ellas disminuya también en un periodo de tiempo determinado.

Para algunos metales se ha demostrado una relación semi-logarítmica entre la concentración de metales en el suelo y en los organismos bioacumuladores que viven en dichos suelos. Cuando la concentración de metales como el Cd y el Pb es alta, algunas glándulas u órganos de los animales pueden reflejar efectos o mecanismos de regulación o saturación.

Los caracoles son capaces de secuestrar metales en sus glándulas digestivas, almacenarlos en gránulos o ligarlos a enzimas (matalotioneínas). Estos mecanismos de retención y de tonificación de elementos tóxicos son probablemente el origen de la tolerancia de los caracoles con respecto a la contaminación de metales en el ambiente (suelo y alimento en el que se desarrollan). (Gomot,2000).

Sin embargo ¿qué pasa cuando algunos elementos disminuyen demasiado en el suelo como consecuencia del efecto mecánico de remover la cubierta del mismo para descontaminarlo?. Se observa una disminución en el gusano de 1994 a 1997, de los siguientes elementos, algunos de los cuales parecen ser esenciales para el desarrollo

del caracol, puesto que en la muestras testigo aparecen en una concentración similar a las que tienen las del CADER en 1994. Estos elementos son: Sr, Rb, Mn, Fe, Ba, Cu.

Muchos de estos se sabe intervienen en reacciones metabólicas importantes, por lo que su disminución puede haber sido un factor decisivo en la desaparición de las poblaciones de caracoles en el interior del CADER.

Para el Ra-226, se sabe que existen factores de discriminación biológica que impiden su acumulación, por lo que no hay una relación lineal entre la concentración que existe en el suelo y la que incorporan los organismos. Se ha reportado que la acumulación de Sr y Ra parece ser inversamente proporcional a la concentración de Ca biodisponible, la cual puede ser diferente en los distintos puntos de muestreo o localidades geográficas (Gasó et al, 1999; Frantsevich et al, 1996). El Ca se va desacumulando en la concha a lo largo del tiempo mientras que el Ra-226 se acumula para el mismo periodo (gráfica I), esto confirma lo dicho por Gasó et al en 1999 y Frantsevich et al en 1996 sin embargo en el caso del Sr (gráfica XV) disminuye dramáticamente en 1997 en el interior del CADER, lo cual corrobora que dichos organismos acumulan grandes concentraciones del elemento en la concha. En cuanto al gusano no se observa un cambio importante en la concentración de estos metales. Para el nopal la concentración Ra-226 aumenta mientras que la concentración de Ca disminuye, sin embargo la concentración de Sr aumenta en el periodo de tiempo estudiado.

Analizando la gráfica II a la XVI vemos que en el caso del gusano se acumulan los siguientes elementos: P, S, Cl, Ni, Zn y Br; los que se desacumulan son: Ba, Fe, Mn, Ti, Cu, Rb y Pb; mientras que el K permanece sin cambios. Para el caso de la concha se acumula: P, Fe y Br; se desacumulan Ni y Pb y el resto de los elementos analizados no presentan cambios importantes. En cuanto al nopal se acumulan: Ba, Fe, S, Mn, Ti, Ni, Cu, Zn y Rb; se desacumulan P, Cl, Br y Pb; y el K no varia. El K permanece sin variaciones importantes en el periodo de tiempo analizado en las muestras ya que es un elemento indispensable para los organismos y que lo incorporan para realizar sus funciones.

Las muestras recolectadas en los alrededores son de puntos geográficos diferentes, nos sirven como referencia de cuanto de estos elementos podemos encontrar naturalmente en comparación con las que han sufrido una perturbación, entonces, la acumulación o disminución entre ellos no es comparable.

En el caso de Pb, se sabe que los organismos presentan mecanismos adaptativos o discriminatorios a agentes que puedan ser nocivos para su buen desarrollo por lo que las muestras tienen una concentración de Pb que se encuentra dentro de los límites, esperábamos que la cantidad fuese mayor, de tal forma se realizó la cuantificación de este metal en muestras de suelo y de escamoles colectadas dentro del CADER, las concentraciones encontradas fueron muy semejantes a las presentes en las muestras de caracol y nopal ya que oscilan alrededor de 60 ppm.

Podemos ver que la concentración de Ni en las muestras del interior del CADER es mayor para los nopales que para los caracoles, esto nos habla de que los caracoles tienen más mecanismos de adaptación que los nopales, por otro lado el hecho de que los niveles de Ni estén altos puede deberse a una contaminación en el suelo debida a productos de activación de desechos de hierro contaminado.

Fase IV y Fase V:

Los tratamientos para realizar la prueba de toxicidad se hicieron con las concentraciones que se muestran en la tabla X, de los concentrados de nopal, gusano y concha de caracol. Cada concentración se hizo por triplicado teniendo por lo tanto trescientas larvas en cada tratamiento.

Tabla XII: CONCENTRACIONES UTILIZADAS PARA LOS TRATAMIENTOS DE TOXICIDAD

CONCENTRACIÓN % en peso	COMPOSICIÓN
Testigo	0 g de concentrado y 1 g de medio sintético
1	0.01 g de concentrado y 0.99 g de medio sintético
2	0.02 g de concentrado y 0.98 g de medio sintético
4	0.04 g de concentrado y 0.96 g de medio sintético
6	0.06 g de concentrado y 0.94 g de medio sintético
8	0.08 g de concentrado y 0.92 g de medio sintético

En las tablas XIII, XIV, XV y XVI se muestran la cantidad de adultos emergidos en cada tratamiento, así como el % de viabilidad y el tratamiento estadístico, siendo los resultados en cursivas los que son significativos en la prueba de χ^2 con un nivel de significancia de $p > 0.05$ (3.841) y un grado de libertad.

Tabla XIII: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE CONCHA Y GUSANO RECOLECTADAS EN 1986

CONCENTRACIÓN % en peso	ADULTOS EMERGIDOS	% DE VIABILIDAD	χ^2
Testigo	254	84.67	
1	229	76.33	2.460
2	190	63.33	16.125
4	193	64.67	14.649
6	249	83	0.098
8	248	83	0.141

Tabla XIV: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE GUSANO DE CARACOL

CONCENTRACIÓN % en peso	ADULTOS EMERGIDOS	% DE VIABILIDAD	χ^2
1994 P-8			
Testigo	254	84.67	
1	259	86.33	0.098
2	253	84.33	0.003
4	227	75.67	2.870
6	265	88.33	0.476
8	231	77	2.082
1997 P-8			
Testigo	254	84.67	
1	238	79.33	1.007
2	240	80	0.771
4	270	90	1.007
6	219	73	4.822
8	281	93.67	2.870
1996 Ref. 2			
Testigo	254	84.667	
1	268	89.33	0.771
2	257	85.67	0.035
4	241	80.33	0.665
6	240	80	0.771
8	256	85.33	0.015
1998 Ref. 1			
Testigo	254	84.667	
1	226	75.33	3.086
2	229	76.33	2.460
4	255	85	0.003
6	224	74.67	3.543
8	250	83.33	0.062

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Tabla XV: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS
DE CONCHA DE CARACOL

CONCENTRACIÓN % en peso	ADULTOS EMERGIDOS	% DE VIABILIDAD	χ^2
1994 P-8			
Testigo	254	84.67	
1	255	85	0.004
2	248	82.67	0.141
4	233	77.67	1.736
6	242	80.67	0.566
8	228	76	2.661
1997 P-8			
Testigo	254	84.67	
1	245	81.67	0.318
2	255	85	0.003
4	270	90	1.007
6	244	81.33	0.393
8	234	78	1.574
1996 Ref 2			
Testigo	254	84.667	
1	212	70.67	6.944
2	236	78.67	1.275
4	262	87.33	0.251
6	261	87	0.192
8	261	87	0.192
1998 Ref. 1			
Testigo	254	84.667	
1	237	79	1.137
2	232	77.33	1.905
4	235	78.33	1.421
6	206	68.67	9.070
8	232	77.33	1.905

Tabla XVI: VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE NOPAL

CONCENTRACIÓN % en peso	ADULTOS EMERGIDOS	% DE VIABILIDAD	X ²
1996 P-8			
Testigo	254	84.67	
1	194	64.67	14.173
2	251	83.67	0.035
4	247	82.33	0.192
6	258	86	0.062
8	201	67	11.059
1998 P-24			
Testigo	254	84.667	
1	266	88.67	0.566
2	236	78.67	1.275
4	257	85.67	0.035
6	237	79	1.137
8	247	82.33	0.192
1998 P-24			
Testigo	254	84.667	
1	232	77.33	1.905
2	213	71	6.618
4	232	77.33	1.905
6	236	78.67	1.275
8	229	76.33	2.460
1998 P-8			
Testigo	254	84.667	
1	203	67.67	10.240
2	220	73.33	4.551
4	204	68	9.842
6	204	68	9.842
8	223	74.33	3.783
1998 Ref. 1			
Testigo	254	84.667	
1	239	79.67	0.885
2	222	74	4.031
4	221	73.67	4.287
6	211	70.33	7.279
8	250	83.33	0.062

Para poder analizar mejor los resultados se presentan las gráficas I - XIX en donde se observa la concentración de los elementos presentes en las muestras y su cambio en la concentración con respecto al tiempo.

En las gráficas XX - XXIII se presenta la viabilidad obtenida con la cepa OR-R donde se observa la toxicidad de los extractos probados.

Los resultados de viabilidad no tienen una relación dosis-respuesta y las que muestran toxicidad no se puede decir a que componente se debe esta ya que se analizaron varios elementos a la vez. Por otro lado vemos que presentan una mayor toxicidad los nopales que los gusanos de caracol, esto puede deberse a que el caracol tiene la posibilidad de acumular estos agentes tóxicos en la concha donde le provoca menor daño por lo que aquí vimos cierta toxicidad, sin embargo para el hombre no representa ningún riesgo ya que no ingiere esta estructura; mientras que el nopal no tiene esa posibilidad encontrando entonces concentraciones tóxicas para esta especie en el interior y exterior del CADER.

VI. CONCLUSIONES:

Una vez analizados los resultados podemos concluir que la toxicidad provocada en *Drosophila melanogaster* por la ingestión de las especies acumuladoras de metales y radionúclidos no se puede atribuir a la presencia de un elemento en especial ya que las muestras tienen concentraciones diferentes.

La variación en la concentración de los diferentes elementos a lo largo del tiempo puede deberse a mecanismos de discriminación o adaptativos de las especies analizadas.

No podemos decir que haya una contaminación ni de elementos ni de radionúclidos dentro del CADER, ya que no encontramos concentraciones elevadas con respecto a la literatura revisada ni lo sugerido por los Organismos Internacionales que indiquen lo contrario.

En cuanto a que los habitantes de estas regiones sufran algún daño por consumir estas especies, vemos que es poco probable, ya que al calcular las dosis se observó que la cantidad que llegaría al hombre es muy pequeña, aunque comparándola con la dieta europea sea mayor. Sin embargo si estos organismos pueden adaptarse a las condiciones del medio, se puede suponer que en el hombre suceden mecanismos semejantes.

VII. BIBLIOGRAFÍA:

1. Aarkrog, A. 1990. Environmental radiation and radioactive releases. *Int. J. Radiat. Biol.* 57(4): 619-631.
2. Aberg, B. y Hugante, F. P. (ed). 1967. Radiecological concentration processes. *Proceedings of an International Symposium held in Stockholm in 1966.* Pergamon Press, London.
3. Adams, J. et al. 1997. *What Risk?: Science, politics & public health.* Ed. Butterworth Heinemann.
4. Albert, L.A. 1997. *Introducción a la Toxicología Ambiental.* Ed. Lialia OPS/OMS.
5. Almedros, A. and Porcel, D. A Structural and microanalytical (EDX) study of calcium granules in the hepatopancreas of *Helix aspersa*. *J. Comp. Biochem. Physiol.*, 103 (1992) 757-762.
6. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 1998. SAGAR.
7. Beeby, A. And Richmond, L. Calcium metabolism in two populations of the snail *Helix aspersa* a high lead diet. *J. Arch. Environ. Cont. Toxicol.*, 17(1988) 507-511.
8. Berdanier, C.D. 1998. *Advanced Nutrition Micronutrients.* Ed. Ira Wolinsky and James F. Hickson, JR. CRC Press
9. CAC., 1989. (Codex Alimentarius Commission). Consideration of proposals for action in relation to accidental radionuclide contamination of foods. 18th Session alinorm 89/11.W/Z4 473, WHO.

