

Evaluación de riesgo sistémico y niveles de metahemoglobina en niños que consumen agua contaminada por nitratos

Calleros, E. Y.¹, Alarcón, M. T.², Pérez, R.¹, Cueto, J. A.³, Moran J.⁴, Sanín, L. H.⁵

Fecha de recepción: 29 de agosto de 2012 – Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

RESUMEN

La Comarca Lagunera es considerada la cuenca lechera más importante del norte del país y ha tenido que fertilizar los campos con sustancias nitrogenadas para cubrir la demanda de alimento forrajero para el ganado vacuno contaminando el acuífero de Cd. Juárez, Dgo., que es la reserva hidrológica a corto plazo, ya que el acuífero principal se encuentra contaminado por Arsénico. El objetivo de éste trabajo fue evaluar el riesgo sistémico y los niveles de metahemoglobina en niños de 1 a 12 años de edad que consumen agua contaminada con N-NO₃. Se muestrearon 11 pozos de consumo humano y 51 agrícolas, se formaron tres escenarios de exposición: en agua de consumo humano, bajo de 0-3, medio 3.1-11.8 y alto < 11.8 mg/L de N-NO₃, y en pozos agrícolas, bajo con 3, medio 64, alto 124 mg/L de N-NO₃. De 1750 niños que radican en diez comunidades, se tomó una muestra de 346 niños distribuidos en los diferentes niveles de exposición. Los resultados mostraron que el 45% de los pozos representaron un riesgo para la salud por obtener un valor mayor a 1, de acuerdo al cociente de peligro. De todos los niños que fueron estudiados, 150 presentaron niveles detectables de metahemoglobina, 97 de estos fueron niños (64.6%) y 53 niñas (35.4%), algunos factores pueden llegar a potencializar el aumento de niveles de metahemoglobina como la ingesta de agua de pozo RM=1.87 p<0.18 encontrándose niveles detectables de metahemoglobina a partir de 11.8 mg/L de N-NO₃ y un riesgo mayor para el género masculino RM= 1.5 p<0.05.

Palabras Clave: nitrógeno de nitrato, agua, metahemoglobinemia, género, evaluación de riesgo.

Systemic risk assessment and methemoglobin levels in children who drink water contaminated by nitrates

ABSTRACT

The Comarca Lagunera is considered the most important milk producing area in the north of the country and had to fertilize the fields with nitrogenous substances to cover the demand of food for cattle fodder polluting the aquifer of Ciudad Juarez, Durango, which is the short term hydrological reserve, as the main aquifer is contaminated by arsenic. The aim of this research was to evaluate the systemic risk and methemoglobin levels in children aged 1-12 years who consume water contaminated with N-NO₃. 11 wells were sampled for human consumption and 51 for agricultural use. There were three exposure scenarios: in drinking water, low with 0-3, mid 3.1-11.8, high >11.8mg / L of N-NO₃, and agricultural wells with low 3, mid 64, high-124mg / L of N-NO₃. From 1750 children who reside in ten communities, a sample of 346 children was taken, at different exposure levels. The results showed that 45% of the wells represented health risk as they have values greater than 1, according to hazard ratio. Of all children who were studied, 150 had detectable levels of methemoglobin, 97 of these were male (64.6%) and 53 female (35.4%), some factors can potentiate the increase in methemoglobin levels as well water intake OR = 1.87 p <0.18 found detectable levels of methemoglobin from 11.8 mg / L of N-NO₃ and an increased risk for male OR = 1.5 p <0.05.

Keywords. nitrate nitrogen, water, methemoglobinemia, gender, risk evaluation

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.

Correo electrónico: peracalleros@gmail.com

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV, Chihuahua, Chih.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo.

⁴ Centro de Investigación Biomédica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón, Coahuila

⁵ Facultad de Enfermería y Nutriología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih.

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de julio de 2013. Este artículo de divulgación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 16, No.3, 2012, ISSN 1665-529-X.

Introducción.

En México los problemas de salud relacionados con la contaminación ambiental se han incrementado a la par con el desarrollo industrial y tecnológico del último siglo, el cual ha permitido alcanzar una mayor productividad pero también han aumentado las enfermedades originadas por la contaminación ambiental. Actualmente ha aumentado el interés en la investigación sobre la contaminación del agua y sus repercusiones en la salud humana. El agua puede estar contaminada por arsénico, flúor, plomo, DDT, nitratos, entre muchos otros, actualmente los nitratos son uno de los contaminantes producidos en gran parte por la excesiva fertilización de los campos, y el estiércol que producen los hatos ganaderos (Cueto Wong, et al 2005) A la fecha, numerosos e importantes estudios se han realizado sobre el consumo de agua contaminada con nitratos en donde se menciona que es causa de metahemoglobinemia, esta enfermedad es más común en niños menores de 12 años, debido al aumento del pH en el estómago, ocasionando la oxidación de la hemoglobina que disminuye la captación de oxígeno, produciendo cianosis. Otros estudios mencionan que la contaminación por nitratos también está asociada a cáncer gástrico, a linfoma no Hodgking, así como alteraciones en la reproducción (Freedman DM, et al, 2001)

La Comarca Lagunera, se considera actualmente la cuenca lechera más importante de nuestro país la cual abastece a su vez la demanda de alimento forrajero para el ganado y de hortalizas para consumo humano (Cueto Wong, et al 2005). Para mejorar los cultivos, se han utilizado de forma no controlada fertilizantes ricos en Nitrógeno contribuyendo con ello a la acumulación de grandes cantidades de nitratos en los campos. Esto aunado al hecho de que el ganado vacuno produce grandes cantidades de estiércol, rico en compuestos de nitrógeno, que pueden percolar hacia el acuífero, generan que en algunas comunidades el agua de abastecimiento humano tenga cantidades de nitratos por arriba de los límites recomendados para su consumo (Perdomo, et al 2000).

