

Afectaciones a la Salud por Efecto de Metales Tóxicos en la Población de Xochitlán, Hidalgo, México

AFFECTATIONS OF HEALTH BY TOXIC METALS IN POPULATION OF XOCHITLÁN, HIDALGO, MEXICO

Dr. Roberto García Monroy¹; Dr. Francisco Prieto García²; Dr. William Scott Monks³; Dra. Griselda Pulido Flores⁴; Armida Zúñiga Estrada⁵

1. Doctor en Ciencias Ambientales por la UAEH, México, Profesor-Investigador.
2. Doctor en Química por la Universidad de Valladolid, España, Profesor-Investigador Titular.
3. Doctor en Biología por la Universidad de Toronto, Canadá, Profesor-Investigador Titular.
4. Doctora en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, México, Profesro-Investigador Titular.
5. Doctora en Ciencias (Microbiología) por la UNAM, México, Profesor-Investigador Titular.

RESUMEN

Determinar niveles de bioacumulación de metales (Cd, Cr, Pb y Al) en tejidos y fluidos corporales de los habitantes de Xochitlán, Estado de Hidalgo, ha sido el objetivo de este estudio. Con vistas a realizar valoraciones de riesgo y probables daños a la salud de sus pobladores, se inició el estudio con una caracterización sociodemográfica, con pobladores de entre seis y 90 años de edad. Como criterio de exclusión se consideró: malformaciones congénitas, padecimientos inmunosupresivos y menos de cinco años de residencia en la localidad. Se presentó una pirámide poblacional invertida; de un total de 1947 habitantes, la población de entre 10 y 19 años ocupa el centro de la pirámide, que adelgaza en los extremos de la vida ($5 > X > 60$ años). Se ha propuesto una metodología, combinada con los lineamientos establecidos por la Agencia Para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR 2000) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA 2005) y adicionando un instrumento de encuesta (anamnesis clínica) para la caracterización de individuos y poblaciones con amplio enfoque clínico. De la interrelación de concentraciones de metales en fluidos y tejidos con aspectos de riesgos ambientales, se podrá decantar un diagnóstico situacional actual, retrospectivo y una visión a futuro sobre el comportamiento de la contaminación y su impacto en factores de salud. La bioacumulación de metales evaluados estuvo presente en todos los fluidos y tejidos de los pobladores seleccionados de entre seis y 90 años de edad. Se ha encontrado relación entre estos resultados y los de estudios previos de acumulación de metales en aguas, suelos y cultivos.

(García R, Prieto F, Scott W, Pulido G, Zúñiga A, 2010. Afectaciones a la Salud por Efecto de Metales Tóxicos en la Población de Xochitlán, Hidalgo, México. Cienc Trab. Jul-Sep; 12 [37]: 362-369).

Descriptores: BIOACUMULACIÓN, METALES/EFFECTOS ADVERSOS; IMPACTOS EN LA SALUD, VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA, MÉXICO.

ABSTRACT

To determine levels of metal bioaccumulation (Cd, Cr, Pb and Al) in weaves and corporal fluids of the inhabitants of Xochitlán, Hidalgo, has been the objective of this study. With a view to realising valuations of risk and probable damages to the health of its settlers, the study with a sociodemographic characterization began, with settlers between six and 90 years of age. As exclusion criterion were considered, congenital malformations, immunosuppressive sufferings and less than five years of residence in the locality. An inverted population pyramid appeared; of a total of 1947 inhabitants, the population between 10 and 19 years occupies the center of the pyramid, that thins in the ends of the life ($5 > X > 60$ years). A methodology, combined with the established by the ATSDR and the EPA has seted out and adding an instrument of survey (clinical anamnesis) for the characterization of individuals and populations with ample clinical approach. Of the interrelation of flowed and woven metal concentrations in, with aspects of environmental risks it will be possible to be poured off a present, retrospective situational diagnosis and a vision to future, on the behavior of the contamination and its impact in health factors. The evaluated metal bioaccumulation was present in all the fluids and weaves of the settlers selected between six and 90 years of age. One has been a relation between these results and those of previous studies of metal accumulation in waters, grounds and cultures.

Descriptors: BIOACCUMULATION, METALS/ADVERSE EFFECTS, IMPACTS ON HEALTH, EPIDEMIOLOGIC SURVEILLANCE; MEXICO.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas; los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo

Correspondencia / Correspondence

Roberto García Monroy
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Centro de Investigaciones Químicas
Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, Ciudad Universitaria. C.P. 42076
Pachuca, Hidalgo, México
Tel.: (52-77) 17172000
e-mails: dr_garciam@yahoo.com.mx • prietog@uaeh.edu.mx
Recibido: 15 de junio de 2010 / Aceptado: 13 de septiembre de 2010

en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes. Sus efectos tóxicos específicos sobre un sistema biológico dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para la función normal de ese sistema. Los metales muestran gran afinidad por grupos sulfhidrilos y, en menor medida, por radicales amino, fosfato, carboxilo, imidazol e hidroxilo, pertenecientes a enzimas y otras proteínas esenciales. Los ácidos nucleicos también resultan afectados por los metales pesados. Éstos ocasionan un efecto genotóxico que puede ser catalogado en mutaciones genéticas, aberraciones cromosómicas, alteraciones en la síntesis y reparación de ácidos nucleicos y transformaciones celulares (Codina 1993).