10. Canet, A. & Jacquemin, R. 1990. Methods for measuring radium isotopes: gamma spectrometry. Environmental Behavior of Radium. In IAEA Technical Report Series 310 (2): 189-204, Vienna
11. Demerec, M & Kaufmann, B.P. 1975. Introducción a la Genética y citología de *Drosophila melanogaster*. Autorizado por la Institución de Carnegie de Washington. Septum edition.
12. Desment, G., Nassimbeni, P. y Bellis, M. 1990. Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-natural Environments. Elsevier Applied Science, Commission of the European Communities.
13. Fisher, R.A., y Turner, N.C. 1979. Plant productivity in the arid and semiarid zones, Annu. Rev. Plant Physiol., 29: 277-317, E.U.A.
14. Frantsevich L., Korniushev A., Pankov I., Ermakov A., Zakharchuk T. 1996. Application of mollusks for radioecological monitoring of the Chernobyl outbursts. Environmental Pollution 94 (1): 91-100.
15. Frissel, M.J., et al. 1990 The impact of extreme environmental conditions, as occurring in natural ecosystems, on soil-to-plant transfer of radionuclides. En Desment, G., Nassimbeni, P. y Belli, M. (ed). Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-natural Environments. Elsevier Applied Science, Commission of the European Communities. pp. 40-47.
16. Frissel, M.J. 1992, An update of the recommended soil-to-plant transfer factors of Sr-90, Cs-137 and transuranic. VIII report of the working group soil-to-plant transfer factors. Spain. pp. 16-25
17. Gaso, M.I., Segovia, N., Cervantes, M.L., Salazar, S. 1999. Land snails as bioindicators of soil ¹³⁷Cs and ²²⁶Ra contamination. In Environmental

Radiochemical Analysis, Edit. by G. W.A. Newton and the Royal Society of Chemistry, Cap. VI : 50-57, Cambridge, U.K.

18. Gaso, M.I., Segovia, N., Herrera, T., Perez-Silva, E., Cervantes, M.L., Quintero, E., Palacios, J., Acosta, E. Radiocesium accumulation in edible wild mushrooms from coniferous forests around the Nuclear Centre of Mexico (en prensa).
19. Gaso, M.I., Cervantes, M.L., Segovia, N., Abascal, F., Salazar, S., VELÁZQUEZ, R., Mendoza, R. 1995. ^{137}Cs and ^{226}Ra determination in soil and land snails from a radioactive waste site. *The Science of the Total Environment* 173/174: 41-45.
20. Gaso M.I., Segovia N., Cervantes M.L., Herrera T., Pérez. Silva E. 2000. Internal radiation dose from ^{137}Cs due to the consumption of mushrooms from a Mexican temperate mixed forest. *Radiat. Prot. Dosim.* 87 (3): 213-216.
21. Gaso, M.I. 1998. Los hongos silvestres comestibles como indicadores de la transferencia de radionúclidos en el ambiente. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México.
22. Graf, U., Würgler, F., Katz, A., Frei, H., Juan, H., Hall, C., Kale, P. 1984. Somatic mutation and recombination test in *Drosophila melanogaster*, *environ. Mutagen*; 6: 153-188.
23. Granados, D., Castañeda, A.D. 1997. *El Nopal*. Ed. Trillas, México D.F.
24. Gomot de Vaufleury, A. 2000. Standardized growth toxicity testing (Cu, Zn, Pb and pentachlorophenol) with *Helix aspersa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 46, 41 - 50.

25. Gomot de Vaufleury, A. and Pihan, F. 2000. Growing snails used as sentinels to evaluate terrestrial environment contamination by trace elements. *Chemosphere* 40, 275 - 284.
26. IAEA, 1982b. (International Atomic Energy Agency). Basic safety standards for radiation protection. *Safety Series 9*, Vienna.
27. IAEA, 1986. (International Atomic Energy Agency). Principles for limiting releases of radioactive effluents into the environment. *Safety Series 77*, Vienna.
28. IAEA, 1991. (International Atomic Energy Agency). The international Chernobyl Project: *Technical Report Series 885*, Vienna.
29. IAEA, 1994. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. *Technical Report Series 364*, Vienna.
30. IAEA, 1996. (International Atomic Energy Agency). Chernobyl - Diez años después. *Bol. IAEA* 38, (3), Vienna.
31. ICRP. 1993. Age-dependent dose to members of the public from intake of radionuclides. Part 2. *Publication 67*. Pergamon Press, Oxford.
32. Jeffree, R.A., Radium uptake by freshwater invertebrates, in IAEA (Ed.), *The Environmental Behavior of Radium*. Vol. 2, *Tech. Reports Series 310*, Vienna, 1990, pp. 509-528.
33. Molina G., Borrayo R., Maldonado H., Gaso M.I., Cervantes L., 1996. Niveles de intervención derivados para radionúclidos en alimentos, la experiencia mexicana. *Protección radiológica en América Latina y el Caribe* 1: 598-601, Lima.

34. Nilsson, R., Natarajan, A.T., Hartwig, A., Dulout, F., De la Rosa, M.E., Vahter, M. 1999. Clastogenic effects and influence of inorganic arsenic on DNA repair in mammalian systems. B. Sarkar (ed) "Metals and Genetics", Plenum Publ. Corp. New York.
35. NOM (Norma Oficial Mexicana). 006-NUCL-1994. Criterios para la aplicación de los Límites Anuales de Incorporación para Grupos Críticos del Público. México D.F.
36. NOM (Norma Oficial Mexicana). AA-21-1985. Protección del ambiente. Contaminación del Suelo por residuos sólidos municipales. Determinación de materia orgánica. SECOFI-DGN. México, D.F.
37. NOM (Norma Oficial Mexicana). 033-SSA1-1993. Bienes y servicios. Irradiación de alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios. Secretaría de Salud. México, D.F.
38. NOM (Norma Oficial Mexicana). 117-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Secretaría de Salud. México, D.F.
39. NOM (Norma Oficial Mexicana). 088-SSA1-1994. Bienes y servicios. Contaminación por radionúclidos en alimentos de consumo masivo importados. Límites máximos permisibles. Secretaría de Salud. México, D.F.
40. NOM (Norma Oficial Mexicana). 001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Secretaría de Salud. México, D.F.

41. NOM (Norma Oficial Mexicana). 002-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Secretaria de Salud México, D.F.
42. NOM(Norma Oficial Mexicana). 010-STPS-1998. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México, D.F.
43. OMS (Organización Mundial De la Salud)., 1987. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Principios Básicos de la red mundial OMS/PNUMA de Vigilancia de la Radiación Ambiental. Reunión de Expertos, Le Vesinet, Francia.
44. Pickworth, G.J., Trueblood, K. N. 1985. Crystal Structure Analysis. Ed. Oxford University Press. USA. Segunda edición.
45. Pietrzak-Flis Z., Chzanowski E., Dembinska S. 1997. Intake of ^{226}Ra , Pb and Po with food in Poland. Sci. Tot. Environ. 203, 157-165.
46. Poldini, L. 1990. Naturalness and Artificiality. In: Desmet, G.; Nassimbeni, P.; Belli, M., eds. Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. Elsevier Applied Science, London.
47. Ramos, M.P. Abundis, M.H.M., et al. 1993. Manual de laboratorio de genética para *Drosophila melanogaster*. Mc Graw-Hill. México.
48. Raspberry, S.D., and Heinrich, K.F.J., 1974. Calibration for interelement effects in X-ray fluorescence analysis. Analytical Chemistry, v. 46 p. 81-89.

49. Rojas, L.M.E., Krivolutsky, D.A., et al. 1995. Acumulación de Sr-90 proveniente de la precipitación radiactiva global en suelo y Opuntia spp. De la zona semiárida de los llanos de ojos de México. 6to Congreso Nacional y 4to Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Jalisco, México.
50. Romney, E.M., Lindber, R.G. y Kinnear, J.T. 1983. Sr-90 and Cs-137 in soil and biota of fallout areas in southern Nevada and Utah. Health Phys., 45 (3): 643-650.
51. Romney, E.M., Wallace, A., Schulz, R.K. y Dynaway, P.B. 1982. Plant root uptake of ^{239,240}Pu and ²⁴¹Am from soils containing aged fall-out materials. IAEA Safety Series No 597. pp. 589-603.
52. SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Humanos). 1992. "Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de México".
53. SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Humanos). 1987. "Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de México".
54. Shutov VN, Bruk GY, Basalava LN, Vasilevitskiy VA, Ivanova NP, Kaplun IS. 1996. The role of mushrooms and berries in the formation of internal exposure doses to the population of Russia after the Chernobyl accident. Radiat. Prot. Dosim. 67: 55-64.
55. Vogel, E. 1975. Some aspects of the detection of potential mutagenic agents in *Drosophila*. Mut. Res. 29: 241-250.
56. Walter, H., y Stadelmann, E. 1974. A new approach to the water relations of desert plants. Desert Biology vol. 2, Gupta editor, Academic Press, New York, E.U.A.

57. WHO (World Health Organization), 1989. derived intervention levels for radionuclides in food: *Guidelines for application after widespread radioactive contamination of resulting from major radiation accident*. Geneve.
58. Williams, A.R. Biological uptake and transfer of radium-226: a review. IAEA-SM-257/92.
59. Würigler, F.E. 1986, *Mutagenecity assays detecting recombination*. *Genetic Toxicology of Environmental Chemicals, part B: Effects and applied mutagenesis*. pp. 85-90. Alan and Liss. Inc.

VIII. APÉNDICE

ANEXO 1

$$E = q d_k (\text{Sv/a})$$

$$q = \text{FTA} \cdot \sigma \cdot x (\text{Bq/a})$$

donde:

q es la incorporación anual (Bq/a).

d_k es el factor de dosis por unidad de actividad incorporada*

FTA es el Factor de Transferencia Agregado (m^2/Kg).

σ es la actividad superficial del radionúclido en el suelo (Bq/m^2).

x es el consumo anual de caracoles comestibles, por persona, que se estima en 10 Kg/a o para los nopales el consumo anual, por persona, que se estima en 30 Kg/a, basándonos en la dieta local.

* Para el Cs-137, es de 1.3×10^{-8} (Sv/Bq) y para el Ra-226 es de 2×10^{-7} (Sv/Bq). (ICRP, 1993).

Aplicando la ecuación y utilizando los valores indicados en las Tablas V, VI y VII, obtendremos las siguientes estimas para la incorporación y dosis anuales:

Gusano de caracol

CADER (Ra-226), de 1994 a 1997.

$$q_1 = 0.0003 (\text{m}^2/\text{kg}) \times 258\,340 (\text{Bq}/\text{m}^2) \times 10 \text{ Kg/a} = 775.02 (\text{Bq/a})$$

$$E_1 = 775.02 (\text{Bq/a}) \times 2 \times 10^{-7} (\text{Sv/Bq}) = 155 \times 10^{-6} (\text{Sv/a})$$

CADER (Cs-137), de 1994 a 1997.

$$q_2 = 0.0001 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 22\,810 \text{ (Bq/m}^2) \times 10 \text{ Kg/a} = 22.81 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_2 = 22.81 \text{ (Bq/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.30 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Referencia (Ra-226), de 1994 a 1999.

$$q_3 = 0.0019 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 2866 \text{ (Bq/m}^2) \times 10 \text{ Kg/a} = 54.45 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_3 = 54.45 \text{ (Bq/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 11 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Referencia (Cs-137), de 1994 a 1999.

$$q_4 = 0.0005 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 299 \text{ (Bq/m}^2) \times 10 \text{ Kg/a} = 1.50 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_4 = 1.50 \text{ (Bq/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.019 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Nopal

CADER (Ra-226), de 1994 a 1998.

$$q_5 = 0.000035 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 258\,340 \text{ (Bq/m}^2) \times 30 \text{ Kg/a} = 271.257 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_5 = 271.257 \text{ (Bq/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 54.25 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

CADER (Cs-137), de 1994 a 1998.

$$q_6 = 0.000018 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 22\,810 \text{ (Bq/m}^2) \times 30 \text{ Kg/a} = 12.32 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_6 = 12.32 \text{ (Bq/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.160 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Referencia (Ra-226), de 1996 a 1998.

$$q_7 = 0.0004 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 2866 \text{ (Bq/m}^2) \times 30 \text{ Kg/a} = 34.39 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_7 = 34.39 \text{ (Bq/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 6.88 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Referencia (Cs-137), de 1996 a 1998.

