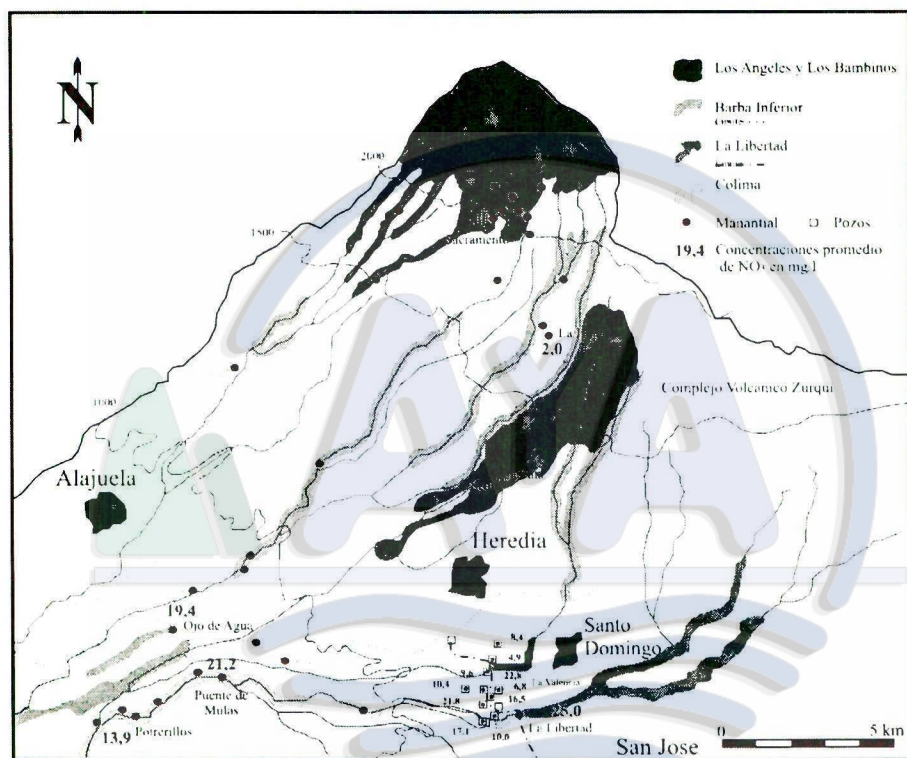


Estudio sobre la contaminación por nitratos en los acuíferos del Valle Central de Costa Rica: Hidrogeología general y su relación con la salud humana



Autores:

Federico Arellano
Viviana Ramos
Mauricio Vásquez
Carlos Alonso Vargas
Darner Mora Alvarado

Agosto, 2005



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL
REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Jorge Luis Zapata Arroyo

Nº Cédula: 2-0564-875

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital y Catálogo en línea (OPAC) la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: gerenciageneral@aya.go.cr N° Teléfono: 2242-5090

Firma: _____

Estudio sobre la contaminación por nitratos en los acuíferos del Valle Central de Costa Rica: Hidrogeología general y su relación con la salud humana