A la fecha, debido a la falta de estudios sociales y técnicos sobre esta problemática así como la falta de información sobre deterioro que puede sufrir el acuífero por el uso exagerado e inadecuado de fertilizantes ya que se desconoce la magnitud del problema. (Pérez Ceballos, et al 2004).

Una de las principales reservas de agua para la Comarca Lagunera la constituye el acuífero de ciudad

Juárez, Durango, que actualmente abastece a diferentes ejidos y en donde la concentración de nitratos se encuentra entre 0 a 124 mg/L (Cueto Wong, et al 2005), (Martínez, et al 2006), (Medina, et al 2001.).

Dadas las concentraciones de nitratos en el agua abastecida a los habitantes en los poblados, existe ya una población expuesta, por lo que es de interés analizar las relaciones entre la concentración de nitratos y los diferentes efectos en la salud. Esto permitirá, además de la contribución científica, detectar y prevenir los riesgos de exposición de una población mayor como es la Comarca Lagunera, al ser este acuífero su reserva de agua a corto plazo (Medina, et al 2001).

El presente estudio fue abordado de manera muy general en el libro de género, ambiente y contaminación por sustancias químicas, en el capítulo titulado “Caracterización de una zona contaminada por nitratos y su impacto en las salud humana” (Calleros et al, 2012).

Material y métodos

Se realizó la evaluación de riesgo siguiendo la metodología recomendada por la Agencia de Protección de Estados Unidos (EPA0073 8502, 1999). El presente estudio se realizó en poblaciones que son abastecidas por el acuífero de Cd. Juárez, Dgo. y que presentan como antecedente mayor contaminación por nitrógeno de nitrato. Las comunidades consideradas fueron: La Loma, Sapioris, Las Cuevas, Las Piedras, Juan E. García, El Peñón, La Goma, El Salitral, Vicente Nava, Salamanca, todos del municipio de Cd, Lerdo, Dgo. (Figura 1).

El universo de estudio en la zona estuvo constituido por 11 pozos de agua para consumo humano y 216 pozos agrícolas. El tamaño de la muestra fue de 62 pozos: 11 de consumo humano y 51 pozos agrícolas. El muestreo de agua se realizó de acuerdo a los requerimientos de la Norma Oficial Mexicana NOM 014-SSA-1-1993. Las concentraciones de nitrógeno de nitrato fueron determinadas por métodos estandarizados de colorimetría y de electrodo ión selectivo (Orion, 1997), (Linch, et al 2001), (Clesceri, et al 2001).

Establecimiento de la relación dosis-respuesta.

La dosis de referencia (RfD) del nitrato, fue de 1.6 mg/kg-día obtenido de la base de datos IRIS (Agency USEPA, 2003, Integrated Risk Information System).

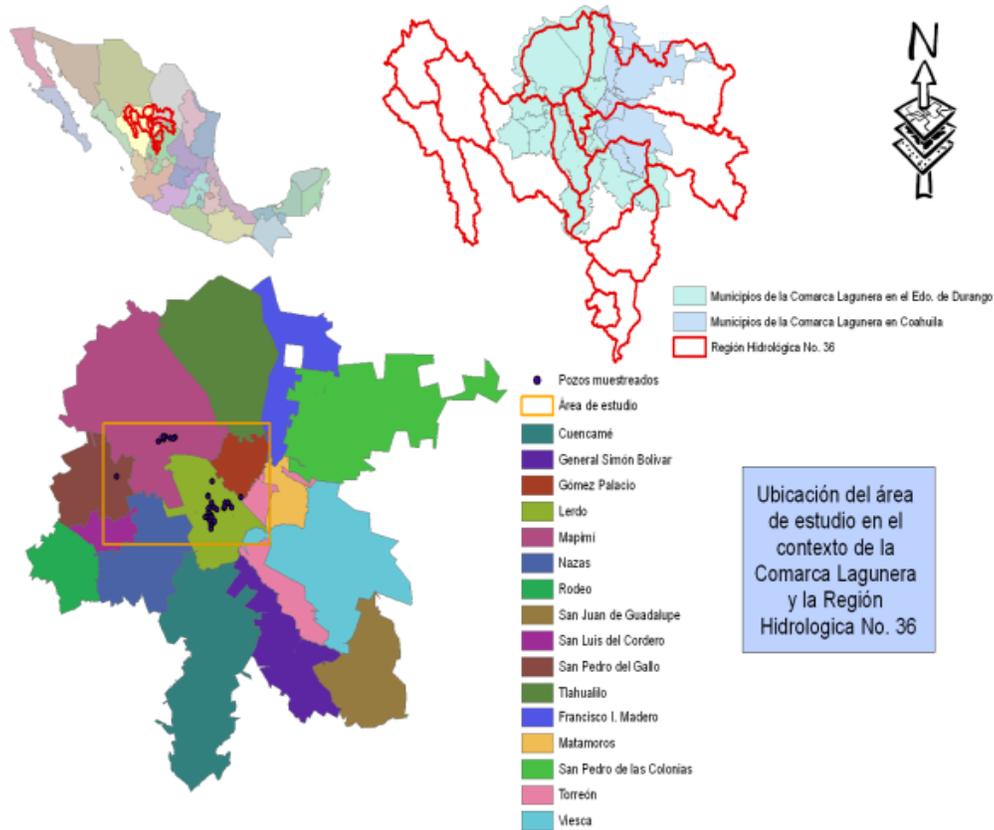


Figura 1. Ubicación del estudio y región hidrológica de la Comarca Lagunera

Análisis de la exposición de la población.