$$q_8 = 0.00027 \text{ (m}^2/\text{Kg)} \times 299 \text{ (Bq/m}^2\text{)} \times 30 \text{ Kg/a} = 2.42 \text{ (Bq/a)}$$

$$E_8 = 2.42 \text{ (Bq/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.0315 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Si el cálculo de dosis se hace utilizando la actividad específica del producto ingerido (gusano de caracol y nopal), en peso húmedo y sin tomar en cuenta los factores de transferencia agregados, los valores serían los siguientes:

Gusano de caracol

$$E_{12} = 61 \text{ (Bq/kg)} \times 10 \text{ (Kg/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 122 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

$$E_{22} = 2 \text{ (Bq/kg)} \times 10 \text{ (Kg/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.3 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

$$E_{32} = 5 \text{ (Bq/kg)} \times 10 \text{ (Kg/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 10 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

$$E_{42} = 0.18 \text{ (Bq/kg)} \times 10 \text{ (Kg/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.023 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

Nopal

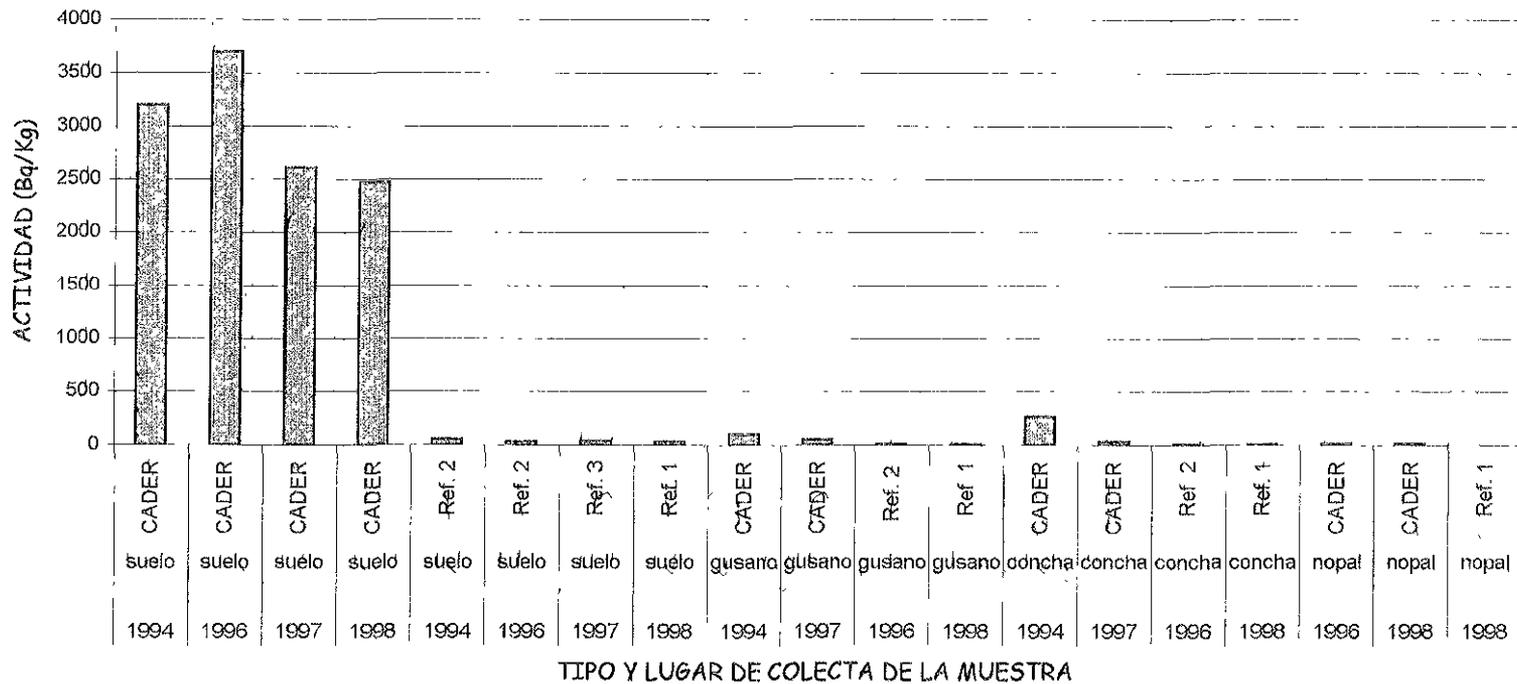
$$E_{52} = 9.026 \text{ (Bq/kg)} \times 30 \text{ (Kg/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 54.16 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

$$E_{62} = 0.508 \text{ (Bq/kg)} \times 30 \text{ (Kg/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.198 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

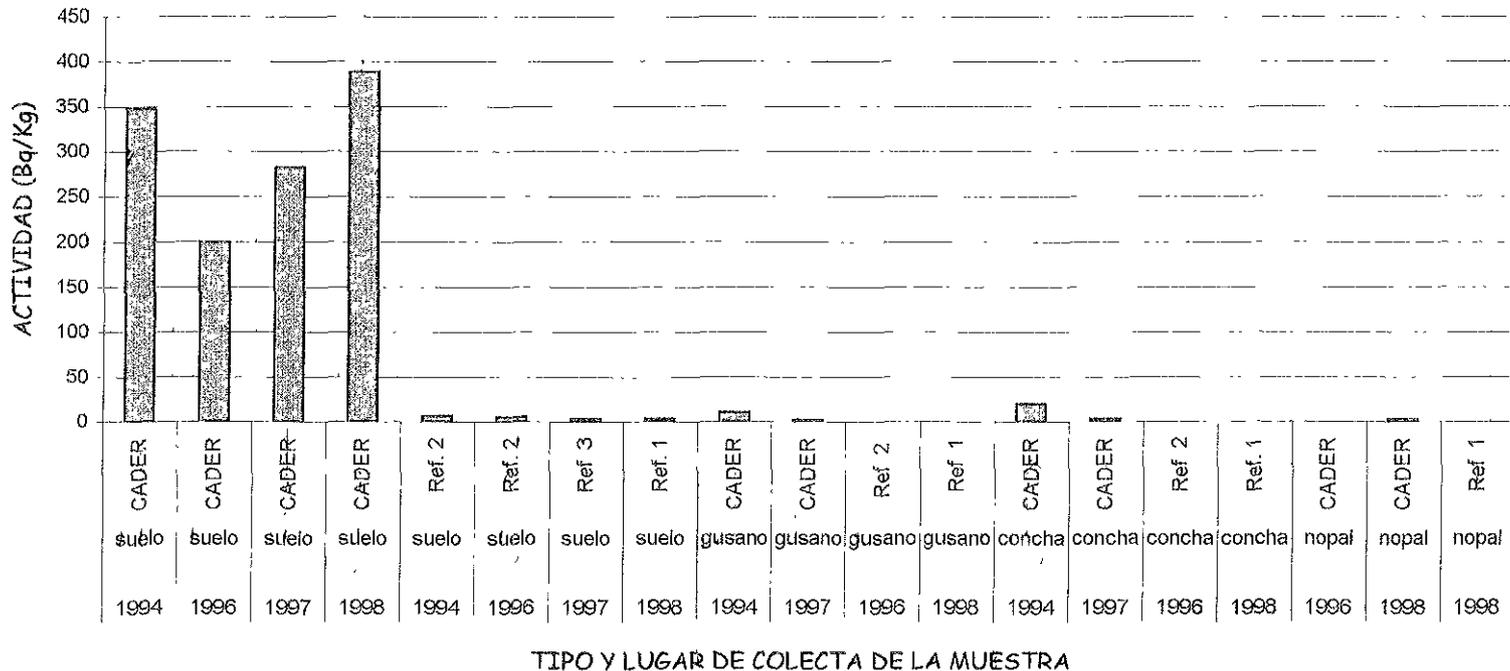
$$E_{72} = 1.13 \text{ (Bq/kg)} \times 30 \text{ (Kg/a)} \times 2 \times 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 6.78 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

$$E_{82} = 0.066 \text{ (Bq/kg)} \times 30 \text{ (Kg/a)} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Bq)} = 0.0257 \times 10^{-6} \text{ (Sv/a)}$$

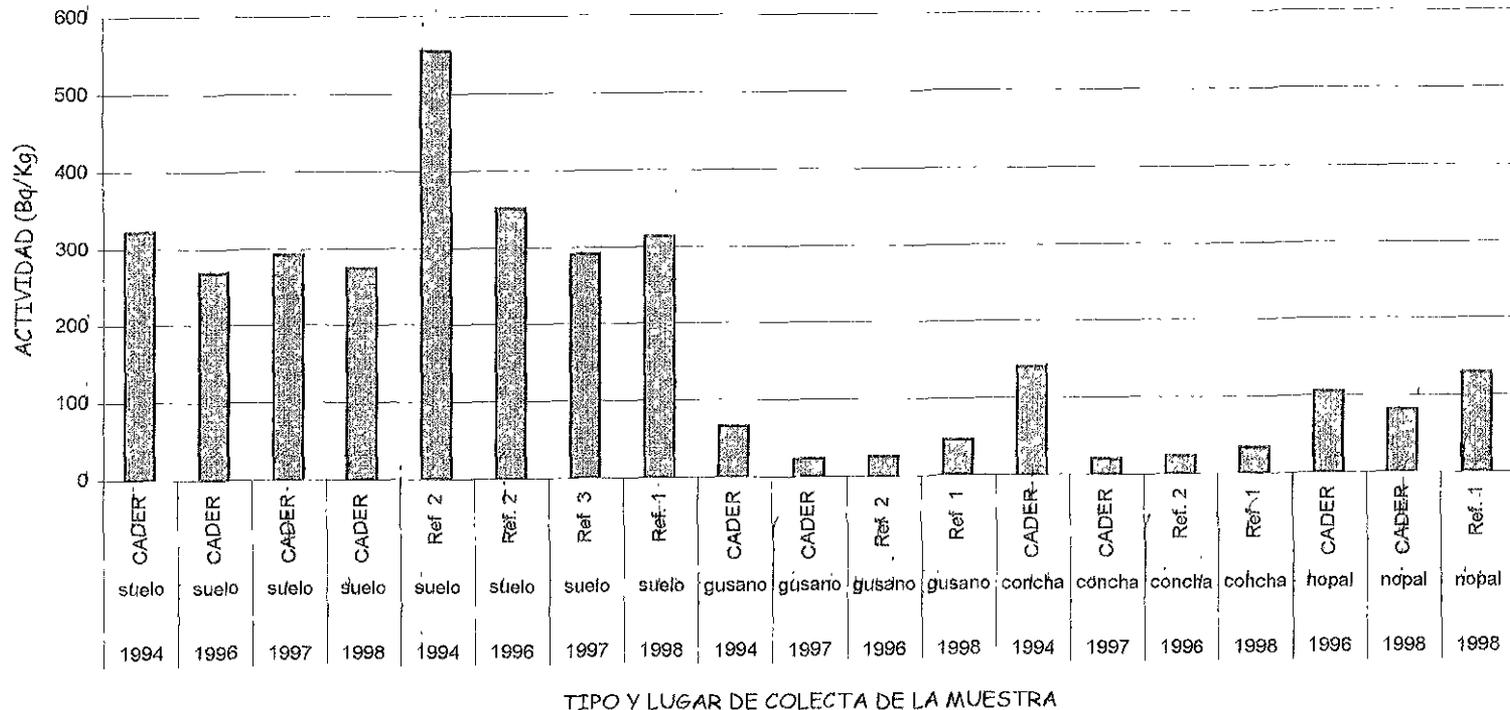
Gráfica I. ACTIVIDAD DEL Ra-226 PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