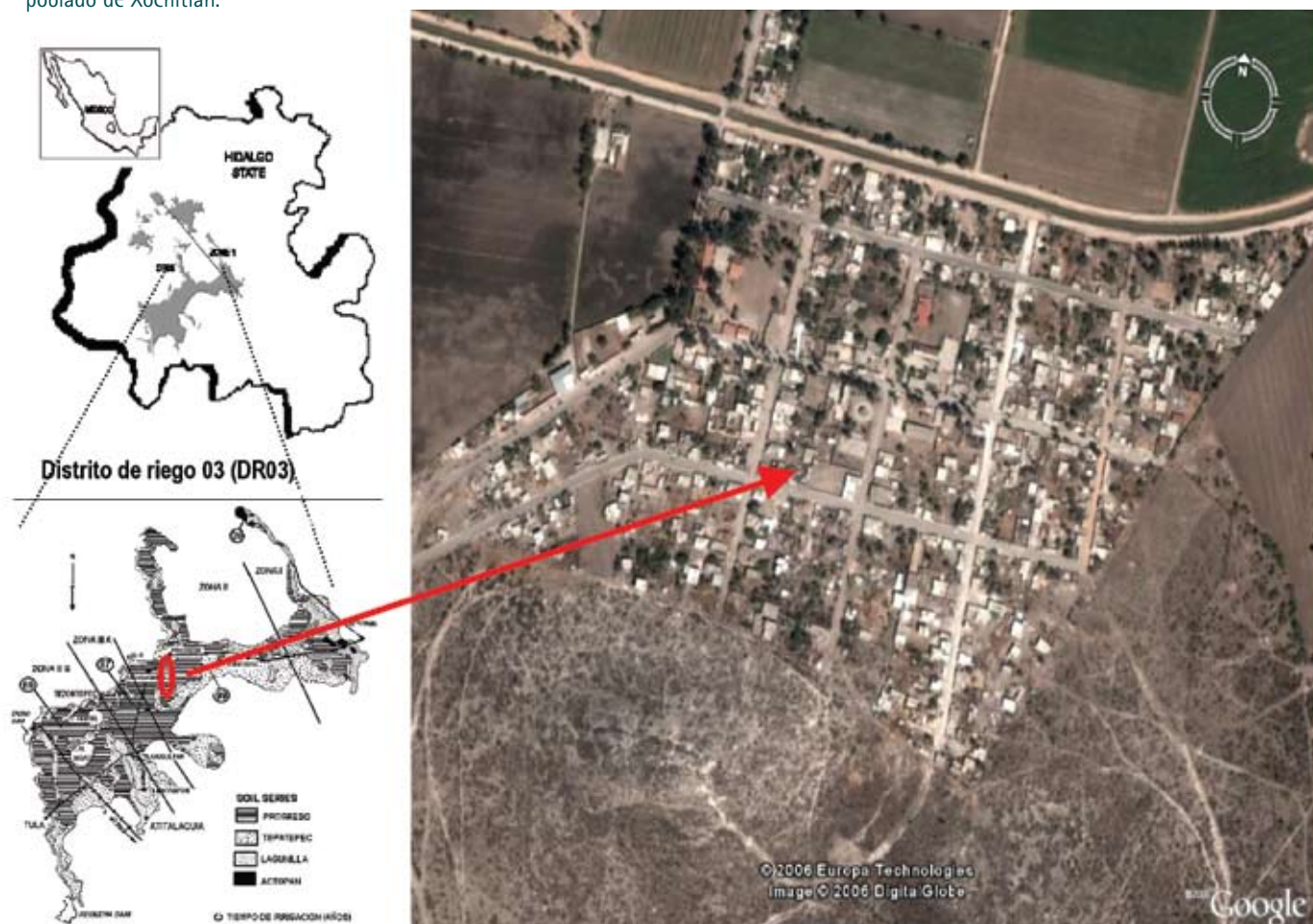
Los metales que tienen el mayor potencial de causar enfermedades son aquellos que se bioacumulan en el cuerpo. Entran en forma de sales disueltas a los sistemas biológicos, se disocian fácilmente en medios acuosos permitiendo su transporte a las membranas biológicas en forma de iones metálicos. La absorción es mayor cuando la ingestión gastro-intestinal ocurre durante el ayuno; además, los metales que se unen fuertemente a los tejidos se eliminan con lentitud (Corey y Galvao 1989a, Corey y Galvao 1989b y Corey y Galvao 1989c). Potencialmente son varios los efectos en la salud de individuos expuestos, pero son dos los que generan más preocupación social: el cáncer y las malformaciones congénitas. Si bien en muchos sitios los contaminantes superan la concentración crítica

para generar cáncer, se ha estimado el valor de dicha concentración para un incremento de un caso de cáncer en un millón de habitantes. Es evidente la enorme dificultad que implica contar con suficiente población para realizar un buen estudio epidemiológico; por lo tanto, "la ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia". En México, los estudios acerca de los efectos sobre la salud en poblaciones expuestas a tóxicos ambientales son mínimos. Los más relevantes son los trabajos sobre plomo (contaminación atmosférica y cerámica vidriada); arsénico (contaminación natural); plaguicidas (exposición ocupacional) y flúor (contaminación natural y exposición ocupacional). Estudios relevantes, pero que no abordan la problemática en toda su magnitud, lo que demuestra precariedad de los estudios en este aspecto (Díaz, 1996).

Más del 75% de la superficie de México está catalogada como semiárida o árida, por lo que el agua residual de algunas ciudades se utiliza para el riego de tierras agrícolas. El distrito de riego 03 (DR03) tiene 48 mil hectáreas que son regadas con aguas residuales o negras. La Ciudad de México desaloja alrededor de 60 m³/s de aguas residuales mediante tres colectores que la conducen hasta el Valle del Mezquital donde irriga 85000 hectáreas de los DR03 y DR1006-8. Uno de los problemas que se suscitan con el riego con aguas residuales es el relacionado con metales pesados, que pueden contaminar suelos, provocar alteraciones en el desarrollo de los productos agropecuarios

Figura 1.