Estuvo conformado por tres componentes: a) la fuente del contaminante, b) la vía de exposición y c) el receptor. La fuente contaminante fue el agua de los pozos contaminados por nitrógeno de nitrato con niveles ≥ 10 mg/L de $N-NO_3^-$. La vía de exposición, es oral. El receptor estuvo integrado por la población de las diez comunidades que consumen el agua del acuífero de Cd. Juárez, Dgo. En agua de consumo humano: se clasificó de acuerdo a la concentración de $N-N_3^-$ considerándose tres escenarios bajo con concentraciones de hasta 3 mg/L de $N-NO_3^-$, medio en un rango de 3.1 a 11.8 mg/L y alto para las concentraciones mayores a 11.8 mg/L, en pozos agrícolas los rangos establecidos fueron bajo con concentraciones de hasta 3, medio de 3.1 hasta 64, y alto de 64.1 hasta 124 mg/L de $N-NO_3^-$.

Caracterización del riesgo

La literatura menciona que la ingesta de agua contaminada por nitratos produce diversos tipos de cáncer como es el gástrico, linfoma no Hodgking, esófago, se decidió calcularlo para no carcinógenos debido a que no se tiene evidencia en la zona de estudio de que se hayan presentado este tipo de

patologías por ingesta de agua contaminada por nitrógeno de nitrato. Dicha caracterización se llevó a cabo determinando el cociente de peligro considerando señal de alerta con valores mayores a 1.

$$IP = \frac{\text{Exposición medida}}{DRf}$$

Índice de Peligro es la exposición medida de la concentración de nitrógeno de nitrato encontrada en los pozos de consumo humano y agrícola sobre la dosis de referencia.

$$ME = \frac{NOAEL}{\text{Exposición medida}}$$

Margen de Exposición es el NOAEL (*no observable adverse effect level*), es un nivel de exposición en el cual no hay incrementos significativos, ni estadísticamente ni biológicamente, en la frecuencia o severidad de los efectos adversos en la población expuesta y un apropiado grupo control, algunos efectos pueden ser producidos por este nivel, pero no son considerados adversos, ni precursores de efectos adversos. En el caso de nitrógeno de nitrato se

consideró de 10mg/L. (EPA, *Integrated Risk Information System*)

$$C_p = \frac{(C * i * Fe * De)/(Pc * Tp)}{DRf}$$

Donde:

- Cp= cociente de peligro (adimensional);
- C, la concentración de nitrógeno de nitrato en el agua en cada pozo muestreado (mg/L);
- i= ingesta de agua (L/día);
- Fe= frecuencia de exposición (días/año);
- De= duración de la exposición (años);
- PC= peso corporal, (kg);
- TP= tiempo de promediación, equivalente a la De multiplicada por 365;
- DRf= dosis de referencia.

La dosis de referencia se obtiene a partir de investigaciones donde se detectan, en forma experimental o estadística, los grados máximos de exposición que no causan daños, aplicando después factores de incertidumbre. En el caso del nitrato, la dosis de referencia es 1,6 mg/kg día (Almudena, et al 2001), (Arumi, et al 2006).

Caracterización de las hipótesis de exposición.

Los datos considerados para caracterizar la exposición, se presentan en la Tabla 1. Los pozos fueron clasificados de acuerdo a la concentración de nitrógeno de nitrato en mg/L. En la caracterización del riesgo se consideraron tres escenarios: consumo humano, bajo de 0 a 3, medio 3.1 a 11.8 y alto con concentraciones < 11.8 mg/L de N-NO₃⁻, y en pozos agrícolas, bajo con 3, medio de 3.1 a 64, alto de 64.1 124 mg/L de N-NO₃⁻.

Determinación de la concentración de metahemoglobina en la sangre.

De un Universo de 1750 niños de 1 a 12 años de edad se tomó una muestra de 346 niños, basada en un estudio piloto previo (Calleros et al, 2008), la que permite el 95% de confiabilidad y el 80% de poder

con capacidad de discriminación entre regiones y con un 20% adicional debido a la tasa de respuesta observada. Todos los niños fueron invitados a participar en el estudio a través de sus padres, previo envío de carta de consentimiento informada, las personas consideradas para formar el grupo expuesto fueron aquellos habitantes por más de un año de residencia en el lugar de estudio así como también el consumo de agua de la llave y de norias que son pozos artesanales en donde se determinaron concentraciones similares de N-NO₃⁻ del mismo orden de magnitud que en los pozos agrícolas.

Variables

Contenido de nitrógeno de nitratos en agua. Independiente cuantitativa. La concentración en agua no debe exceder de 10mg/L de N-NO₃

Metahemoglobina. Dependiente cuantitativa.

Los valores normales de metahemoglobina deben ser menores del 1% en hemoglobina circulante. En el individuo normal, la tasa de metahemoglobina no sobrepasa el 1% del total de hemoglobina (Caffaratti, et al 2011). Con valores de metahemoglobina de 10 a 25 % se presenta cianosis, y cuando los valores llegan a alcanzar 35 al 40 %, existe disnea y cefalea, niveles mayores de 60% hay letargo, mayor de 70% muerte (Medline Plus, 2007). Se tomó como positivo todo niño que tuviera niveles detectables.

Covariables

- Edad de los niños. Número de años cumplidos.
- Tabaquismo pasivo: si o no, según pregunta de cuestionario.
- Género: masculino ó femenino.

Análisis Estadístico.

El análisis fue hecho en dos pasos, la primera parte integrada por la evaluación de riesgos para efectos sistémicos, como ya se explicó y un análisis de riesgo individual.