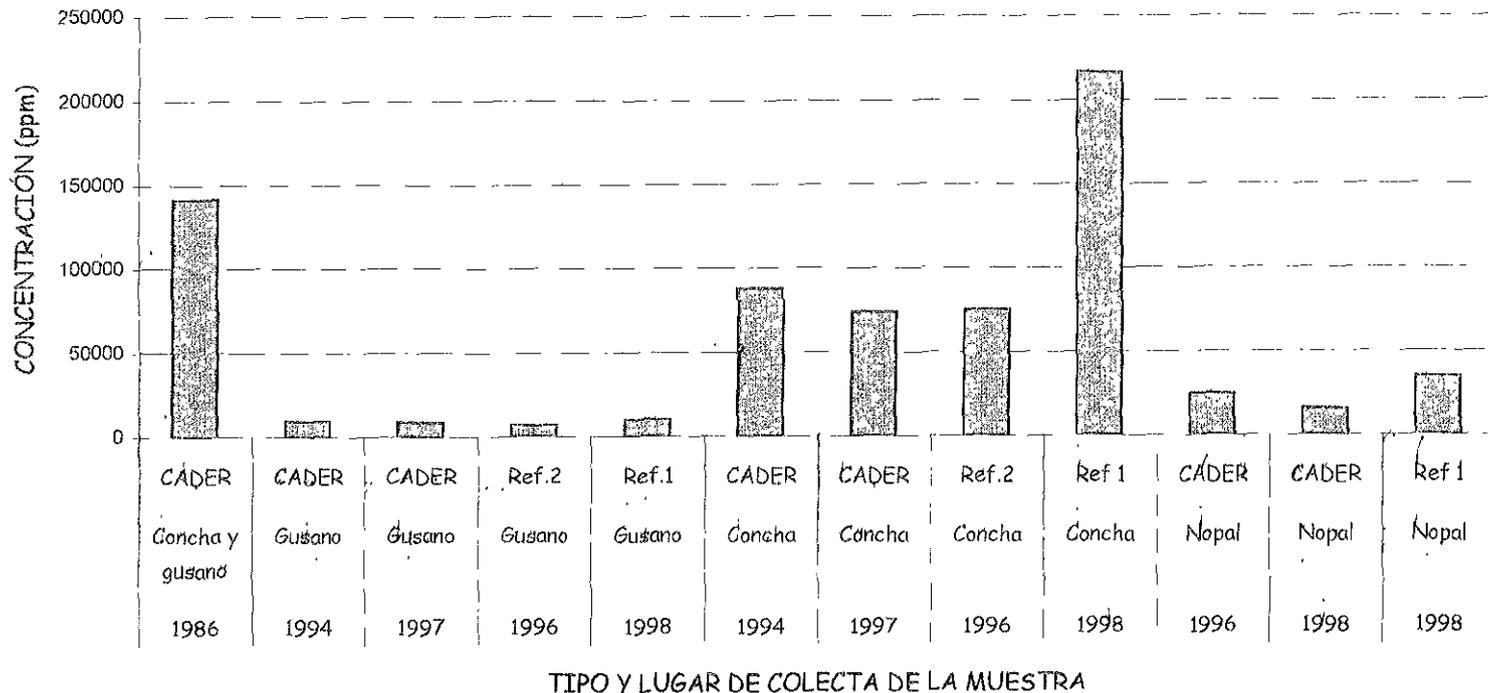
Gráfica II: ACTIVIDAD DEL Cs-137 PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



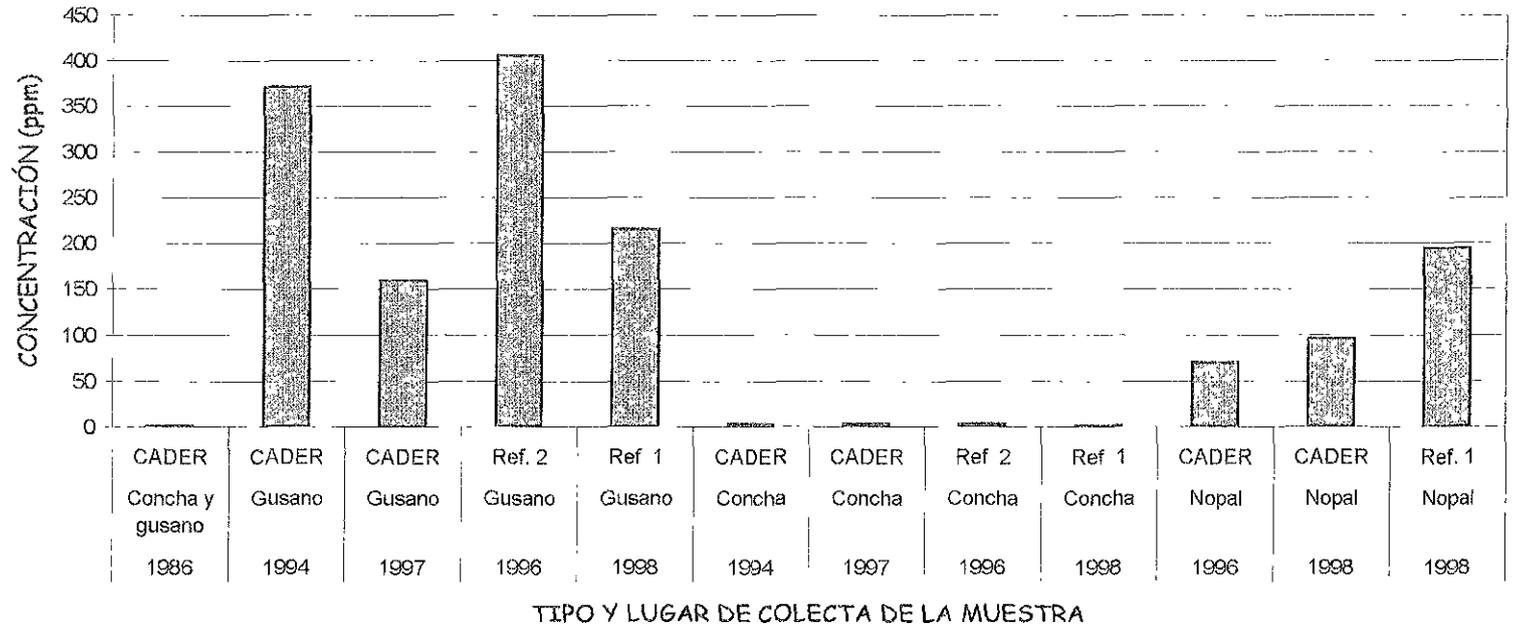
Gráfica III. ACTIVIDAD DEL K-40 PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



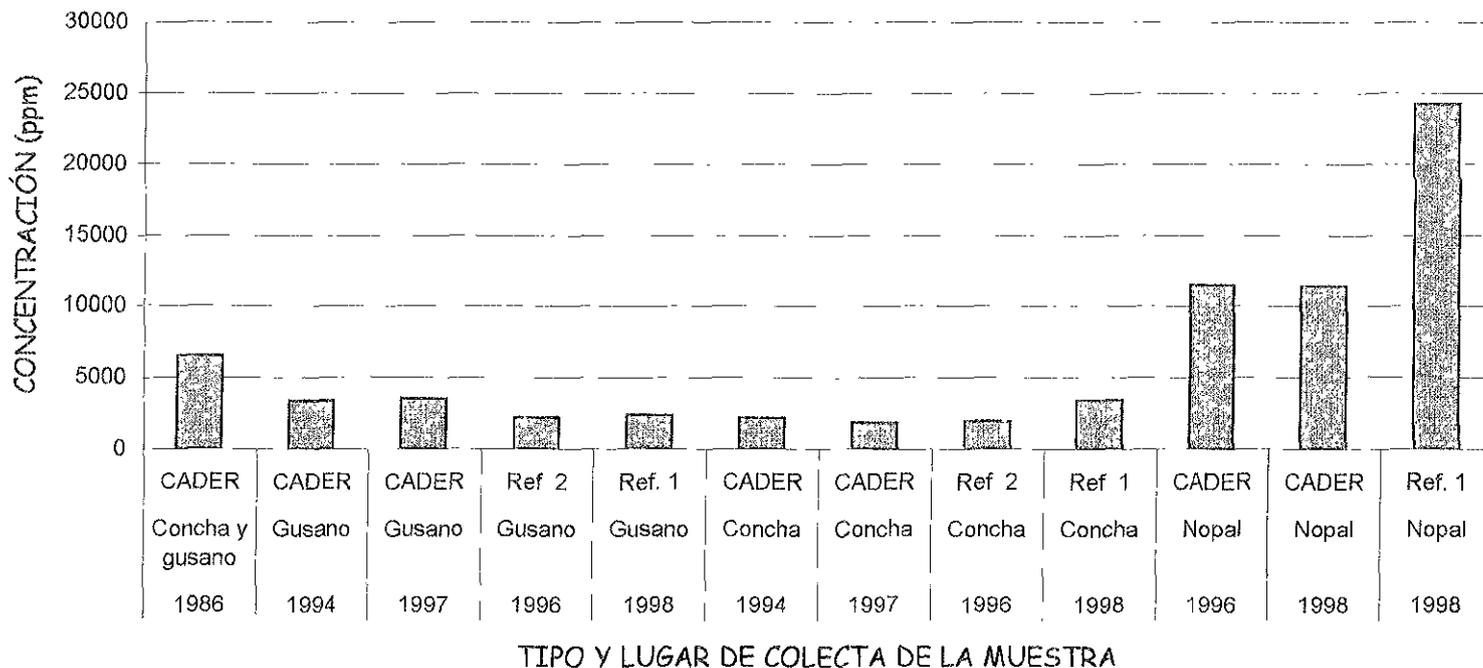
Gráfica IV. CONCENTRACIÓN DE Ca PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



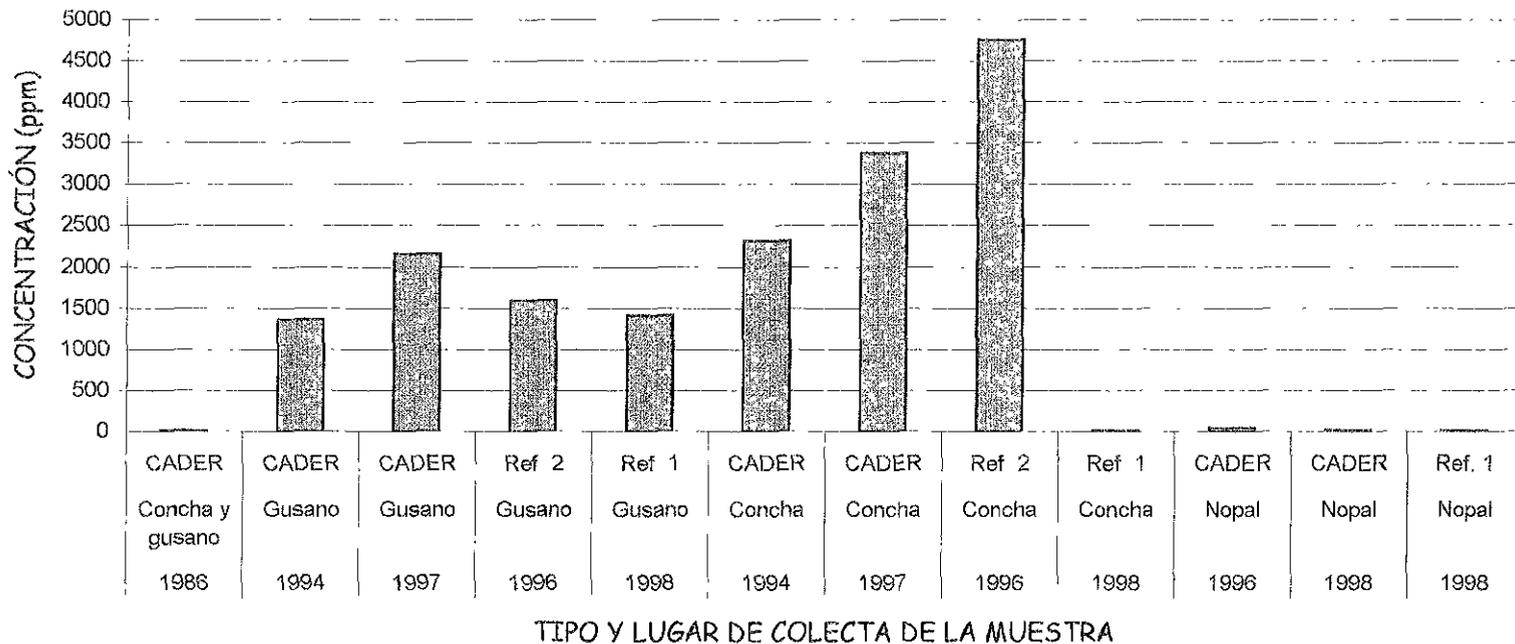
Gráfica V. CONCENTRACIÓN DE Ba PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