Mapa de la zona de estudio del poblado de Xochitlán, perteneciente al Distrito de Riego 03 (DR03). A la izquierda una vista del DR03. Los tiempos de irrigación con aguas negras para la zona son de un tiempo promedio de 99 años (Prieto et al. 2005). A la derecha una vista ampliada del poblado de Xochitlán.



y, por lo tanto, introducirse en las cadenas alimenticias. Estudios realizados en zonas del DR03 han reportado niveles elevados de plomo, cadmio y cromo en suelos, aguas, cultivos y hatos ganaderos; por lo tanto, es latente la posibilidad de producir afectaciones a la salud en humanos (Lucho et al 2005; Prieto et al. 2005). Caracterizar, evaluar y determinar los niveles de bioacumulación de metales pesados en habitantes de poblaciones aledañas a esta zona de riego, potencialmente afectados por el consumo de productos agropecuarios y agua de la región, resulta de gran utilidad con vistas a realizar valoraciones de riesgo y determinar la magnitud del daño a la salud de sus pobladores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo los permisos y anuencias de los organismos oficiales que norman y sancionan la investigación en seres humanos (Comité de Bioética del Instituto Mexicano del Seguro Social, Delegación Hidalgo; Comisión Estatal de Los Derechos Humanos en Hidalgo, Jurisdicción de Progreso de Obregón de la Secretaría de Salud y Subdelegación Local de Xochitlán).

Se seleccionó la comunidad del DR03, Xochitlán (Figura 1), perteneciente al Municipio Progreso de Obregón; ubicada entre las coordenadas latitud norte a 20° 17' 47" y longitud oeste a 99° 11' 15", a una altitud de 2000 metros sobre el nivel del mar.

Se realizó un estudio de corte transversal en pobladores seleccionados con edades de entre 6 y 90 años, con factores de exposición presentes. El tamaño de la muestra se tomó a partir del criterio de cálculo (Múnch y Ángeles 1998; Tamayo y Tamayo 1998):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{N \times e^2 + Z^2 \times p \times q}$$

donde: n es el tamaño de la muestra a tomar; p la probabilidad a favor; q la probabilidad en contra; Z el nivel de confianza; N como universo o población total y e nivel de error de estimación. Como criterios de exclusión se tomaron en cuenta a pobladores que presentaron malformaciones congénitas, padecimientos inmunodepresivos o tratamientos y con menos de cinco años de residencia en la municipalidad. Se consideró como criterio de eliminación casos que se presentaron cambio de residencia, casos de muerte, negación de la madre a la toma de muestras sanguíneas de los niños y/o de adultos y causas ajenas que ocasionen que los individuos se nieguen a la continuación del estudio, una vez empezado.

El estudio fue planificado en cuatro etapas: Etapa I. Investigación documental; Etapa II. Construcción del escenario para evaluar el riesgo de exposición; Etapa III. Caracterización de la población; y, Etapa IV. Toma de muestras, análisis e interpretación de los resultados. Se aplicó una encuesta que contempló diez apartados (I: Datos de identificación del participante; II: Hábitos y costumbres; III: Antecedentes hereditarios; IV: Antecedentes laborales del entrevistado; V: Antecedentes personales patológicos; VI: Esfera psicológica; VII: Antecedentes gineco-obstétricos; VIII: Antecedentes del escolar; IX: Signos vitales y X: Somatometría). Se procesaron los grupos de encuestas, dirigidas a conformar un criterio de validación para una buena selección de individuos a incorporar al estudio y conformar expedientes de cada uno y su seguimiento posterior. Se evaluó la relación entre los resultados en la determinación de metales (Cd, Cr, Pb) en agua-suelo-cultivos que indican el grado de bioacumulación en las zonas, obtenidos de estudios previos (Domínguez 2002; Lucho et al. 2005; Maples 1990; Prieto et al. 2005; Ramos 1997).

La toma de muestras de sangre se realizó por punción venosa en tubos vacutainer con anticoagulante (heparina 0.2 ml), se refrigeraron en termos para muestras hematológicas para su transporte al laboratorio. Fueron tomadas en condiciones de ayuno de los participantes. Para evaluar los niveles de Cd, Cr y Pb en sangre se tomó como referencia la Norma Oficial Mexicana (México. Secretaría de Salud 2000). Fueron digeridas (2-10 ml de muestra) en horno de microondas modelo Marx 5 con adición de 10 ml de HNO₃ concentrado y según programa del equipo (1200 watt, presión de 150 psi, temperatura de 210 °C durante 10 minutos). Los digestatos, una vez fríos, se aforaron a 50 ml con agua desionizada y reservados para las determinaciones de metales.

La toma de muestra de orina se llevó a cabo bajo la Norma Oficial Mexicana (México. Secretaría de Salud 1995). Las muestras, preferentemente de 24 horas (con restricción de líquidos a partir de la tarde del día anterior), se tomaron en frascos de polietileno conteniendo 0.5 ml de ácido nítrico al 4%v/v. Hasta el momento de efectuar el análisis, las muestras se conservaron refrigeradas. Fueron digeridas (10 ml de muestra) en horno de microondas en condiciones similares a las ya descritas e igualmente aforados con agua desionizada a 50 ml y reservados para las determinaciones de los metales en estudio.

Las muestras de cabello fueron previamente pesadas en rangos entre 0.05 a 0.50 g, en dependencia de la cantidad que se logró obtener por cada individuo. Se llevaron a vasos de teflón del horno de microondas y se les adicionaron 5 ml de HNO₃ y se digestaron según programa (similares condiciones que las descritas). De manera análoga se colectaron las muestras de uñas que fueron cortadas en el momento de la toma de las muestras de cabello. Fueron igualmente procesados por digestión en horno microonda. Se determinó el contenido de Pb, Cd, Cr y Al por espectrofotometría de absorción atómica con llama, en equipo Varian 1300. La exactitud de los métodos de análisis se comprobó mediante la evaluación de muestras de participantes (controles negativos, supuestamente no expuestos a la contaminación por metales) tomadas en otro territorio (Municipio Pachuca). Se valoraron los criterios estadísticos de medias de las réplicas (n=5) y porcentaje de desviación estándar (% DRE), considerando que todos los valores de % DRE < 10 son aceptables.