Federico Arellano¹

Viviana Ramos²

Mauricio Vázquez³

Carlos A. Vargas⁴

Darner A. Mora⁵



Resumen

Esta investigación de tipo descriptiva analítica se realizó con el objetivo de analizar la evolución de la contaminación por nitratos de las fuentes de agua ubicadas en las zonas de los acuíferos del Valle Central (V.C.) de Costa Rica. Para cumplir con este objetivo se analizaron aproximadamente 2000 datos históricos de nitratos en 27 fuentes de agua influenciadas por los acuíferos Barba, Colima Superior e Inferior, de los cuales se seleccionaron 4 (F. La Libertad, Puentes de Mulas, Potrerillos y el Pozo W4), con el propósito de realizar un análisis estadístico de varianza al 95% de confianza, con los datos promedio anuales de nitratos (mg/L), con el afán de determinar si existe o no tendencias al incremento de la contaminación por este ion en cada fuente. Además, con bibliografía disponible se trató de estudiar la vulnerabilidad de los acuíferos del V.C. y la relación entre los usos del suelo y la contaminación por nitratos en 6 fuentes de agua. Por otro lado, se hizo un análisis de vínculo entre los nitratos y las patologías como la Metahemoglobinemia y diferentes tipos de cáncer en Costa Rica. Los resultados indican que existe una persistente contaminación por nitratos en los acuíferos Barba y Colima Superior. Sin embargo, no se evidencia una diferencia estadísticamente significativa en el análisis de varianza de las 4 fuentes evaluadas por lo que no se puede concluir que exista tendencia evidente al incremento por la contaminación de nitratos. Además de las 27 fuentes de agua estudiadas, el 100% son de calidad potable con respecto al mencionado parámetro (<50mg/L de Nitrato). El 11,1% tiene concentraciones promedio entre 25 y 50 mg/L y el 88,9 presentan datos inferiores al valor recomendado de 25 mg/L. Por otro lado, el análisis de vulnerabilidad, el uso del suelo y los contenidos de nitratos en 6 fuentes de agua demuestran la influencia del urbanismo, uso de fertilizantes nitrogenados en monocultivos sobre la contaminación existente. Además, abordaron los aspectos relacionados entre los contenidos de nitratos en las aguas para consumo humano (ACH) y las patologías como "Metahemoglobinemia" y diferentes tipos de cáncer en Costa Rica. En este sentido, los estudios de Mora Darner, Chamizo Horacio y Mata Ana, indican que no existe asociación estadística entre los contenidos de nitratos en ACH y la incidencia de cáncer gástrico, cáncer de vejiga y cáncer de colon. Por último, se recomienda mantener un equipo interdisciplinario dentro del AyA y otras instituciones con el propósito de vigilar con mayor frecuencia los contenidos de nitratos y otros parámetros en los tres acuíferos.

¹ Msc. En Ingeniería Sanitaria, AyA

² Msc. En Hidrogeología, AyA

³ Egresado en Maestría de Hidrogeología, AyA

⁴ Br. En Hidrogeología, AyA

⁵ Msc. En Salud Pública, Director del Laboratorio Nacional de Aguas, AyA

Estudio sobre la contaminación por nitratos en los acuíferos del Valle Central de Costa Rica: Hidrogeología general y su relación con la salud humana

1. INTRODUCCIÓN

El Valle Central (VC) de Costa Rica comprende las ciudades principales de las provincias de San José, Cartago, Alajuela y Heredia, en donde se concentra un 54% de la población del país (2.300.000 habitantes). Este crecimiento poblacional ha venido acompañado de una demanda mayor de servicios básicos (agua potable, alcantarillado sanitario, recolección y tratamiento de desechos sólidos, electricidad y otros). La densidad urbanística, aunado a la expansión del desarrollo industrial, ha provocado un deterioro persistente en el ambiente.

En el caso de los servicios de agua para consumo humano (ACH), el suministro en estas zonas está a cargo de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), los municipios, los Comités de Acueductos Rurales (CAAR's), las ASADAS (Asociación de Administradora de Acueductos) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ⁽¹⁾. En términos generales, estos entes operadores se abastecen en un 65% mediante aguas subterráneas y en un 35% por fuentes superficiales ⁽²⁾. La dependencia de fuentes subterráneas (pozos y nacientes) ha venido en aumento desde 1970, en parte debido a su buena calidad y a los pocos costos de tratamiento y operación. La gran mayoría de las fuentes subterráneas provienen de tres acuíferos principales y de gran importancia: Barba, Colima Superior y Colima Inferior. En razón de la situación mencionada anteriormente, estos acuíferos han sido estudiados por varios investigadores desde principios de la década de los 70 ^(3,4,5,6 y 7). En estos estudios se ha analizado su hidrogeología, zonas de recarga, vulnerabilidad, calidad del agua y potencial hídrico.