Tabla 1. Parámetros de exposición considerados en este estudio

Parámetro	Niños
Peso corporal (Kg)	10
Tasa de ingesta (L/d)	1
Duración de la exposición en años	0.28
Frecuencia de la exposición (días/año)	350

Para éste último, la información se registró en cuestionarios precodificados y se capturó con un programa que permitía controlar por rango, dentro de los valores posibles. Se conformó una base maestra, integrada por las variables sociodemográficas del instrumento utilizado, el uso o no de agua de pozo y en su caso la clasificación del mismo y por los resultados de las mediciones de metahemoglobina. Para el análisis estadístico se usó el programa STATA 10.0 para Windows. Se hizo primero una revisión de calidad y congruencia (Análisis exploratorio), revisando rangos para proceder al análisis univariado de todas las variables. Se revisó la distribución y se detectaron los valores extremos según la técnica de Tuckey, mediante el diagrama de letras y con revisión de expediente en todos los casos, para proceder a su corrección cuando esta correspondía. Para el análisis bivariado se usaron las variables continuas en su forma original y categorizadas de manera ordinal en el caso de los pozos y dicotómica en cuanto al uso de agua de pozo. Se exploró la linealidad en todos los casos. Se usó regresión logística (RL) para determinar la asociación entre metahemoglobina detectable y cada uno de los predictores considerados. Las

variables con una $p < 0.15$ fueron incluidas en el modelo saturado inicial y se fueron eliminando de acuerdo a los valores de $p (> 0.05)$ y a la significancia del modelo global. El modelo final se integró solo por aquellas variables con significancia, que contribuyeron a aumentar el valor predictivo y explicativo del modelo, de tal forma que se terminó con el modelo más parsimonioso.

Resultados

Concentración de nitratos en agua de los pozos.

Las concentraciones de $N-NO_3^-$, en el agua de pozos así como su georeferenciación se muestran en la Tabla 2.

De acuerdo con los niveles de concentración de $N-NO_3^-$ determinados se realizó una interpolación de los datos para tener una visualización más clara de la contaminación de la zona de estudio y de la región hidrológica de la Comarca Lagunera, en la Figura 1 se presenta un mapa de la zona de estudio y de la región hidrológica de la Comarca Lagunera, en la Figura 2 se muestran las líneas de isoconcentración obtenidas

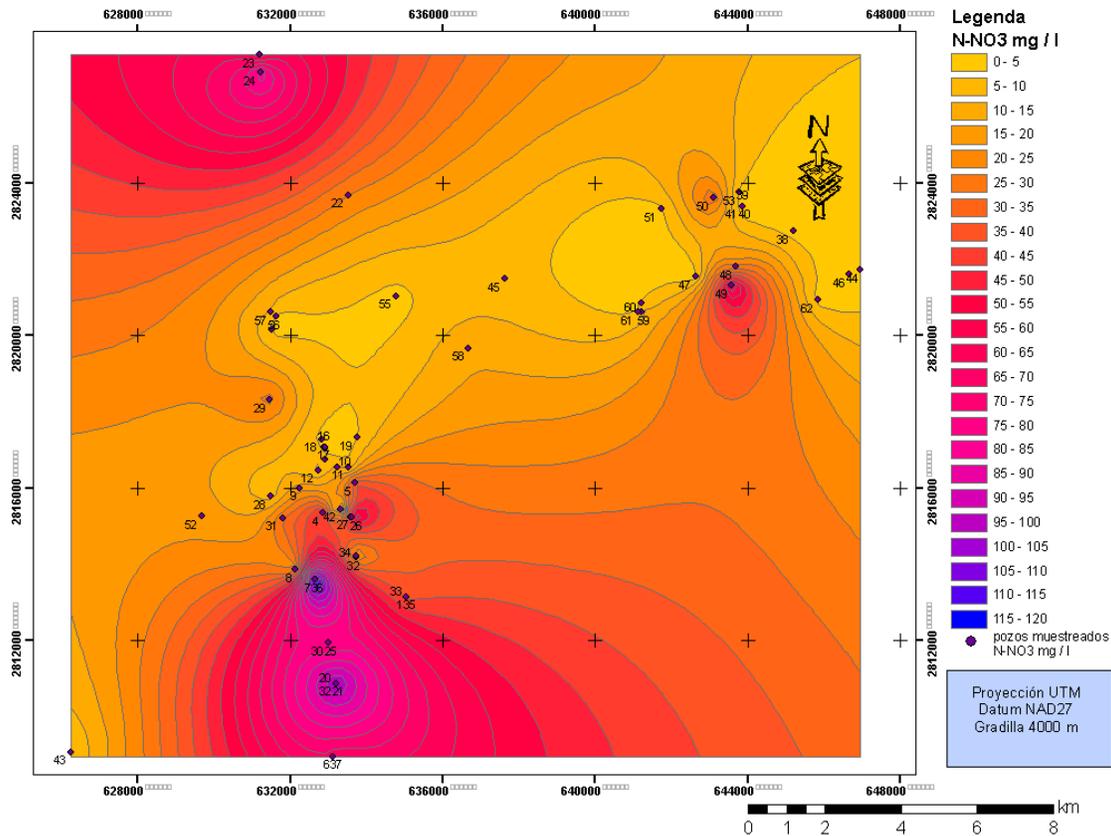


Figura 2. Líneas de isoconcentración de $N-NO_3^-$ en la zona de estudio

Tabla 2. Concentración del contaminante, ubicación de los pozos y nivel de exposición.