Basados en la Norma Oficial Mexicana (México. Secretaría de Salud 1993) se realizó la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales. Con posterioridad se realizará un análisis bivariado, con lo que se pretende estructurar un modelo matemático de regresión logística, cuya variable dependiente será el nivel de Pb, Cd, Cr y Al en sangre, uñas, orina y cabellos, que permitirá valorar el grado de riesgo de una población determinada, ya sea la expuesta laboralmente a los agentes como la que por diversos motivos permanecen un tiempo prolongado en la vecindad donde se generan los factores de riesgo y que por ello pueden verse afectados en su salud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo la base de datos sociodemográficos, distribución de la población según censos por edades y sexos, tasa de crecimiento poblacional, natalidad, morbilidad, mortalidad y otros. Presentó una pirámide poblacional invertida con forma de rombo, con una población total de 1947 habitantes, cuya base la ocupan los de 10 a 19 años; la pirámide se va adelgazando hasta hacerse más

pequeña en los extremos de la vida, menores de 5 años y mayores de 60 años. Más de la mitad de la población son mujeres (51.82%) (Tabla 1); el 2.82% (55 personas/año) de la población económicamente activa migra a los Estados Unidos. Su tasa de crecimiento en el periodo agosto 2004-julio 2005 fue de 2.88 por 100 habitantes. La natalidad promedio entre los años 2000-2005 fue de 47 niños nacidos. La tasa de fecundidad expresa que, en promedio, para igual periodo es de 1.54 por 100 mujeres en edad fértil. Se puede decir que se ha incrementado paulatinamente la esperanza de vida; en 1940 fue de 36 años para el hombre y de 39 años para la mujer; para 1993 fue de 64 y 70 años, respectivamente, y para el 2002, 72 y 76 años, respectivamente. Porcentualmente significa incrementos de 76.4% para mujeres y hombres de la población. La esperanza de vida muestra un notable incremento, lo que indudablemente refleja un mejor nivel de salud en el municipio (México. Secretaría de Salud 2005); para 2010 se estimó que se mantendrá entre 74 y 78 años.

Tabla 1.
Pirámide de población de la localidad de Xochitlán.

Rango de edad	Hombres	%	Mujeres	%	Total	%
< 1 año	9	0.46	15	0.77	24	1.23
1 a 4 años	87	4.47	74	3.80	161	8.27
5 a 9 años	109	5.60	107	5.50	216	11.09
10 a 14 años	121	6.21	127	6.52	248	12.74
15 a 19 años	106	5.44	118	6.06	224	11.50
20 a 24 años	83	4.26	98	5.03	181	9.30
25 a 29 años	73	3.75	75	3.85	148	7.60
30 a 34 años	63	3.24	88	4.52	151	7.76
35 a 39 años	68	3.49	70	3.60	138	7.09
40 a 44 años	52	2.67	53	2.72	105	5.39
45 a 49 años	41	2.11	46	2.36	87	4.47
50 a 54 años	30	1.54	39	2.00	69	3.54
55 a 59 años	26	1.34	35	1.80	61	3.13
60 a 64 años	29	1.49	19	0.98	48	2.47
65 a más años	41	2.11	45	2.31	86	4.42
Total	938	48.18	1009	51.82	1947	100.00

Fuente: Micro-diagnóstico de la comunidad de Xochitlán (Secretaría de Salud, 2005).

De acuerdo a los índices de marginación, la comunidad de Xochitlán es considerada de baja marginalidad ya que existe un pobre desarrollo de infraestructura de servicios; sin embargo, cada vez más se incrementan los apoyos para infraestructura de servicios y medios de comunicación.

Las características de las viviendas son diversas; se observó que de un total de 433 viviendas habitadas, el 85.45% de la población cuenta con casa propia, mientras que 7.62% rentan una propiedad y el 5.77% vive en una casa prestada. Además, por el tipo de vivienda se encontró que la mayoría de la población construyó la suya de tipo individual y en manzana; de manera que el 96.77% de la población cuenta con vivienda de tipo individual, el 1.39% cuenta con vivienda semiaislada, el 0.23% tiene vivienda aislada y el 0.46% vive en vecindad; se desconoce el 1.15%. No todas las viviendas cuentan con el mismo tipo de combustible para cocinar: el 97.46% utiliza gas y el 1.39% todavía cocina con leña.

El 100% de las viviendas cuenta con agua potable; se encontró que el 67.21% de la población dispone de agua entubada fuera de la vivienda y el 31.64% restante la dispone dentro de su casa.

Se cuenta con una fuente de abastecimiento de agua, a través de un pozo localizado dentro de la comunidad, que cuenta con 25 m2 de manto de agua y 108 m de profundidad; a su vez, se encuentra conectado a través de tuberías a tres cisternas que se limpian cada seis meses. Existe un total de 7 descargas de agua residual, pero no cuenta con canal de aguas negras ni plantas de tratamiento de aguas residuales. La eliminación de basura en la localidad es un problema de salud pública: se encontró que el 79.21% de la población tira su basura en el camión recolector, el 0.92% la tira a cielo abierto, el 18.48 la quema, el 0.23% la entierra y se desconoce el 1.15%.

Se elaboró un diagnóstico situacional que incluyó el tipo de alimentación de la comunidad. Éste reflejó una baja calidad de nutrimentos, es decir, alimentación que no está balanceada, no es adecuada, no es suficiente y no está variada. Se observó que está influenciada por normas de conductas y costumbres, educación, ingresos monetarios y el número de integrantes de la familia. La mayoría de la población basa su dieta en alimentos derivados del maíz, como son la tortilla, los elotes, el pan, sopas de pasta, alimentos derivados de la leche como el queso, crema, algunos vegetales que se cosechan en el campo como flor de calabaza, col, zanahorias, cebolla, betabel, jicama, papa y chile. Por lo menos dos veces a la semana consumen carne, ya sea de pollo o carne roja e incluyen el huevo dos veces por semana o más, ya que la mayoría de los pobladores cría aves. En cuanto a los frutos, no todos tienen presupuesto para comerlos todos los días, por lo que los consumen una vez a la semana y de un solo tipo, ya sea mango, sandía, melón, piña o plátano. Como leguminosas se consumen lentejas en poca cantidad, al igual que habas. Los frijoles a cualquier hora del día o el arroz que tampoco puede faltar en una comida. El pulque o la cerveza, de acuerdo a la costumbre de cada familia, son las bebidas más consumidas. Por lo regular la mayoría de la población realiza mínimo dos a tres comidas al día y en el desayuno y la cena se acostumbra sólo pan y leche. En el periodo enero-julio 2006 se encontró que la tasa de morbilidad es del 49.37%. En la Tabla 2 se detallan, además, las 10 principales causas de morbilidad general que afectan la salud en la comunidad de Xochitlán.