Con respecto a la calidad físico-química y microbiológica de estas aguas, estudios realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) y el Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA, han evidenciado una persistente contaminación por nitratos, sobre todo en las fuentes de agua abastecidas por los acuíferos Barba y Colima Superior. Los iones nitrato y nitrito son excelentes indicadores del efecto que tiene el uso de fertilizantes nitrogenados y tanques sépticos, lo cual favorece el traslado de los compuestos nitrogenados hacia los acuíferos. Ante esto, es recomendable identificar las zonas de recarga de los acuíferos, el tipo de geología y permeabilidad de los suelos, para ubicarlo en los planes de desarrollo de las áreas en donde se puede o no utilizar tanques sépticos para disponer las excretas. En concreto, los contenidos de nitratos en las aguas son un excelente indicador del uso de los suelos en determinadas zonas geográficas ^(8,9). En este sentido, es necesario aclarar que los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza, que forman parte del "Ciclo del Nitrógeno". Su distribución es muy variada encontrándose en el aire, suelo, alimentos y aguas. Como nitrógeno atmosférico, las concentraciones promedio normales son de 0.1 a 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque en algunos países industrializados se han reportado valores promedio mensuales de 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en estos mismos países el agua de lluvia alcanza valores de 5 mg/L. Sin embargo, la mayor fuente de nitratos son los alimentos; las carnes aportan de 2.7 a 945 mg/Kg y los vegetales contienen de 200 a 2500 mg/Kg; por ejemplo, las lechugas y las espinacas tienen concentraciones de 2500 mg/Kg ⁽¹⁰⁾. En las aguas superficiales, los valores oscilan entre 0 a 5 mg/L, mientras que las aguas subterráneas varían de 0 a 9 mg/L, en forma natural. Sin embargo, en algunos casos se han observado valores que alcanzan varios centenares de mg/L de nitrato, debido al abuso en la utilización de fertilizantes nitrogenados y a la lixiviación de materia fecal de los animales y del propio ser humano ⁽¹¹⁾.

El valor máximo permisible, de acuerdo al Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica, es de 50 mg/L como nitrato ⁽¹²⁾; este mismo valor es el indicado por la Organización Mundial de la Salud ⁽¹³⁾. Con respecto a los efectos de los nitratos sobre la salud humana, los estudios han demostrado que estos iones no son cancerígenos ^(14 y 15); sin embargo, algunos estudios epidemiológicos sugieren una relación entre el consumo de nitratos en alimentos como

embutidos y el cáncer gástrico, pero estudios analíticos mas profundos no han confirmado estos resultados. Lo que si se ha comprobado es que altas concentraciones de nitratos en las ACH, pueden inducir la enfermedad denominada “metahemoglobinemia” en niños lactantes, la cual disminuye su capacidad para captar oxígeno a nivel de glóbulos rojos ⁽¹⁶⁾. A la luz de estas observaciones y debido a la importancia de los nitratos como trasador de los usos del suelo y su impacto sobre la calidad de las aguas, se realiza esta investigación con el objetivo de analizar la evolución de los contenidos de estos iones en los acuíferos de Barba, Colima Superior y Colima Inferior.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Analizar la evolución de la contaminación por nitratos de las fuentes de agua ubicadas en los acuíferos del VC, mediante el estudio de los datos históricos sobre la calidad del agua realizados por el LNA, la ESPH y los municipios, con el propósito de determinar el riesgo y la vulnerabilidad de los acuíferos Barba, Colima Superior y Colima Inferior.

2.2 Específicos

- ↳ Abordar la hidrogeología y determinar los usos de los suelos en las zonas cubiertas por los tres acuíferos.
- ↳ Identificar y seleccionar las principales fuentes de aguas subterráneas representativas de los acuíferos señaladas anteriormente.
- ↳ Identificar, de acuerdo con los usos del suelo, la vulnerabilidad del VC con respecto al recurso hídrico.
- ↳ Procesar los resultados existentes de nitratos en dichas aguas desde 1989.
- ↳ Realizar muestreos y análisis de laboratorio actualizados en las fuentes seleccionadas como representativas de los tres acuíferos estudiados.
- ↳ Evaluar los usos del suelo y los orígenes de la contaminación por nitratos en las fuentes estudiadas.
- ↳ Determinar los posibles impactos de los contenidos de nitratos en las ACH sobre la salud de los usuarios.
- ↳ Establecer medidas para minimizar los riesgos de contaminación sobre los acuíferos Barba, Colima Superior y Colima Inferior.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos mencionados en este trabajo, se detalla a continuación el desarrollo de los pasos seguidos:

3.1 Caracterización de la geología e hidrogeología del Valle Central

La caracterización de la geología e hidrogeología del VC se realizó mediante el análisis de diferentes estudios elaborados desde la década de los 70, además, se aprovechó la experiencia de los profesionales de AyA en este campo.

3.2 Identificación y selección de las fuentes de agua representativa de los acuíferos del Valle Central

De conformidad con las características hidrogeológicas del VC, se identificaron los pozos y manantiales representativos de cada uno de los acuíferos estudiados. De esta identificación, se seleccionaron las fuentes para estudiar la evolución de la contaminación por nitratos en los tres acuíferos.

3.3 Datos históricos de las diferentes fuentes de agua

Para evaluar la evolución de la contaminación por nitratos de los tres acuíferos mencionados, se aprovecharon los datos existentes en el Laboratorio Nacional de Aguas, la ESPH y la Municipalidad de Belén. Estos datos fueron procesados por periodos de tiempo, dependiendo de su antigüedad y frecuencia, para luego graficarlos.

3.4 Muestreos y análisis de laboratorio actualizados

Con el objetivo de obtener datos de nitratos los más actualizados posibles, se realizaron muestreos y análisis de laboratorio en fuentes de agua representativas de los acuíferos de Barba, Colima Superior y Colima Inferior. Las muestras y los análisis de laboratorio se elaboraron en el LNA, siguiendo las directrices de los Métodos Estándar ⁽¹⁷⁾.

3.5 Vulnerabilidad Hidrogeológica del Valle Central

El estudio de la vulnerabilidad de los acuíferos del VC se fundamentó en los estudios elaborados por Roberto Ramírez y Alonso Alfaro⁽²⁶⁾. La vulnerabilidad se presenta mediante un mapa, en donde se señalan las zonas de alta, media y baja vulnerabilidad.

3.6 Nitratos y su impacto sobre la salud humana

Los contenidos de nitratos en agua y alimentos se han vinculado, a manera de hipótesis, con Cáncer Gástrico, y en forma causal con la patología denominada metahemoglobinemia. En el caso de su supuesta asociación con el Cáncer Gástrico, se presentan los resultados del estudio exploratorio-ecológico sobre los conglomerados de esta enfermedad en el trienio 1999-2001 y los contenidos de nitratos en las ACH suministradas en cada distrito correspondiente. Dicho estudio fue realizado por Darner Mora, Horacio Chamizo y Ana Mata Solano ⁽¹⁸⁾. Con respecto a la Metahemoglobinemia, se describe brevemente las características de esta patología.

3.7 Evaluación de los usos del suelo y su relación con el contenido de nitratos en las fuentes estudiadas

Usando el mapa de los usos del suelo del VC (Cobertura de la tierra 1997 – Instituto Meteorológico Nacional) y los contenidos de nitratos en las fuentes estudiadas, se dedujo los orígenes de la concentración por nitratos en los acuíferos Barba, Colima Superior y Colima Inferior.

3.8 Medidas para mitigar el riesgo de contaminación de estos acuíferos

Una vez realizado el diagnóstico sobre la contaminación por nitratos de estos acuíferos y conociendo las zonas de mayor vulnerabilidad, se plantean varias acciones para mitigar dicha contaminación.

3.9 Limitaciones del estudio

La principal limitación de este estudio se concentra en la variabilidad de las técnicas utilizadas en la cuantificación de los nitratos: colorimétrico, electrodo específico y cromatografía (HPLC). Estas tres técnicas se han usado en los últimos 25 años, e introducen un sesgo en el análisis de la evaluación de los datos debido a que cada una tiene su propia incertidumbre (Ver tabla 1).