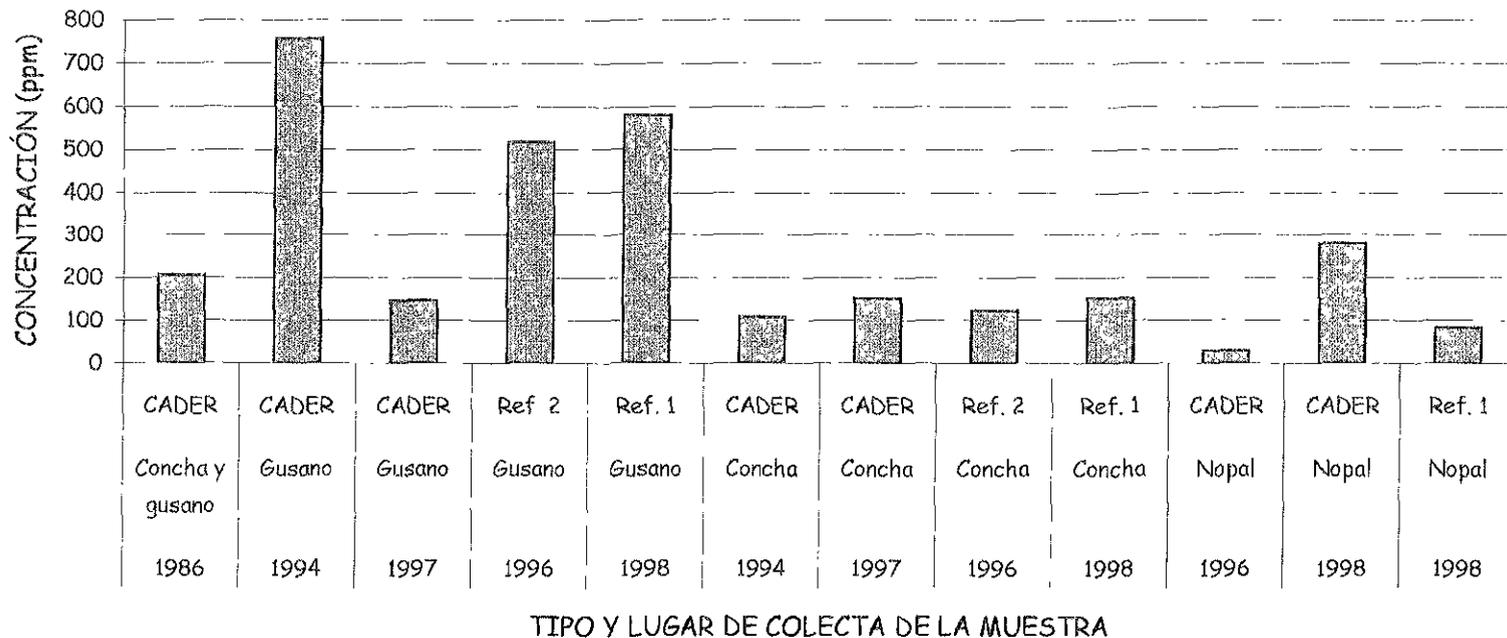
Gráfica VI. CONCENTRACIÓN DE K PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



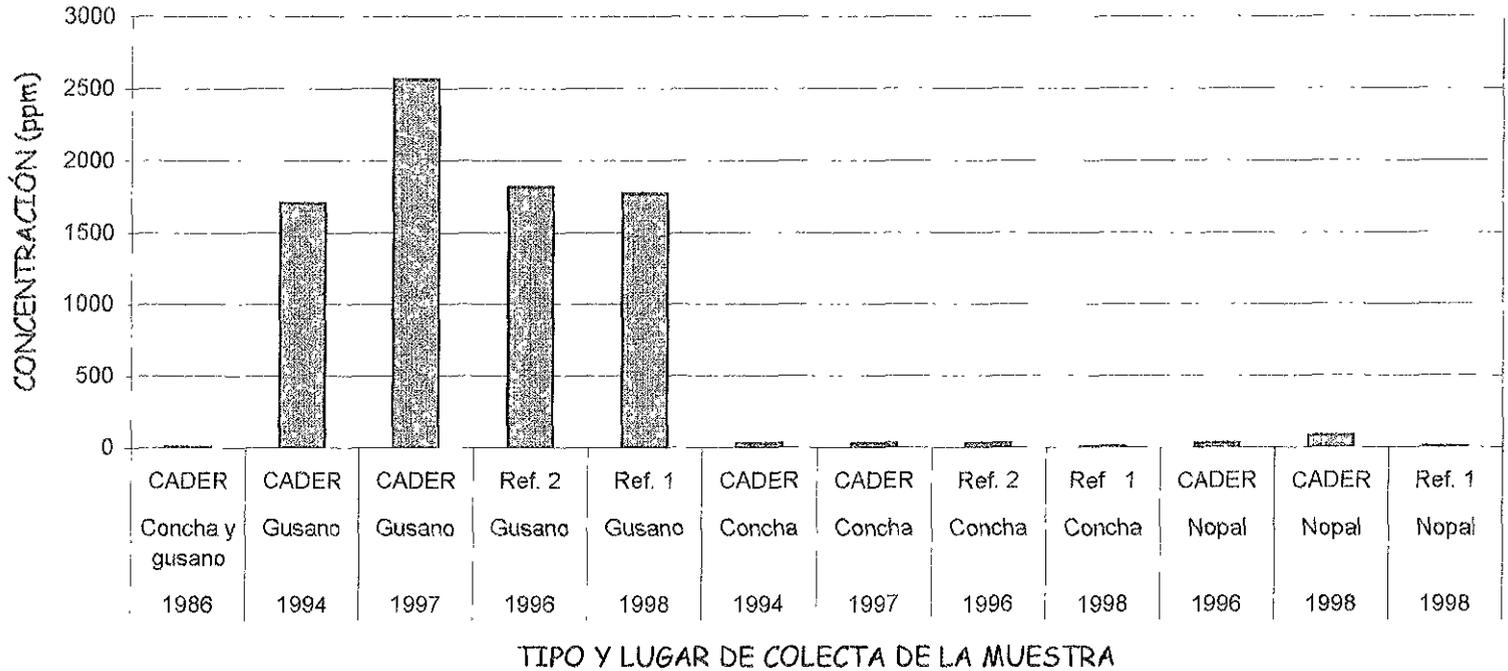
Gráfica VII. CONCENTRACIÓN DE P PRESENTE EN LA MUESTRAS ANALIZADAS



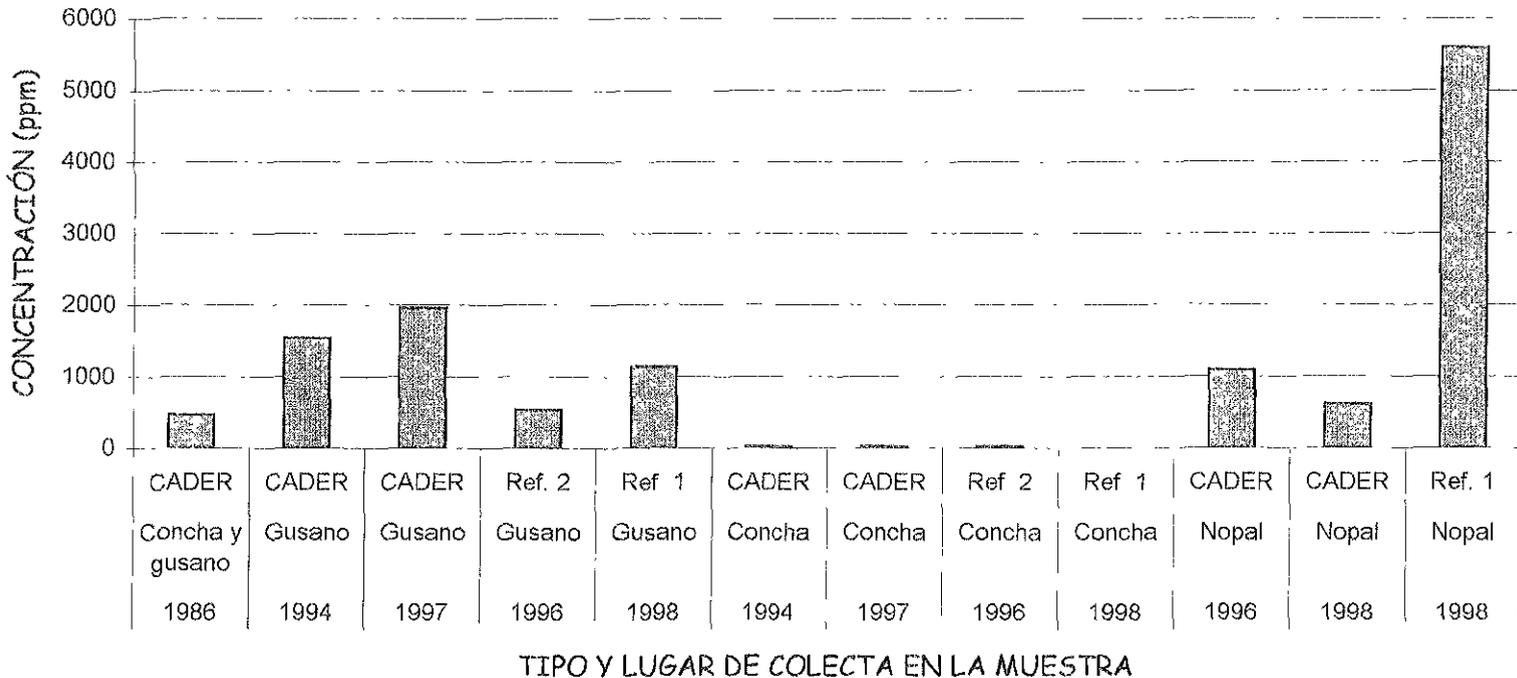
Gráfica VIII. CONCENTRACIÓN DE Fe PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



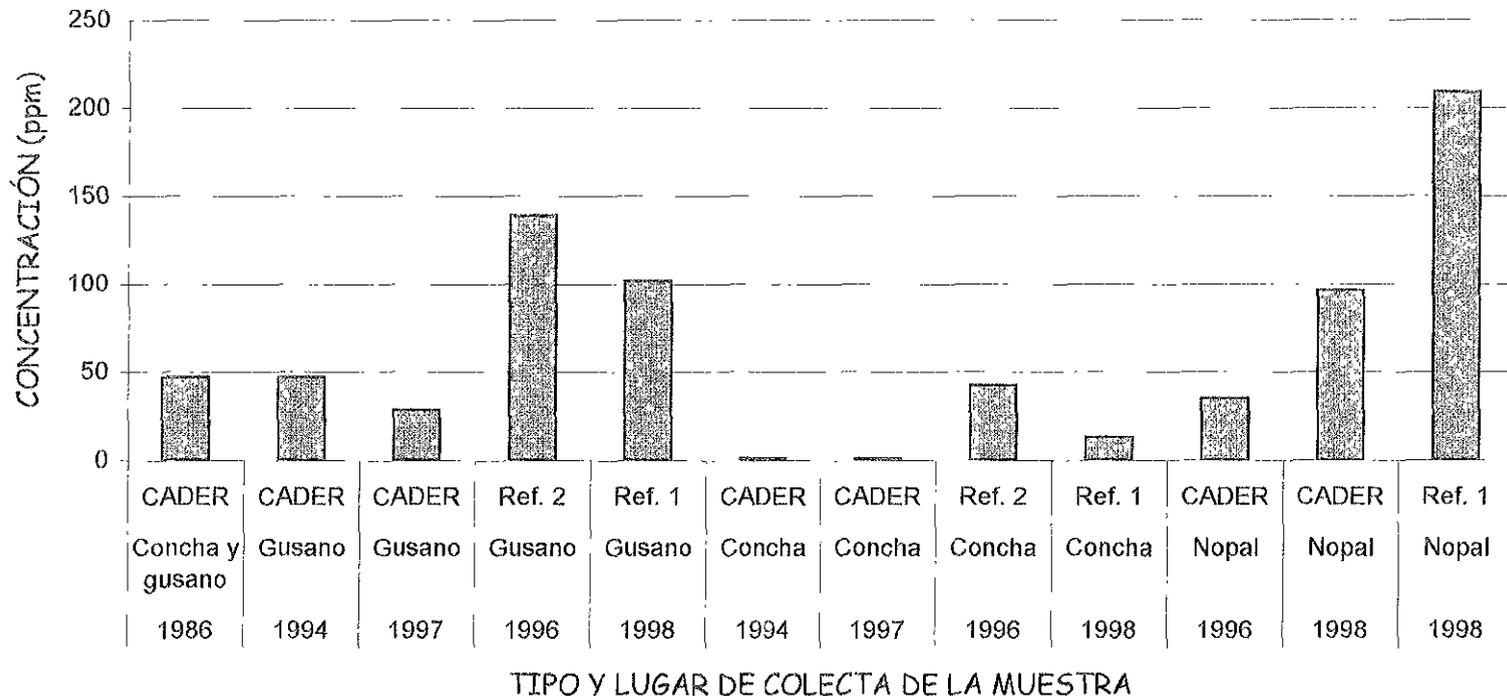
Gráfica IX. CONCENTRACIÓN DE S PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