Se construyó el escenario para la evaluación de riesgos. Las encuestas realizadas y procesadas fueron en total 329 (Tabla 3), lo que representa el 18.7% de la población de Xochitlán. Se

Tabla 2.
Morbilidad general por edades. Diez principales causas (enero-julio 2006) en Xochitlán.

CAUSA	TOTAL	<1	1-4	5-14	15-49	50-64	>65	TASA
IRA	549	51	168	158	132	25	15	28.19
Caries dental	190	0	13	160	14	3	0	9.75
Gingivitis	63	0	0	12	39	10	2	3.23
IVU	38	0	1	7	26	2	2	1.95
Enfermedades intestinales	32	4	11	12	4	1	0	1.64
Gastritis	31	0	0	2	20	4	5	1.59
Conjuntivitis	24	7	7	5	3	2	0	1.23
Varicela	15	1	3	8	1	0	0	0.77
Heridas	11	0	2	4	4	1	0	0.56
Mordeduras de perro	9	0	3	2	3	1	0	0.46
TOTAL	962	63	208	370	246	49	24	49.37

IRA: infecciones respiratorias agudas; IVU: infecciones vías urinarias.

Fuente: SUIVE 2005 (TASA POR 100 HABITANTES) (Secretaría de Salud, 2005).

evaluó el impacto a la salud por Pb, Cd, Cr y Al en los pobladores de la localidad de Xochitlán, a partir de un estudio transversal aplicando una propuesta de metodología clínico-ambiental basada en la de la Agencia Para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR 2000).

Se analizaron los diagnósticos de salud de 3 años consecutivos (2003 al 2005) no encontrándose registros de diagnósticos de padecimientos donde se establezca la etiología o comorbilidad por metales pesados. Para tal efecto se analizaron los reportes de morbi-mortalidad anual, así como los indicadores de salud y dinámica poblacional como la tasa de natalidad, esperanza de vida al nacer, tasa de fecundidad, tasa de crecimiento poblacional, así como el fenómeno migratorio. Se compararon estos rubros con los de la media nacional y con los resultados de la encuesta clínica, no detectándose diferencias significativas. En la evaluación del riesgo de las rutas o vías de exposición (segunda fase), se consideró el agua para beber, el consumo de cultivos de la localidad, la actividad laboral agrícola y la cercanía con los canales de riego. La investigación aportó que los pobladores cuentan con agua potable domiciliaria proveniente de pozo, cuyo monitoreo trimestral está a cargo de la Comisión Nacional del Agua y la Comisión de Agua y Alcantarillado del Municipio de Progreso (CNA y CAAMPAO). El sector salud prohíbe por norma el cultivo de hortalizas regadas con aguas residuales; la mayoría de los cultivos de la región están catalogadas como forrajeros y son enviados en su mayoría a otros lugares para su comercialización y consumo. Las personas que se dedican a las actividades agrícolas representan un número reducido por dos causas: la dinámica poblacional manifiesta una gran migración por escasas fuentes de empleo; y, la otra, por tecnificación agrícola que desplaza en gran medida la mano de obra.

Al cotejar esta fase con los resultados de la encuesta, se obtuvo como resultado que es imperiosa la necesidad de realizar un monitoreo más exhaustivo de agua potable considerando épocas del año, sobre todo en periodo de lluvias y de temporada de

Tabla 3.
Resultados de encuestas realizadas en el Municipio de Xochitlán.

GRUPO	Rangos edades	Hombres N	Mujeres N	Total N	Total N grupo	Muestra Total "n"	Hombres "n"	Mujeres "n"
Grupo A	5-9	109	107	216	688	128	62	66
	10-14	121	127	248				
	15-19	106	118	224				
	TOTAL	336	352	688				
Grupo B	20-24	83	98	181	480	90	35	55
	25-29	73	75	148				
	30-34	63	88	151				
	TOTAL	219	261	480				
Grupo C	35-39	68	70	138	330	62	29	33
	40-44	52	53	105				
	45-49	41	46	87				
	TOTAL	161	169	330				
Grupo D	50-54	30	39	69	261	49	21	28
	55-59	26	35	61				
	>60	70	64	131				
	TOTAL	126	138	261				
Gran total		842	920	1762	1762	329	147	182
%		47.8	52.2	100	100	18.7	17.5	19.8

N = Tamaño de la población; n = tamaño de la muestra.

riego. Existen cultivos de hortalizas regadas con aguas negras, así como elevado consumo de vegetales silvestres, a pesar de la prohibición del sector salud y agrícola, lo que se traduce como una vía de riesgo. Se considera que los pobladores estudiados viven en lugares o áreas aledañas a los canales de riego, por lo que la contaminación por adyacencia y por vía aérea es muy factible.

En la tercera fase se caracterizó a la población aplicando el instrumento de encuesta. La encuesta –constituida en 10 apartados y 130 variables cualitativas y cuantitativas– fue aplicada a tres agrupaciones dentro de la misma población participante, denominadas “población general”, “edad escolar” y “mujeres”. Se encuestó y caracterizó a una población de 275 participantes, cuyo grupo de edades comprendió desde los 6 años a 65 y más, agrupados en 4 rangos denominados: A, de 6 a 17; B de 18 a 45; C de 46 a 60 y D de 65 y más; participaron además hombres y mujeres de la localidad de Xochitlán y tres comunidades circunvecinas (El Moreno, La Ranchería y La Mora).

Se analizó el comportamiento de bioacumulación de los metales pesados tanto en los cuatro rangos de edad como en los medios urbano, periurbano, suburbano y rural. Los valores encontrados como Límites de Tolerancia Biológica (LTB) y reportados en la bibliografía (Corey y Galvao 1989a; Corey y Galvao 1989b; Corey y Galvao 1989c), se recogen en el Tabla 4; valores a partir de los cuales se realizó la comparación con los resultados obtenidos.