Tabla 1. Métodos Usados por el Laboratorio Nacional de Aguas para Determinar Nitratos en Aguas en los Últimos 25 Años

1. Método de la Brucina. Colorimétrico. Antes de 1988
2. Método de Electrodo Específico 4500-NO ₃ - - D. Equipo Orión modelo 701 A/ digital Fonalyzer
3. Método por HPLC. De 1998 a la fecha. Equipo Cromatógrafo líquido HP con detector de arreglo de diodos.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Geología del Valle Central de Costa Rica

4.1.1 Formación Colima

Aflora a lo largo del río Virilla y algunos de sus afluentes; es cortada por numerosas perforaciones profundas a lo largo del VC. Está conformado de por lo menos 7 coladas andesíticas. El espesor promedio de esta formación es de 100 m y el volumen total de unos 35 km³ ⁽¹⁹⁾. Dataciones radiométricas indican edades entre 787.000 y 340.000 años ⁽²⁰⁾. Las lavas inferiores son traquiandesitas y andesitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, augita, hipersteno, magnetita y esporádicamente olivino, dentro de una matriz de textura intersertal. La colada superior es afírica con un porcentaje bajo de fenocristales, dentro de una matriz fluidal que se manifiesta por pequeñas vesículas alargadas ⁽²¹⁾. De acuerdo con Echandi ⁽²²⁾ y SENARA-BGS ⁽²³⁾, en esta formación se definen: el Miembro Belén, formado por varias capas de composición andesítica separadas por capas de toba lítica; el Miembro Puente Mulas, que son tobas e ignimbritas con estructuras columnares y un espesor máximo conocido de 38 m; el Miembro Linda Vista, que consiste en dos capas lávicas de composición andesítica, de textura brechosa o masiva fracturada separadas por una capa de toba fina meteorizada de 10 m de espesor en promedio. La capa superior tiene unos 110 m de espesor máximo y la inferior 55 m. Estas lavas son probablemente el producto de efusiones a lo largo de fisuras con dirección NE-SO hasta E-O, ya que su extensión lateral es muy grande. Su composición química es diferente de la lava de los estratovolcanes de la Cordillera Central, asemejándose más a la Formación Tiribí que la sobreyace.

4.1.2 Formación Tiribí

Definida la Formación Tiribí por Echandi y subdividida en los Miembros Nuestro Amo, Electróna y La Caja. Sobre la Formación Colima yace una capa de pómez, de un espesor máximo de 3 m producto de una gran explosión volcánica, seguido por depósitos de flujos piroclásticos con un espesor promedio de 45 m, una extensión de unos 500 km² y un volumen total de 25 km³. Aparentemente se trata del depósito de un solo flujo piroclástico que presenta diferentes facies y grados de soleamiento. La parte inferior está muchas veces soldada, con grandes fiames de vidrio negro dentro de una matriz gris claro. La facies de mayor extensión y espesor es el depósito de un flujo de escorias y cenizas con bombas de hasta 1,8 m de diámetro. En la parte superior se encuentra, generalmente, una capa de ceniza de color gris a veces muy soldada. El espesor de los flujos piroclásticos, el diámetro de las bombas escoriáceas y la frecuencia de las facies soldadas aumenta hacia el oeste, lo cual indica que puede provenir de los volcanes de la Cordillera Central

⁽²⁴⁾. Por dataciones y su posición estratigráfica por encima de las lavas de la Formación Colima, se estima que las erupciones que produjeron estos depósitos ocurrieron hace menos de 400.000 años.