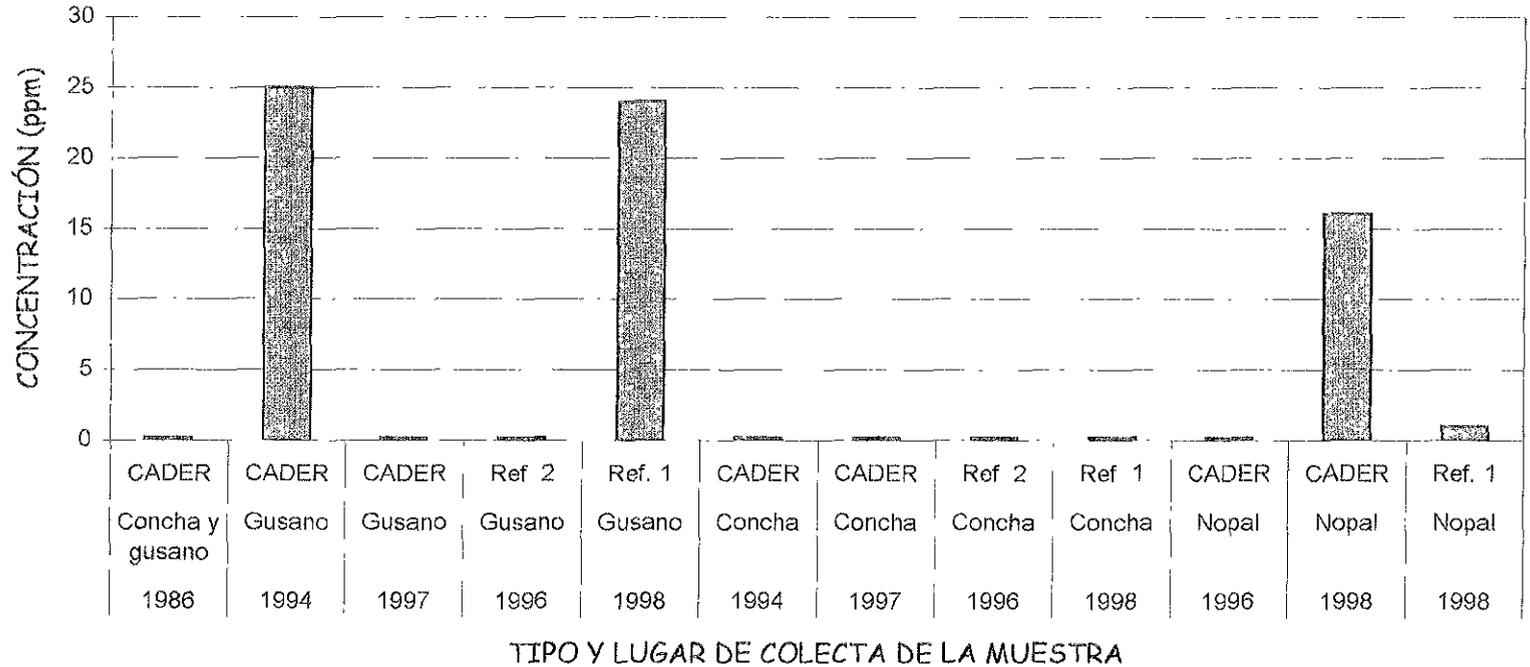
Gráfica X. CONCENTRACIÓN DE CI PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



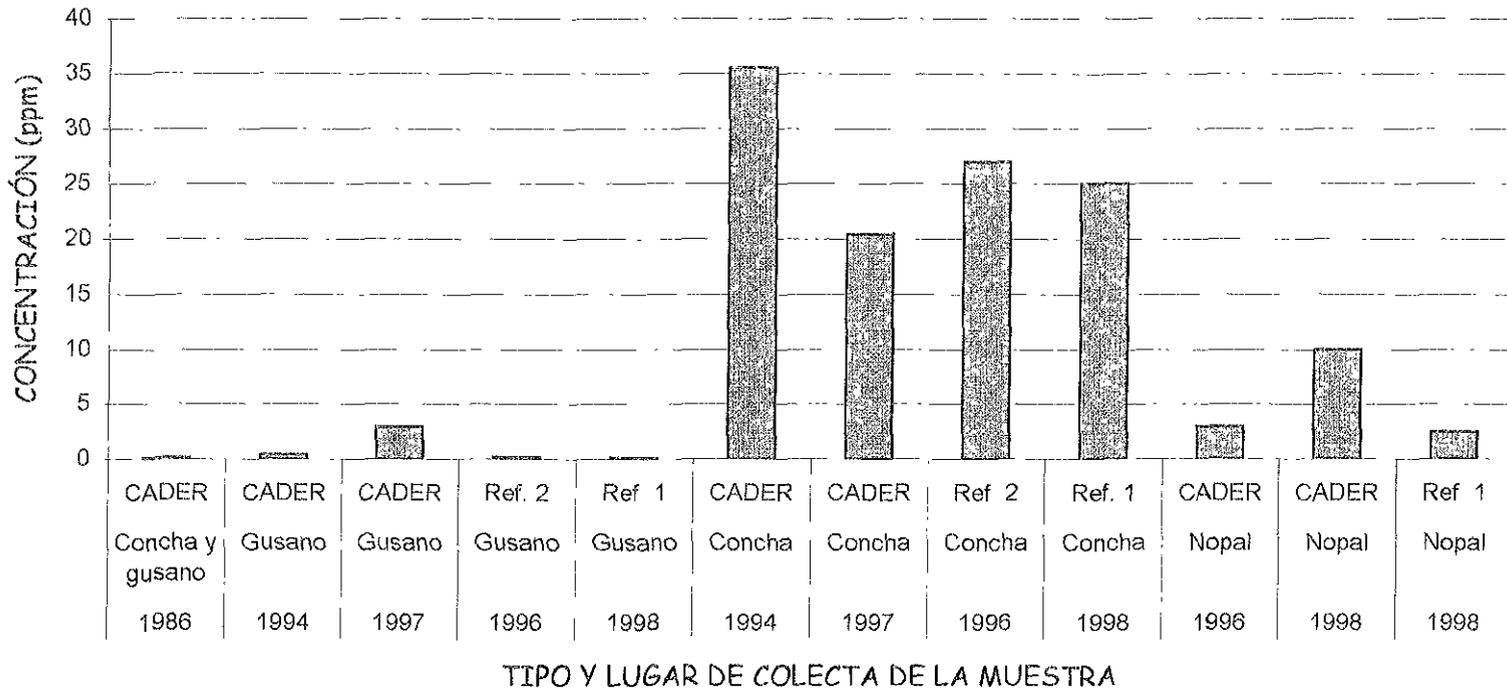
Gráfica XI. CONCENTRACIÓN DE Mn PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



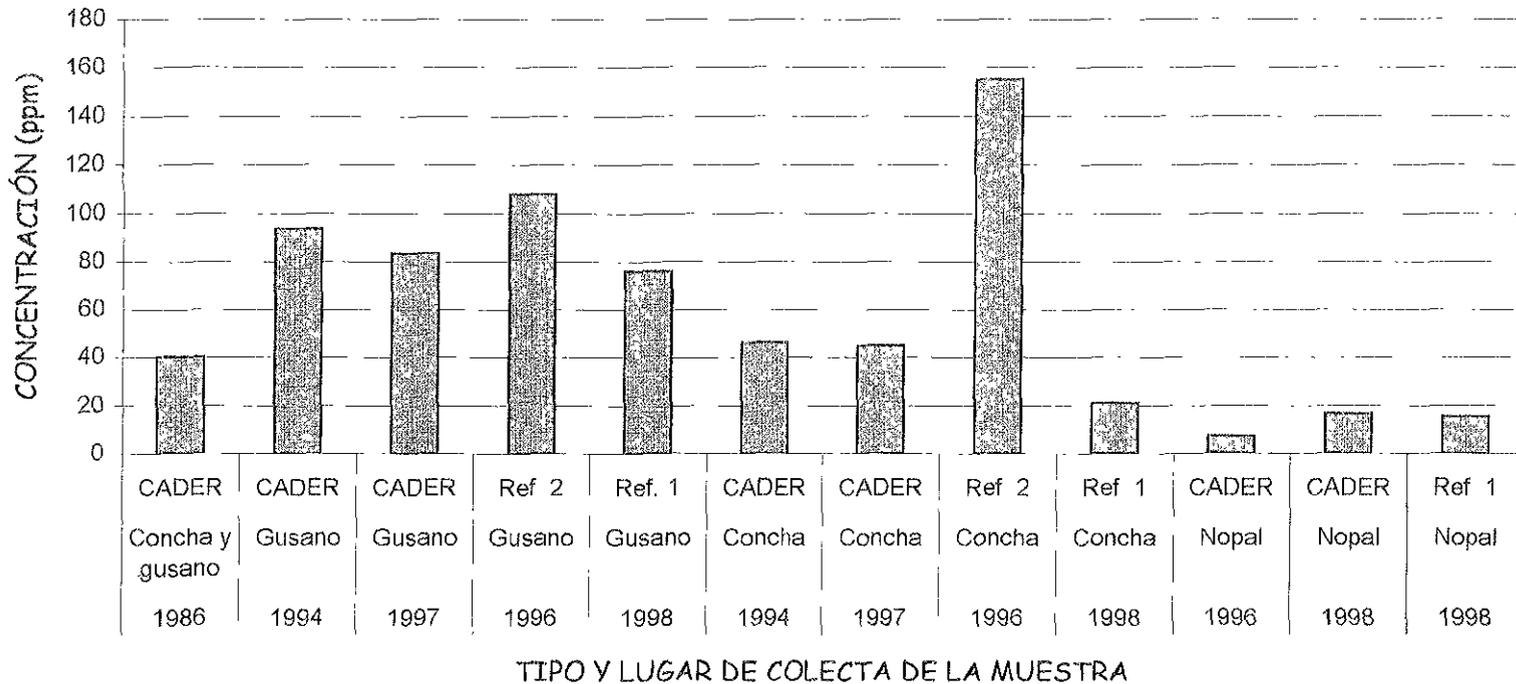
Gráfica XII. CONCENTRACIÓN DE Ti PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



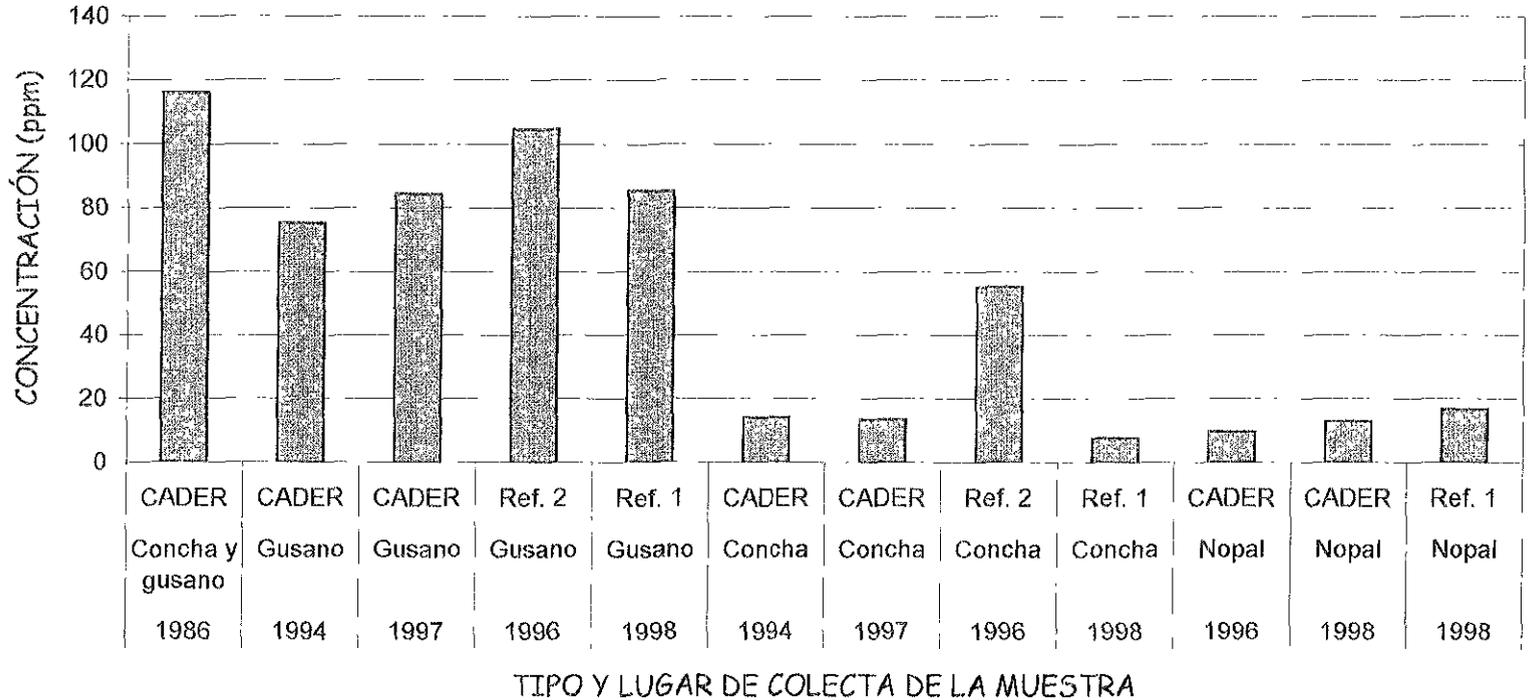
Gráfica XIII. CONCENTRACIÓN DE Ni PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