Tabla 4.

Valores reportados como Límites de Tolerancia Biológica (LTB) para metales en seres humanos.

METALES PLOMO	LTB
Pb orina	150 mg/g de creatinina
Pb sangre	600 mg/L
Pb cabello	70 mg/kg de cabello
Pb uñas	NR
METALES CADMIO	LTB
Cd orina	10 mg/g de creatinina
Cd sangre	500 mg/L
Cd cabello	200 mg/kg de cabello
Cd uñas	NR
METALES CROMO	LTB
Cr orina	30 mg/g de creatinina
Cr sangre	200 mg/L
Cr cabello	NR
Cr uñas	NR
METALES ALUMINO	LTB
Al orina	150 mg/g de creatinina
Al sangre	1000 mg/L
Al cabello	NR
Al uñas	NR

La correspondientes curvas de calibrado para los análisis por espectroscopía se muestran en la Figura 2. Para todos los casos se obtuvo una regresión de linealidad superior a 0.99. Los valores promedios encontrados por cada uno de los metales evaluados en los distintos fluidos y tejidos corporales muestreados se observan en la Tabla 5.

Con respecto a la bioacumulación de los metales evaluados, destaca que todos ellos estuvieron presentes (o al menos detectables y medibles) en todos los fluidos y tejidos valorados. Esto puede estar asociado a la proximidad de los pobladores a los canales de riego de aguas negras y a la relativa cercanía al río Tula, área de mayor contaminación.

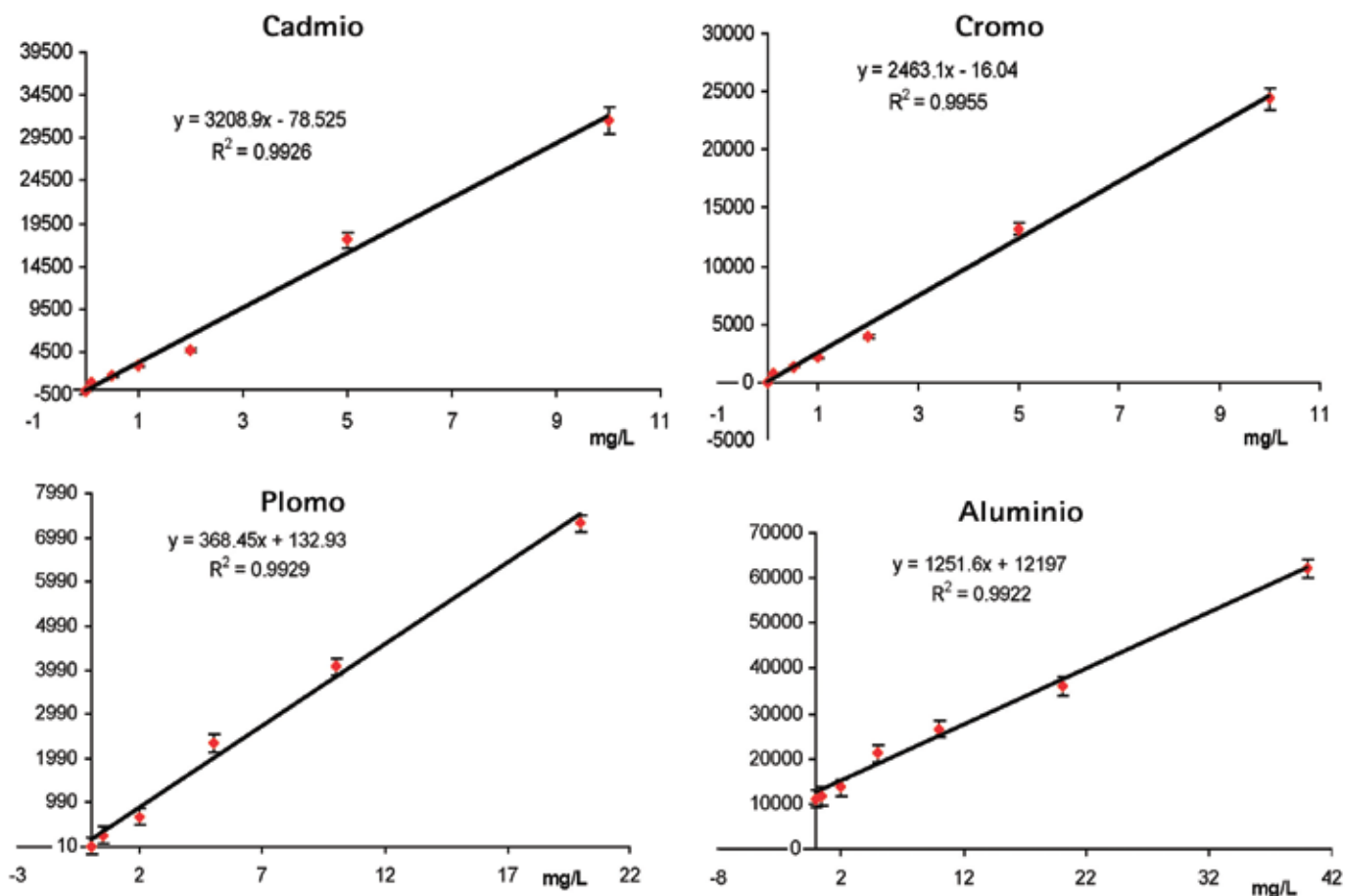
Comparados estos resultados con los obtenidos en muestras de