4.1.3 Formación Barba

Se definen varios miembros dentro de esta formación volcánica. El Miembro Bermúdez constituyen lavas andesíticas fracturadas con variaciones abruptas de espesor relacionadas con las depresiones topográficas; su espesor es de hasta 85 m. Miembro Porrosatí y Carbonal son arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas de hasta 20 m de espesor, Miembro Los Ángeles y Los Bambinos son las lavas de unos 35 m de espesor, localizadas en la parte superior de la formación y el Miembro Cráter corresponde con los piroclastos más recientes, de espesores de 10 m. Kussmaul define las lavas post-avalancha a las coladas de basalto y andesitas basálticas de Ciruelas y Cebadilla de la parte occidental del VC. Se localizan a unos 30 km del volcán Barva, el más cercano, por lo que se cree provienen de erupciones fisurales.

4.1.4 Depósitos cuaternarios sin diferenciar

Al pie de los volcanes actuales se acumularon depósitos de lahares con espesores de hasta 60 m, compuestos por bloques de lava de hasta 1 m de diámetro, englobados en una matriz arenosa-arcillosa. Todo el VC fue cubierto por depósitos de ceniza, provenientes del volcán Irazú, que localmente alcanzan espesores de 20 m. Existen también depósitos de aluviones con granulometrías desde arenas finas hasta bloques, con mala selección y en general con espesores de 5 m o menos.

4.2 Hidrogeología del Valle Central de Costa Rica

4.2.1 Acuífero Colima

Se divide en Colima Inferior, Puente Mulas, Colima Superior y La Libertad; afloran en varios tramos del cañón del río Virilla. Son acuíferos fracturados y se encuentran en depósitos volcánicos. El acuífero Colima Inferior está cubierto por coladas de lava andesítica, separadas entre sí por capas de tobas que actúan como acuitardos separando los acuíferos. Las capas de lava presentan permeabilidad por fracturas o por sus características brechosas. Las lavas del acuífero Colima Inferior producen pozos de hasta 60 L/s de agua de buena calidad. Origina manantiales que descargan en el río Virilla, al oeste de San Antonio de Belén ⁽²⁵⁾, de hasta 300 L/s. Este acuífero se localiza en las lavas superiores del Miembro Belén. El Miembro Puente Mulas actúa como un acuitardo con una generada percolación vertical, que produce un confinamiento de los acuíferos inferiores en algunos sectores.

El acuífero Colima Superior se divide en Colima Superior y La Libertad. El primero se origina en una capa de lava inferior de 55 m de espesor, con una muy buena permeabilidad por fracturas y partes brechosas. Se extiende desde el cañón del río Virilla y produce numerosos manantiales de hasta 300 L/s al sur de Santo Domingo de Heredia y Alajuela, Las Animas y Puente Mulas. Su profundidad varía entre 80 y 100 m y los pozos que lo captan pueden rendir caudales de hasta 100 L/s de agua de buena calidad. El acuífero superior La Libertad es una colada de lava andesítica de 110 m de espesor, que forma un acuífero colgado y produce manantiales de 100 L/s en los ríos Tibás y Virilla. Ambos están separados por una capa de toba que actúa como acuitardo y pertenecen al Miembro Linda Vista de la Formación Colima. El AyA extrae del acuífero Colima 1280 L/s en el campo de pozos de La Valencia, 650 L/s del manantial de Puente Mulas y 250 L/s de Potrerillos ⁽²⁶⁾.

4.2.2 Acuífero Barba

Se origina en las escorias y lavas fracturadas de la Formación Barba y está cubierto por cenizas. El nivel de las aguas subterráneas muestra fluctuaciones de hasta 7 m, que coinciden con las variaciones pluviométricas estacionales ⁽²⁷⁾. Algunos manantiales importantes de este acuífero son Ojo de Agua (375 L/s), Echeverría (125 L/s), Conafruit (100 L/s), Belén (60 L/s) y Cebadilla (60

L/s). Cada miembro dentro de la Formación Barba tiene características hidrogeológicas específicas. El Miembro Bermúdez origina el acuífero Barba Inferior, que descarga en numerosos manantiales que abastecen a la ciudad de Heredia y otras poblaciones de la parte norte del río Virilla. Con una buena permeabilidad en las partes brechosas y en las fracturas, los pozos rinden caudales de hasta 20 L/s. Por su parte, los Miembro Porrosatí y Carbonal actúan como acuitardos de gran extensión, donde subyacen los acuíferos locales Barba Superior y cubren al acuífero Barba Inferior.