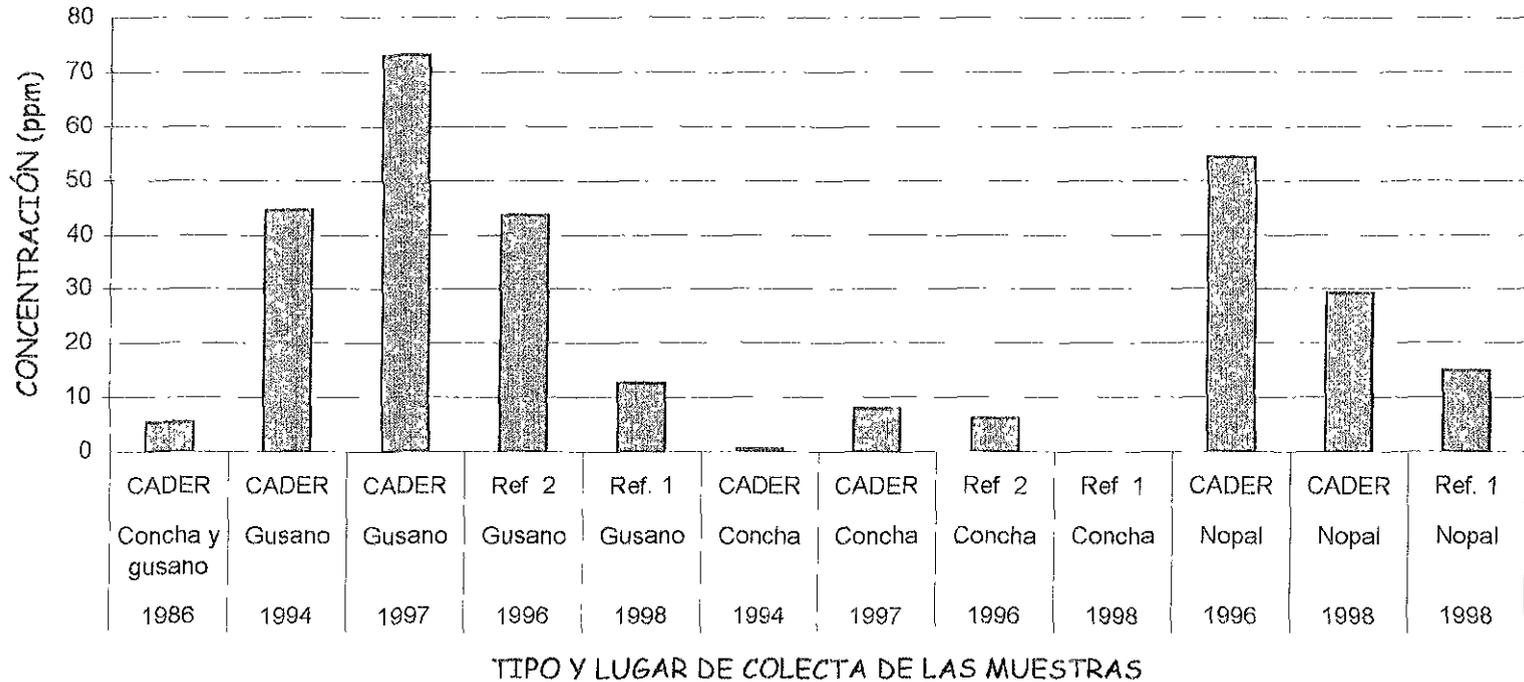
Gráfica XIV. CONCENTRACIÓN DE Cu PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



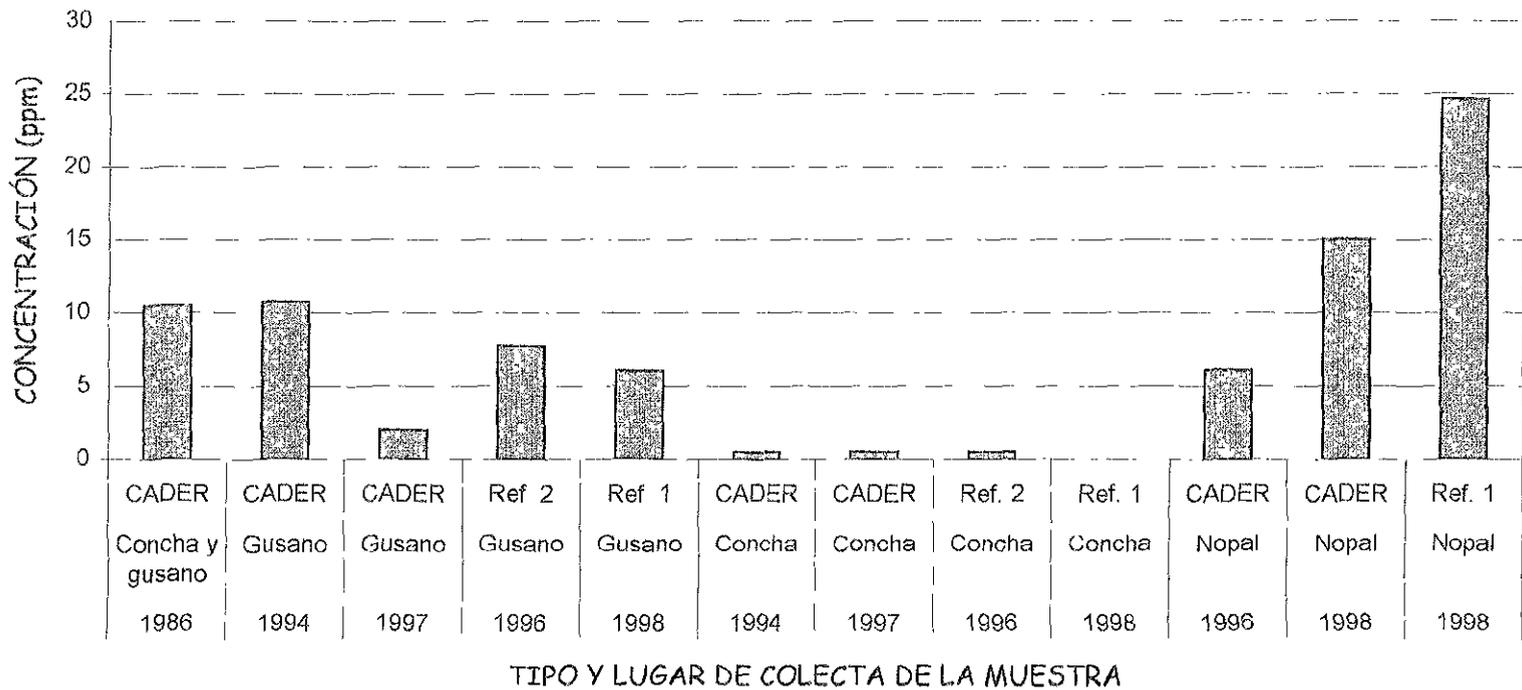
Gráfica XV. CONCENTRACIÓN DE Zn PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



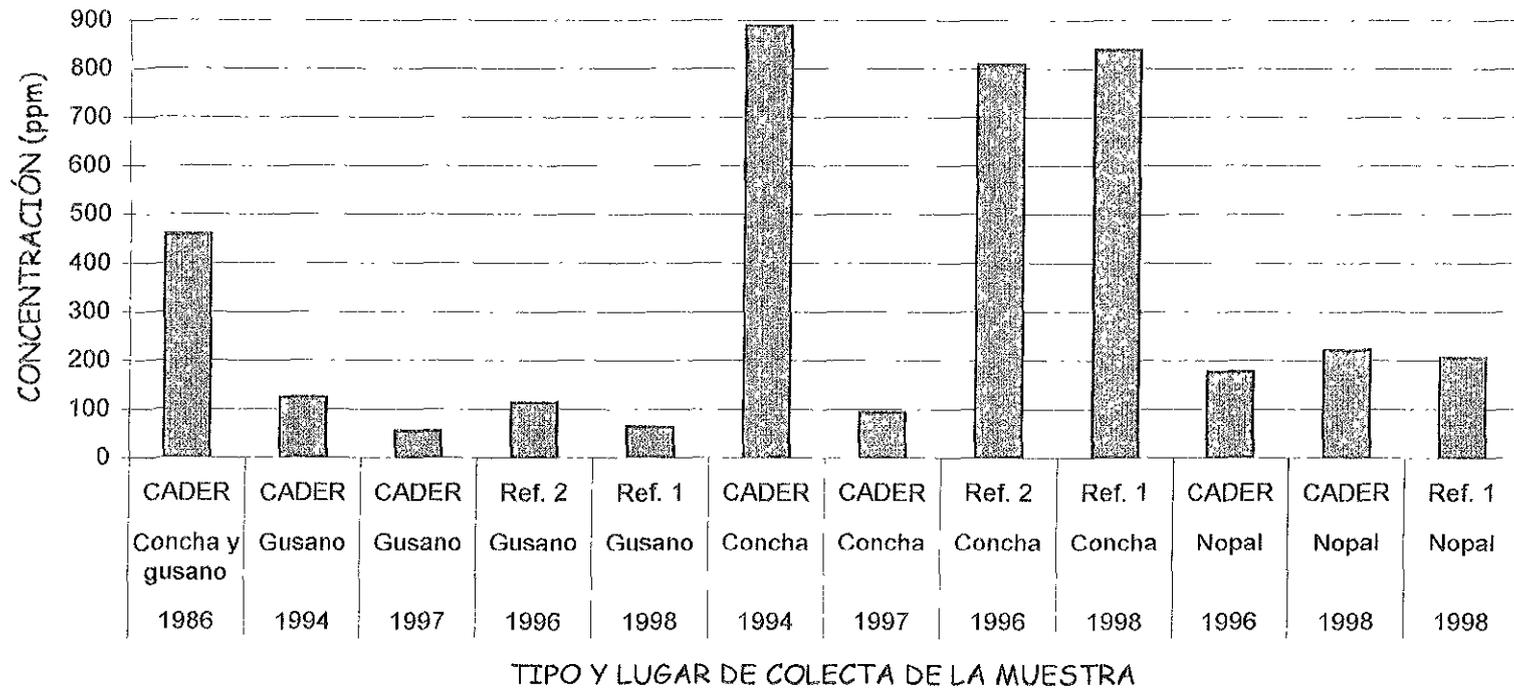
Gráfica XVI. CONCENTRACIÓN DE Br PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