ID	N-NO-3	EXPOSICIÓN	Y	X
1	39	Medio	25.429121	-103.657125
2	20	Medio	25.438489	-103.670101
3	18.6	Medio	25.438489	-103.670101
4	48	Medio	25.449115	-103.678851
5	40	Medio	25.456169	-103.670297
6	64	Medio	25.391389	-103.676667
7	123	Alto	25.433426	-103.681055
8	22.5	Medio	25.435820	-103.686031
9	18	Medio	25.455080	-103.684626
10	11.8	Medio	25.460000	-103.675000
11	4.7	Bajo	25.460000	-103.671940
12	3.9	Bajo	25.459282	-103.679845
13	3.1	Bajo	25.464500	-103.678056
14	6.2	Bajo	25.464750	-103.678333
15	6.7	Bajo	25.461895	-103.678159
16	0	Bajo	25.464694	-103.678139
17	1.8	Bajo	25.464806	-103.678000
18	3.4	Bajo	25.466583	-103.678889
19	5	Bajo	25.466950	-103.669550
20	101	Alto	25.408737	-103.675725
21	101	Alto	25.408737	-103.675725
22	25	Medio	25.524444	-103.671389
23	56.6	Medio	25.557778	-103.694167
24	83.5	Medio	25.553713	-103.693800
25	74	Medio	25.418451	-103.677775
26	49	Medio	25.448053	-103.671418
27	67	Medio	25.448142	-103.671345
28	7	Bajo	25.453214	-103.692286
29	27	Medio	25.476134	-103.692219
30	74	Medio	25.418451	-103.677775
31	30	Medio	25.448078	-103.689248
32	101	Alto	25.408737	-103.675725
33	47	Medio	25.429121	-103.657125
34	18.6	Medio	25.438890	-103.670280
35	39	Medio	25.429121	-103.657125
36	124	Alto	25.433426	-103.681055
37	69	Alto	25.391390	-103.676670
38	3.2	Bajo	25.514712	-103.555303
39	1	Bajo	25.520796	-103.568437
40	3.6	Bajo	25.520796	-103.568437
41	2.5	Bajo	25.520796	-103.568437
42	2.4	Bajo	25.450006	-103.674139
43	5	Bajo	25.393047	-103.745166
44	3	Bajo	25.505438	-103.538011
45	7	Bajo	25.504187	-103.630713
46	1.8	Bajo	25.504288	-103.540730
47	3	Bajo	25.504214	-103.580950
48	24	Medio	25.506556	-103.570260
49	65	Medio	25.501954	-103.571498
50	30	Medio	25.522780	-103.576110
51	3.9	Bajo	25.520355	-103.589730
52	18	Medio	25.448581	-103.710302
53	3.5	Bajo	25.524079	-103.569194
54	4.1	Bajo	25.492641	-103.691500
55	3.5	Bajo	25.500398	-103.659041
56	3.4	Bajo	25.495743	-103.690286
57	9.5	Bajo	25.496824	-103.691736
58	14	Medio	25.487830	-103.640300
59	10.4	Medio	25.495990	-103.595220
60	5.3	Bajo	25.498190	-103.595220
61	5	Bajo	25.495890	-103.595960
62	3.2	Bajo	25.498420	-103.549130

Escenarios de exposición.

Para medir la exposición de los habitantes de las diez comunidades de estudio, se consideró la exposición a N-NO₃⁻ por consumo de agua de la red de abastecimiento de la localidad, así como también la exposición debida al consumo de agua de pozos agrícolas, ya que existen parcelas que se encuentran muy cerca del área urbana. En la Tabla No. 3 se muestran los escenarios de la concentración de N-NO₃⁻ en agua para consumo humano, Nivel de exposición, Índice de Peligro, Margen de Exposición y en la Tabla 4, se muestran los escenarios de la concentración de N-NO₃⁻ en pozos agrícolas así como Nivel de exposición, Índice de Peligro, Margen de Exposición.

La concentración media de nitrógeno de nitrato en el agua de los pozos estudiados fue de 34 mg/L y la mediana de 20 mg/L y una desviación estándar de 34.97, estos valores se encuentran por encima a lo que

indica la NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, donde nos indica que el nivel máximo permisible de N-NO₃⁻, para agua de consumo humano es de 10 mg/L. Aunque no todos los pozos son de consumo humano como se indico anteriormente, la población consume también de pozos agrícolas sobre todo en las pequeñas propiedades o bien la parcela se encuentra muy cerca de la vivienda, ésta contaminación no altera las propiedades físicas del agua por lo que la población que la consume no percibe cambios en el color, olor y sabor. Los parámetros que se consideraron son los que se muestran en la tabla 1. El riesgo está basado en la dosis de 10 mg/L de N-NO₃⁻ es de 0 a 1, siendo mayor de 1, existe riesgo para la salud. (Toxicología ambiental Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental 1996-2001, The University of Arizona).

Tabla 3. Concentración de N-NO₃⁻, Índice de Peligro (IP) Margen de Exposición (ME). En pozos de consumo humano.

Localidad	Concentración en agua de N-NO ₃ ⁻ mg/L	Nivel de exposición	IP	ME
La Goma	11.8	Alto	7.3	0.8
Sapioriz	7	Medio	4.3	1.4
La Loma	11.8	Alto	7.3	0.8
Vicente Nava	4.1	Medio	2.5	2.4
Juan E. García	4.1	Medio	2.5	2.4
El Salitral	3.4	Medio	2.1	2.9
Salamanca	4.1	Medio	2.5	2.4
El Peñón	4.1	Medio	2.5	2.4
Las Cuevas	3.2	Medio	2	3.1

Tabla 4. Concentración de N-NO₃⁻, Índice de Peligro (IP) Margen de Exposición (ME). En pozos agrícolas.