fluidos y tejidos de los testigos (pobladores de otra zona no contaminada), se puede decir que resultan de 5 a 20 veces más elevadas las concentraciones de Cd y Cr en fluidos de sangre y orina y de 2 a 5 veces más elevadas en tejidos de uñas y cabellos. Esto hace evidente y demuestra que existe un riesgo potencial de salud en las personas que habitan estas zonas contaminadas, ya sea por el uso y reuso de las aguas negras, como por otros factores de tipo antropogénico que posibilitan la contaminación por metales de estos medios. Esto se corresponde también con lo señalado por algunos autores (Rinehart y Gad, 1986) que indican que el Cr, por ejemplo, está presente en cabellos de niños y jóvenes como una referencia a la fortaleza de los mismos. Por otro lado, no se puede definir que estas concentraciones encontradas de Cr resulten elevadas o dañinas, toda vez que se conoce también que el cromo es un mineral indispensable sobre todo para aquellas personas que padecen de diabetes o arteriosclerosis, así como de elevadas cifras de triglicéridos y colesterol (Sctrick 1992). No necesariamente es un indicativo de contaminación por este metal. Los resultados de metales en orina se expresan en mg del metal/g de creatinina; en saliva se expresan en mg de metal/L de fluido; y, para cabellos y uñas, se expresan en mg de metal/kg de tejido. Se ha reportado, además, que las personas que viven cerca de sitios de desechos donde hay Cr pueden estar expuestas a cantidades ambientales más altas al respirar aire, tocar tierra o comer

Tabla 5. Resultados promedios encontrados por cada metal evaluado en los fluidos y tejidos corporales muestreados en pobladores del Municipio de Xochitlán.

UÑAS (µg/kg)	CADMIO	CROMO	PLOMO	ALUMINIO
Media	4.95	0.032	0.037	0.133
Máximo	7.09	0.073	0.082	0.318
Mínimo	< 0.024	< 0.002	< 0.002	< 0.009
Des Est	0.01	0.03	0.07	0.46
n	244	244	244	244
SANGRE (µg/L)				
Media	1.18	12.05	4.76	31.31
Máximo	6.45	81.00	44.00	210.00
Mínimo	< 0.024	< 0.002	< 0.002	< .009
Des Est	0.27	0.28	0.11	0.38
n	253	253	253	253
ORINA (µg/g de creatinina)				
Media	4.55	1.79	< 0.002	11.16
Máximo	16.55	6.55	0.36	67.27
Mínimo	< 0.024	< 0.002	< 0.002	< 0.009
Des Est	0.18	0.02	<0.002	0.21
n	237	237	237	237
CABELLO (µg/kg)				
Media	2.99	43.56	0.27	3.88
Máximo	3.18	71.00	1.59	33.00
Mínimo	0.03	7.00	< 0.002	< 0.009
Des Est	0.16	0.25	0.40	0.39
n	240	240	240	240

Figura 2. Gráficos de calibración para las determinaciones de metales (Cd, Cr, Pb y Al) por espectroscopía de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP).



alimentos contaminados con partículas de polvo o tierra (ATSDR, 2000; Rinehart y Gad 1986; US. EPA 2005). Por ejemplo, niños de cinco años de edad o menos que viven en áreas contaminadas tienen niveles de Cr más altos en la orina o en saliva que los adultos y niños que viven fuera de estas áreas. Muy pocos estudios han investigado cómo el Cr puede afectar a los niños y aunque se sabe que los niños necesitan pequeñas cantidades de Cr(III) para mantener un nivel de crecimiento y desarrollo normal, es probable que los efectos observados en niños expuestos a altas cantidades de Cr sean similares a los observados en adultos. No se sabe con gran certeza si los niños difieren de los adultos en su susceptibilidad al Cr. Con referencia a los niveles de Cr en uñas, no se encontraron diferencias significativas relativamente importantes con el grupo de control o los testigos. Se puede señalar que era de esperar que se encontraran valores más elevados en la zona de estudio por tratarse de un área contaminada.

Sin embargo, la presencia de Cd en orina puede estar asociada a una contaminación por exposición tanto reciente como pasada (González et al. 1997; Rinehart y Gad 1986); aunque debe señalarse que los valores encontrados como promedios no son elevados o al menos mayores que los establecidos como LTB (> 10 mg/g creatinina); sólo se encontraron dos casos de la zona rural con valores excedidos (12,42 y 16,55 mg/g creatinina). Estos dos casos serán monitoreados de forma sistemática y como parte de seguimiento de este trabajo.

Sobre los resultados de Cd se puede decir que los niveles en sangre indican exposición reciente a Cd; por su parte, los niveles en la orina indican tanto exposición reciente como pasada. Los exámenes de Cd en orina pueden detectar, incluso, daño a los riñones. Por otra parte el Cd no pasa fácilmente de la mujer embarazada al feto, aunque una cierta porción puede cruzar la placenta y además puede llegar a encontrarse en la leche materna. En crías de animales expuestos a altos niveles de Cd durante la preñez se observaron cambios de comportamiento y en la capacidad de aprendizaje. El Cd también puede perjudicar el peso al nacimiento y el esqueleto de animales en desarrollo (Rinehart y Gad 1986). Aunque nada de esto ha sido evaluado en seres humanos, este estudio puede sentar bases para los inicios de este tipo de evaluaciones en México. Se ha reportado los inicios de un estudio similar en niños de 3 a 11 años, que habitan las proximidades del río Pilcomayo en Bolivia (Secretaría de Salud, 2005).

Los resultados de Cd en orina presentaron los valores máximos más elevados, aunque debe señalarse que en sangre y uñas también se presentaron casos de máximos relativamente elevados. Según algunos autores (González et al. 1997; Lucho et al. 2005; Prieto et al. 2005), la cantidad promedio de Cd que se acumula anualmente en el suelo de la región oscila entre 384 y 640 g/ha, consideradas estas cantidades como una tasa de acumulación alta, debida a la antigüedad en el uso del riego con aguas negras (alrededor de cien años). Ésta puede ser la probable causa de mayor incidencia en los niveles encontrados, en función de que estos autores señalan una alta movilidad de las especies de Cd de las aguas al suelo y cultivos. Se asume que estos niveles encontrados en fluidos y tejidos corporales debe ser de primordial atención y

monitoreo sistemático para diagnósticos de pacientes con trastornos renales en edades tempranas.