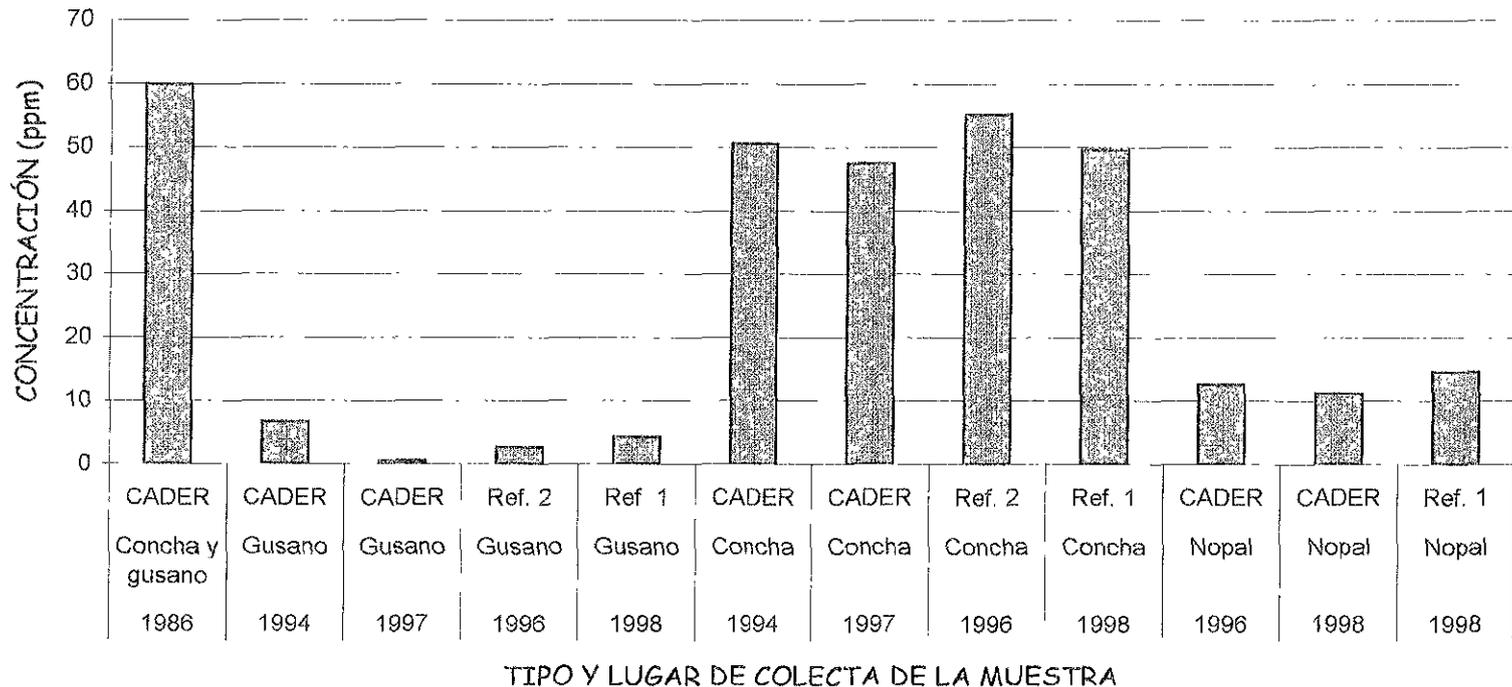
Gráfica XVII. CONCENTRACIÓN DE Rb PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



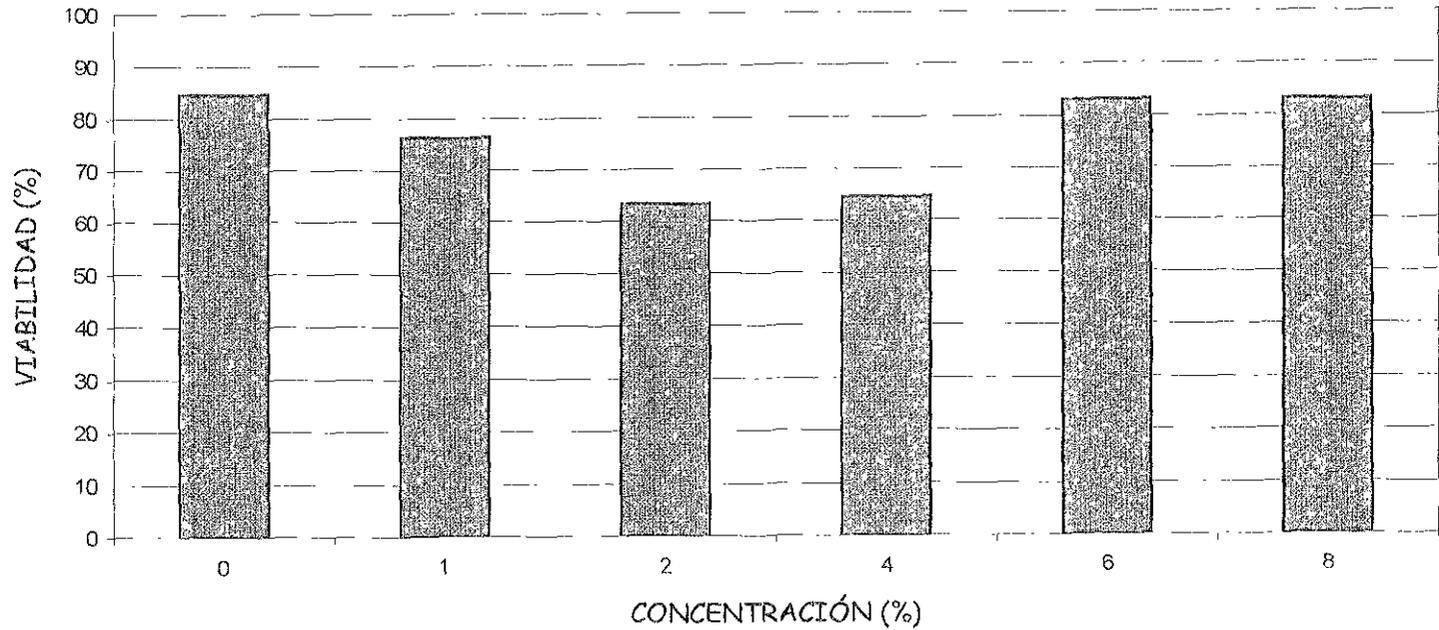
Gráfica XVIII. CONCENTRACIÓN DE Sr PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



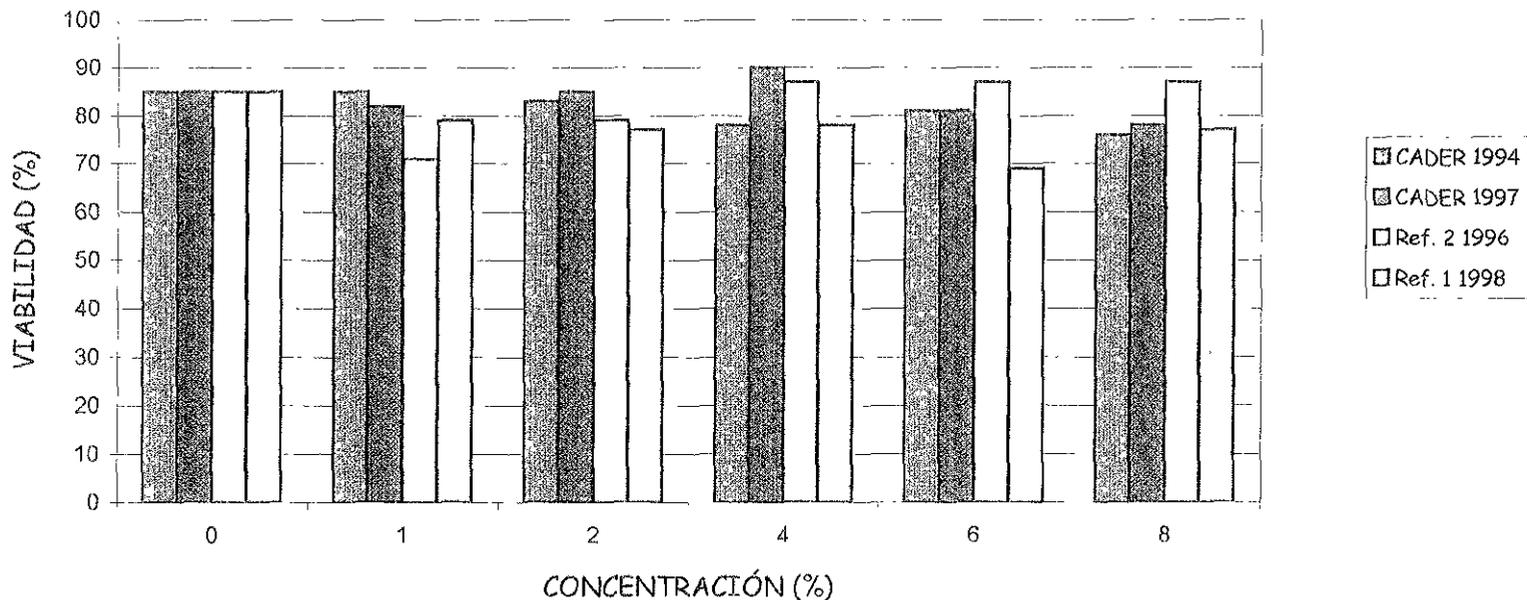
Gráfica XIX. CONCENTRACIÓN DE Pb PRESENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS



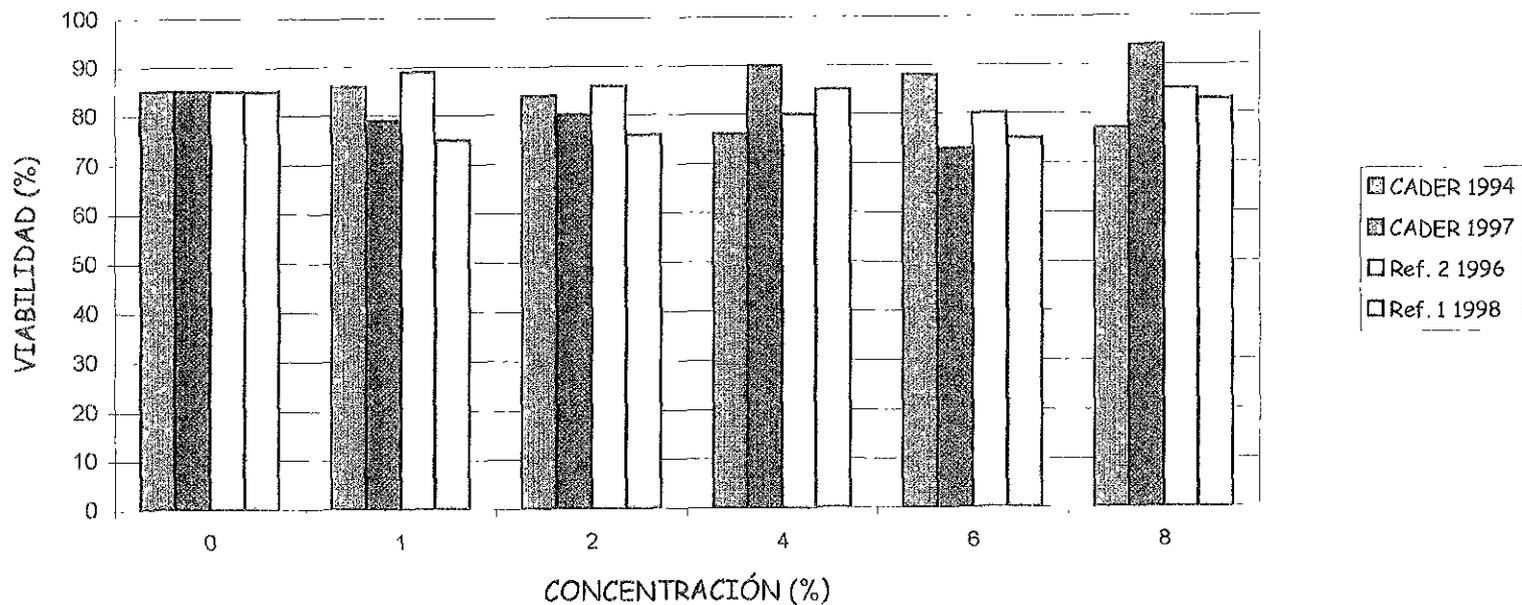
Gráfica XX. VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON LA MUESTRA DE CONCHA Y GUSANO DE CARACOL COLECTADA EN 1986



Gráfica XXI. VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE CONCHA DE CARACOL



Gráfica XXII. VIBILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE GUSANO DE CARACOL



Gráfica XXIII. VIABILIDAD LARVA ADULTO DE LA CEPA OR-R CON MUESTRAS DE NOPAL