Localidad	Concentración en agua de N-NO ₃ ⁻ mg/L	Nivel de exposición	IP	ME
La Goma	124	Alto	77.5	0.08
Sapioriz	101	Alto	63.1	0.09
La Loma	124	Alto	77.5	0.08
Vicente Nava	83.5	Medio	52.1	0.11
Juan E. García	83.5	Medio	52.1	0.11
El Salitral	83.5	Medio	52.1	0.11
Salamanca	83.5	Medio	52.1	0.11
El Peñón	83.5	Medio	52.1	0.11
Las Cuevas	64	Medio	40	0.15
Las Piedras	3	Bajo	1.8	3.3

Tabla 5. Cociente de Peligro de cada uno de los pozos analizados

<u>ID</u>	<u>N-NO-3</u>	<u>NIÑOS</u>	<u>ID</u>	<u>N-NO-3</u>	<u>NIÑOS</u>
1	39	2.3	33	47	2.8
2	20	1.1	34	18.6	1.1
3	18.6	1.1	35	39	2.3
4	48	2.7	36	124	7.4
5	40	2.3	37	69	4.1
6	64	3.8	38	3.2	0.1
7	123	7.37	39	1	0
8	22.5	1.3	40	3.6	0.2
9	18	1.0	41	2.5	0.1
10	11.8	0.7	42	2.4	0.1
11	4.7	0.2	43	5	0.2
12	3.9	0.2	44	3	0.1
13	3.1	0.1	45	7	0.4
14	6.2	0.3	46	1.8	0.1
15	6.7	0.4	47	3	0.1
16	0	0	48	24	1.4
17	1.8	0.1	49	65	3.8
18	3.4	0.2	50	30	1.7
19	5	0.3	51	3.9	0.2
20	101	6	52	18	1
21	101	6	53	3.5	0.2
22	25	1.5	54	4.1	0.2
23	56.6	3.3	55	3.5	0.2
24	83.5	5	56	3.4	0.2
25	74	4.4	57	9.5	0.5
26	49	2.9	58	14	0.8
27	67	4	59	10.4	0.6
28	7	0.4	60	5.3	0.3
29	27	1.6	61	5	0.2
30	74	4.4	62	3.2	0.1
31	30	1.7			
32	101	6			

Resultados de la asociación de la concentración del contaminante y los niveles de metahemoglobina.

Del total de 346 niños, 196 fueron niñas lo que representa un 56.64% de la muestra y 150 niños, lo que representa el 43.36%. La distribución de niños y niñas en los niveles de exposición se representa en la tabla 6. En la Tabla 7 Se encontraron niveles detectables de metahemoglobina en 48 niños en el

nivel alto, 96 niños en el nivel medio y 6 en el nivel bajo. Los valores normales de metahemoglobina deben ser menores del 1% en hemoglobina circulante. Con valores de metahemoglobina de 10 a 25 % se presenta cianosis, y cuando los valores llegan a alcanzar 35 al 40 %, existe disnea y cefalea, niveles mayores de 60% hay letargo, mayor de 70% muerte (Medline Plus, 2007, LaDou, et al 1993).

Tabla 6. distribución de la participación por sexo en los diferentes niveles de exposición

Nivel de exposición	Niños		Niñas		Total	
Alto	48	32%	94	48%	142	41%
Medio	96	64%	92	47%	188	54%
Bajo	6	4%	10	5 %	16	5%
total	150	100%	196	100%	346	100%

Tabla 7. Niveles detectables de metahemoglobina en los tres escenarios de exposición.

Nivel de exposición	Metahemoglobina no detectables	Metahemoglobina detectables	Total
Alto	94 (66%)	48 (34%)	142 (41%)
bajo	10 (62%)	6 (37%)	16 (5%)
medio	92 (49%)	96 (51%)	188 (54%)

Tabla 8. Razón de Momios ajustada para la presencia de metahemoglobina detectable, según el tipo de pozo en niños

Niveles de metahemoglobina	Razón de Momios	Error estándar	p
Toma agua de la llave	0.82	0.23	0.50
Toma agua de Pozo	1.87	0.89	0.18
Fuman en casa	0.73	0.16	0.16
Sexo masculino	1.54	0.33	<0.05

Se buscó la asociación de los niveles de metahemoglobina con antecedentes de los niños como son la ingesta de agua de la llave o de pozo, y tabaquismo pasivo, Tabla 8.

De los 346 niños que fueron estudiados 150 presentaron niveles detectables de metahemoglobina, 97 de éstos fueron niños (64.6%) y 53 niñas (35.4%). El riesgo de presentar un aumento de presentar metahemoglobinemia fue de 1.5 veces más en los niños que en las niñas, $p < 0.05$, Tabla 8. Al hacer una revisión de los datos, se observó que la ingesta de agua de pozo puede llegar a potencializar el aumento de metahemoglobina 1.87 veces más que el consumo de agua de la llave $p < 0.18$, Tabla 8.

Uno de los hallazgos encontrados en nuestro estudio fue la tendencia de género donde los niños presentaron un mayor riesgo de metahemoglobinemia más que las niñas (RM 1.5 $p < 0.05$) Tabla 8. Un ajuste en los resultados se hizo después de tener en cuenta dos aspectos importantes: El primero de ellos fue la concentración de nitratos en los pozos, así como su uso. El segundo aspecto se hizo teniendo en cuenta las edades de los niños (<10 y 10 a 12 años).

Discusión.

Caracterización de la zona de estudio

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en México es un problema que ha ido en

aumento a través del tiempo, en la mayoría de los casos, es debido a las actividades antropogénicas, específicamente, a la agricultura y la ganadería. La lixiviación de nitratos en la agricultura se atribuye a las altas tasas de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos y a la necesidad de lixiviar periódicamente las sales presentes en los horizontes superiores del perfil del suelo (Martínez, et al 2006).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo la contaminación del agua por los nitratos constituye un problema mayor cuando se consume agua de los pozos agrícolas de la zona.