Con respecto a los niveles de Pb encontrados debe indicarse que sólo fue apreciado como bioacumulado en sangre. Es importante destacar también que los niveles de este elemento en tejidos de cabellos y uñas no eran de esperarse, lo que resulta similar a lo encontrado para el Al, sin que exista una correlación que explique esto. Es interesante destacar que algunos tintes para oscurecer los cabellos suelen contener Pb, y aunque esto puede ser una posibilidad potencial de su presencia, se debe señalar que en las encuestas se tuvo en consideración que los participantes no hubieran utilizado tintes o tratamientos para cabellos, al menos dos meses anteriores a la toma de muestras.

La intoxicación por Pb puede llegar a provocar la muerte. Recientemente se pudo conocer (Agencia EFE, El Universal, Viena, 29 de agosto de 2007), que el Pb encontrado en los cabellos de Beethoven provenía de las medicinas que tomaba para tratar su pulmonía y que ésta fue en parte, causa de su muerte. El estudio fue realizado por el médico forense vienés Christian Reiter en cooperación con la Universidad de Edafología de Viena. Los cabellos constituyen una especie de regla en el tiempo, pues permiten una visión médica de los últimos 400 días de su vida. Así, entre otras cosas, se pudo determinar que la intoxicación con plomo comenzó 111 días antes de la fecha de su fallecimiento en Viena, el 26 de marzo de 1827.

Se ha reportado que 1 de cada 9 niños norteamericanos menores de 6 años muestra tasas elevadas de Pb en el organismo (Secretaría de Salud, 2005). En Francia, un estudio realizado puso en evidencia que durante el embarazo los bebés no están a salvo de una eventual intoxicación por Pb. Se hizo un seguimiento de estos niños hasta su escolarización y se pudo demostrar una correlación entre el nivel de Pb en el cabello cuando nacieron y el retraso en la escolarización con respecto a quienes cuyo nivel de intoxicación era bajo. Esto fue resultado de un estudio del INSERM, septiembre 1992, sobre la dosis de Pb en los cabellos de 110 mujeres y sus bebés (Strick, 1992).

Los valores de Al que se encontraron fueron absolutamente normales y dentro de niveles permisibles (Tabla 1) y comparables con los de los controles negativos (grupo control). Ligeramente superiores a este último grupo, pero lo más resaltante de estos valores es que los niveles encontrados en niños resultaron mayores que en adultos. Como dato interesante sólo fue encontrado en uñas, principalmente en las del sexo masculino.

De manera general, se ha podido encontrar una relación entre los resultados obtenidos en estudios previos de acumulación de metales en aguas, suelos y cultivos con los niveles de metales (Cd, Cr y Pb, no así con el Al) que se han encontrado en fluidos corporales y tejidos en pobladores de Xochitlán, Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo. De esta manera, se podrán establecer criterios de vigilancia epidemiológica y ambiental para la zona y dar seguimiento sistemático a patologías (por ejemplo, renales y retrasos escolares, entre otras). El tratamiento de eliminación de metales pesados normalmente involucra la eliminación de la fuente de metal pesado o el tratamiento de los pacientes con agentes quelantes.

REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2000. *Reseña Toxicológica de los Cromo*. Atlanta: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Servicio de Salud Pública.
- Codina M. 1993. *Arch. Environ Contam Toxicol.* 25: 250-254.
- Corey G, Galvao L. 1989a. Serie vigilancia 4: cadmio. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- . Galvao L. 1989b. Serie vigilancia 5: cromo. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- . Galvao L. 1989c. Serie vigilancia 8: plomo. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- Díaz F. 1996. Los residuos peligrosos en México: evaluación del riesgo para la salud. *Salud Pública Méx.* 38: 280-291.
- Domínguez JM. 2002. Determinación de metales pesados en cultivos de riego sistemático en el Distrito de Riego 03 (DR03) del Valle del Mezquital [Tesis de Licenciatura]. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- González M, Banderas JA, Raya C, Báez A, Belmont R. 1997. Cuantificación de plomo, cadmio y cromo mediante sialoquímica. *Salud Pública Méx.* 39: 179-186.
- Lucho CA, Prieto F, Del Razo L M, Rodríguez R, Poggi H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agric Ecosyst Environ.* 108: 57-71.
- Maples, Vermeersch Mireya. 1990. Antecedentes físicos, históricos y socioeconómicos del Distrito de Desarrollo Rural 063, Estado de Hidalgo. *Memorias del 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo*. México: UNAM.
- Múnch, L, Ángeles E. 1998. *Métodos y técnicas de investigación*. 2ª ed. México: Trillas.
- México. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-048-SSAI-1993, que establece el Método Normalizado para la Evaluación de Riesgos a la Salud. México: Secretaría de Salud.
- . 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-136-SSAI-1995, que establece las especificaciones sanitarias de las bolsas para la recolección de orina. México: Secretaría de Salud.
- . 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSAI-2000, Salud Ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. México: Secretaría de Salud.
- . 2005. *Microdiagnóstico de Salud*. Sistemas Integral der Salud Estatal. México: SISPA, SUIVE.
- Prieto García F, Lucho CA, Poggi H, Álvarez M, Barrado E. 2005. Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del distrito de riego 03, Valle de Mezquital, Hidalgo, México. *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Argentina. 83(6): 96-102.
- Ramos LD. 1997. Determinación de niveles sanguíneos de plomo, en la población humana residente en el margen noroeste del Lago de Yojoa. Tegucigalpa, Honduras: CESCO.
- Rinehart WE, Gad SC. 1986. Current concepts in occupational health: metals-chromium. *Am Ind Hyg Assoc J.* 47(11): 696-699.
- Setrick L. 1992. *L'oligothérapie exactement*. France: Ed. Roger Jollois.
- Tamayo R, Tamayo, M. 1998. *El proceso de la investigación científica*. 3ª ed. México: Ed. Limusa.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2005. *Supplemental guidance for assessing susceptibility from early-life exposure to carcinogens*. Washington, DC: Risk Assessment Forum, Environmental Protection Agency.