Las concentraciones de nitratos en la zona variaron de 3 a 124 mg/L de $N-NO_3^-$ aunque la contaminación del agua por nitratos es debida a dos causas, la natural y la antropogénica, esta última es importante debido a que gran parte de esta problemática se atribuye a la sobrefertilización de los campos (Orona, et al. 2006). En dicho estudio, los resultados encontrados indican que la producción de forrajes representa más del 90 por ciento de la agricultura regional, en la que más del 80 por ciento de los agricultores emplea fertilizantes y otros productos químicos. La cantidad y tipo de fertilizantes aplicados se realiza sin un diagnóstico previo, lo que puede estar incrementando el riesgo de contaminación del acuífero estudiado (Orona, et al 2006). Los pobladores de la zona de estudio

consumen agua con concentraciones de nitratos del orden de 11.8, 64, y 124 mg/L de N-NO_3^- dichos niveles sobrepasan lo recomendado para consumo humano de 10 mg/L de N-NO_3^- por la NOM 127 SSA1-1994. La contaminación de las aguas subterráneas es un problema creciente de la salud pública, pues restringe la disponibilidad del agua potable para la población.

La normativa existente en relación a la concentración de nitrógeno de nitrato en agua de consumo humano está regida por la protección solamente de metahemoglobinemia. La evaluación de riesgos realizada presenta valores mayores a 1 en el Cociente de Peligro (CP). En una evaluación de riesgos realizada en Chile por (Arumi et al 2006), mencionan que la concentración media de los pozos muestreados fue de 5.2 mg/L, éste es un valor inferior al límite de seguridad recomendado de 10 mg/L, y la mediana fue de 2.6 mg/L, valor mucho menor al límite recomendado por la EPA 10 mg/L de N-NO_3^- , no encontrando riesgo para la salud de los pobladores. Los resultados de la zona de estudio muestran que la concentración media de nitrógeno de nitrato en el agua de los pozos estudiados fue de 34 mg/L y la mediana de 20 mg/L y una desviación estándar de 34.97, por lo que de acuerdo a la literatura, la ingesta de agua con concentraciones superiores al límite de referencia, 10 mg/L N-NO_3^- aumenta el riesgo de causar efectos en la salud como son las alteraciones en glándula tiroides, linfoma no Hodgking, áreas de hipoxia en placenta, cáncer gástrico, (Ward, et al 1996; Ward, et al 2006; Freedman, et al 2000; Sandor, et al 2001; Tajtakova, et al 2000.)

Asociación del contaminante y los niveles de metahemoglobina

En el estudio realizado no se presentaron casos de metahemoglobinemia clínicamente, pero al medir los niveles de metahemoglobina en los tres grupos se encontró que de un total de 346 niños, 150 de ellos presentaron niveles detectables de metahemoglobina, es decir mayores a 1.5% de metahemoglobina. Otros estudios muestran que la ingestión de nitrógeno de nitrato en agua a concentraciones entre 20 y 204 mg/L de N-NO_3^- presentan solo niveles detectables de metahemoglobina en escolares (Craun, et al 1981), el estudio realizado por Sadeq en el 2008 reporta la asociación de la ingesta de agua con niveles mayores a los 50 mg/L de N-NO_3^- con la metahemoglobina en niños (Sadeq, et al 2008).

En el presente estudio se encontró una tendencia de género. Los niños tienen más riesgo 1.54 veces más

que las niñas de tener metahemoglobinemia, $p < 0.05$. Aunque dichos valores no fueron altamente significativos, podría decirse que hay un mayor riesgo de exposición en el género masculino lo cual puede ser asociado a las actividades que realizan los niños en el campo, ya que las niñas tienden a otro tipo de actividades como colaborar en las labores del hogar, mientras que los niños tienden a realizar labores en el campo a muy temprana edad. Se considera que este resultado es importante ya que representa los efectos de una exposición crónica a los nitratos, lo cual en otros estudios se ha señalado como la posibilidad de reacciones de los nitritos con aminas y amidas en el estómago que dan lugar a nitrosoaminas y nitrosoamidas, agentes etiológicos de diversos cánceres en el ser humano (Rodríguez, et al 2006). Aunque los pozos fueron clasificados en tres niveles de contaminación, para efectos del análisis el riesgo está representado a partir de que la concentración de N-NO_3^- supere lo marcado por la normatividad, no importa el nivel, pues no se observó una tendencia dosis-respuesta, se contrastó contra toma de agua de la llave.

De acuerdo a la metodología planteada para parámetros carcinogénicos, no existen datos que permitan definir un nivel guía en el agua de bebida. Sin embargo se ha encontrado alta incidencia de cáncer gástrico y colon y otros cánceres como linfoma no Hodgking en zonas con un aumento en las concentraciones de nitratos en agua para beber (Rodríguez, et al 2006).

Conclusiones.

De los 62 pozos muestreados en la zona de estudio, tanto para uso agrícola como para consumo humano, el 52% sobrepasan la concentración máxima de referencia de 10 mg/L de N-NO_3^- marcados por la NOM-127- SSA1-1994. En la zona de estudio no se tienen evidencias de cánceres por ingesta de agua contaminada por nitrato, ni de metahemoglobinemia. Sin embargo, por niveles de concentración de N-NO_3^- el 45% de los pozos representan un riesgo para la salud. Se identificó tendencia de género en los niños a presentar 1.5 veces más metahemoglobinemia que en las niñas, probablemente por las actividades propias a su género, como ayudantes en las labores agrícolas y por ello con mayor exposición al consumo de agua con N-NO_3^- . Es necesario continuar con la línea de investigación a la par que se toman medidas de salud pública y se exhorta a quien corresponda a tener estricta vigilancia epidemiológica sobre los padecimientos asociados a la ingesta de este contaminante.

RECONOCIMIENTOS.

CONACyT. FOMIX, Durango. Por el financiamiento del proyecto C01-43711

CIMAV. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Por la realización de los estudios de doctorado, y la realización de los análisis de agua.

INIFAP CENID RASPA Gómez Palacio, Dgo. Por los análisis de agua y la georeferenciación de los pozos.

CIB. Centro de Investigación Biomédica de la Universidad Autónoma de Coahuila. Donde se realizó el análisis de muestras de sangre.

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO, UNIDAD GÓMEZ PALACIO, DGO. Por la descarga académica para realizar mis estudios de doctorado, y por el análisis de las muestras de sangre.

REFERENCIAS

Agency, USEPA. (2003). "Integrated Risk Information System (IRIS), Nitrate (CASRN 14797-55-8)." USEPA. <http://www.epa.gov/iris/subst/0076.htm>.

Almudena A., Lizaso J. (2001). "Nitritos, nitratos y nitrosaminas, fundación ibérica para la seguridad alimentaria." *Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria*, 30: 255.

Arumi J.L., Núñez J., Salgado L, Claret M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. "*Revista Panamericana de Salud Pública*", 20(6): 385-392.

Calleros E., Alarcon M.T. Cueto J.A., Sanin L.H. (2008). Niveles de metahemoglobina en niños que consumen agua contaminada por nitratos. "*Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*", 4(2):138-144

Calleros E., Alarcón M.T., Morán J., Cueto J.A., Pérez R., Sanin L.H. (2012). "Caracterización de una zona contaminada por nitratos y su impacto en la salud humana" *Genero Ambiente y contaminación por sustancias químicas*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1ª. Ed. Instituto Nacional de Ecología.

Clesceri Lenore S, G. A. E., Eaton Andrew D. (2001). "Nitrate Electrode Method". En: *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Craun G.F., Greathouse D.G., Gunderson D.H. (1981). "Metahemoglobin levels in young children consuming high nitrate well water in the United State". *Epidemiology*. 10(4):309-317

Cueto-Wong J. A., Reta-Sanchez D. G., González Cervantes G., Orona-Castillo I., Estrada-Avalos J. (2005). Características químicas de aguas de pozos profundos del acuífero de Villa Juárez, Durango. "*Agrofaz*", 5(2): 869-874.

EPA. (1999). Guía para la Protección de Aguas subterráneas. http://www.epa.gov/ogwdw/sourcewater/.../guide_citguidegwpsp_1990.pdf

EPA. (1999). Integrate Risk Information System. <http://www.epa.gov/iris/subst/0076.htm>

Freedman D.M., Ward M.H., Helzlsouer K.J. (2000). Case-control study of nitrate in drinking water and non-Hodgkin's lymphoma in Minnesota. "*Archives of Environmental Health*", 55(5): 326-329.

LaDou Joseph, R. M., Loyd E.Damon, MD (1993). "Medicina Laboral y ambiental, Hematología profesional" 197-216.

Linch M.J., Mellor L.D., Spare P.D., Inwood M.J.H. (2001). "Métodos de Laboratorio tomo I. "Interamericana", 470-476.

Martínez Rodríguez Juan Guillermo, C. Z., Rivera Gonzalez Miguel, Núñez Hernández Gregorio, Faz Contreras

Rodolfo. (2006). "Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del Estado de Guanajuato." *Dialnet Agrofaz*. 6(3): 379-388.

Medina M.C., Cano P.R. (2001) Contaminación por nitratos en agua, suelo, y cultivos de la Comarca Lagunera. "Chapingo Serie Zonas Áridas". 2(1): 9-14

Med Line Plus (2007) "Metahemoglobinemia, niveles de" Biblioteca Nacional de EE.UU. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003371.htm>.

Orión (1997). "Teoría y práctica del electrodo Ion selectivo (EIS). 1997. Manual de productos de laboratorio y electroquímica." ORION: 91-99.

Orona-Castillo I., Cueto-Wong J. A., Bernardo-Murillo A., Reta-Sánchez J., García Hernández J.L, González-Cervantes G., E. Diéguez T. (2006). "Características tecnológicas de la agricultura de riego del acuífero villa Juárez, Durango. Norte de México. "Agrofaz" 6(1): 17-28.

Perdomo C.H., Casanova O.N. (2001). Contaminación de aguas subterráneas por nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. "Agrociencia", 5(1): 10-22.

Rodríguez A. M., del Puerto-Rodríguez, Romero Placeres M., (2006). "Introduction steps of Environmental Management System of the Cuban Hygiene, Epidemiology and Microbiology National Institute ": http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol47_1_09/hie07109.htm

Sandor J., Farkas O., Ember I. (2001). Association between gastric cancer mortality and nitrate content of drinking water: ecological study on small area inequalities. "European Journal Epidemiology", 17(5): 443-447.

Sadeq M, M. C., Attarassi B, Cherkaoui I, Elaouad R, Idrissi L. (2008). "Drinking water nitrate and prevalence of methemoglobinemia among infants and children aged 1-7 years in Moroccan areas." *Environ Health* 211(5-6): 546-554.

Tajtakova M.L.P., Semanova Z., Tomkova Z., Szokeova E., Majoros J., Petrovicova J., Veseliny E. (2000). Nitrate contaminated drinking water from private wells has an impact on the size and functional state of the thyroid gland in schoolchildren. "Vnitr Lek", 46(11): 764-767.

Toxicología Ambiental Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental 1996-2001, The University of Arizona, <http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c3-3-4-3-2.html>

Ward M.H, Colt J.S., Hartge P. (2006). Risk of non-Hodgkin lymphoma and nitrate and nitrite from drinking water and diet. "Epidemiology", 17(4): 375-382.

Ward M.H., Cantor K.P., Weisenburger D.D., Correa-Villasenor A., Zahm S.H. (1996). Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. "Epidemiology" 7(5): 465-471.

Este documento debe citarse como: Calleros E. Y., Alarcón M. T., Pérez R., Cueto J. A., Moran J., Sanín L. H., (2012). **Evaluación de riesgo sistémico y niveles de metahemoglobina en niños que consumen agua contaminada por nitratos**. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 16-3, pp 183-194, ISSN 1665-529-X.