El acuífero Barba Superior está conformado por los Miembros Los Ángeles y Los Bambinos. Son acuíferos discontinuos y colgados de poca extensión; su permeabilidad se da en las fracturas y brechas de las coladas y los manantiales aparecen en las partes inferiores. Por sus características litológicas y la poca cobertura de materiales de baja permeabilidad, este acuífero es muy vulnerable a la contaminación bacteriológica y fisicoquímica. Utilizando el método para determinación de índice de vulnerabilidad de un acuífero conocido como DI-O-S, la zona norte del acuífero Barba se considera de alta vulnerabilidad a la contaminación, debido a los depósitos piroclásticos permeables que la cubren, como también a las lavas fracturadas que aumentan el grado de incidencia de contaminantes, principalmente en la parte norte del Valle Central. Por otro lado la vulnerabilidad es media en las zonas de Heredia, Santo Domingo, San Pablo, San Antonio y San Juan de Tibás, donde existen coberturas de tobas de baja permeabilidad y se considera de baja vulnerabilidad las zonas con importantes espesores e impermeabilidades bajas de las rocas.

4.3 Identificación y selección de fuentes de agua para evaluar los contenidos de nitratos

En la siguiente tabla se presentan las fuentes de agua seleccionadas, con el propósito de evaluar la evolución de los contenidos de nitrato en mg/L de agua.

Tabla 2. Identificación y Selección de Manantiales y Pozos Representativos de Cada Acuífero del Valle Central

Nombre del acuífero	Tipo de Fuente	Nombre de la Fuente
Barva	Manantial	Cervecería Costa Rica
	Manantial	Ojo de Agua
	Manantial	Echeverría Katadín
Colima Superior	Pozo	W1
	Pozo	W2
	Pozo	W4
	Pozo	W7
	Pozo	Belén 1
	Pozo	Belén 2
	Pozo	Belén 3
	Pozo	San Antonio 1 (CNP1)
	Pozo	San Antonio 2 (CNP 2)
	Pozo	Rivera Nuevo
	Manantial	La Libertad
	Manantial	Puente Mulas
	Manantial	Fuente Zamora
Colima Inferior	Pozo	W3
	Pozo	W5
	Pozo	W6
	Pozo	W8
	Pozo	W9
	Pozo	W10
	Pozo	W12
	Pozo	W13
	Pozo	W14
	Pozo	W15
	Manantial	Potrerosillos

4.4 Evaluación de la evolución de los contenidos de nitratos en mg/L en las fuentes seleccionadas

4.4.1 Promedio de los datos históricos de nitratos

En el cuadro 1 se presenta los contenidos promedio de nitratos en las 27 fuentes seleccionadas, además del periodo en años de los datos históricos de cada fuente de agua.

Cuadro 1. Contenidos Promedio de Nitratos en mg/L en las Fuentes de Agua de los Acuíferos del Valle Central de Costa Rica

Acuífero	Fuente de Agua	Promedio de NO ₃ -	Período de Análisis
Barba	Cervecería Costa rica	14,4	04/07/2005
	Ojo de Agua	19,4	25/04/2005
	Manantiales Echeverría Katadín	15,0	04/07/2005
Colima superior	W1	10,0	1997-2005
	W2	21,8	1997-2003
	W4	22,8	1997-2003
	W7	17,1	1997-2003
	Belén 1	16,1	1997-2005
	Belén 2	27,6	1997-2005
	Belén 3	31,7	1998-2005
	Fuente Zamora	17,6	1997-2004
	Puente Mulas	22,0	1992-2005
	Pozo Zamora	20,3	1992-2005
	Fuente La Libertad	26,3	1992-2005
	Pozo San Antonio 1 (CNP 1)	17,8	2001-2005
	Pozo San Antonio 2 (CNP 2)	17,7	2001-2005
Colima Inferior	W3	9,6	1997-2003
	W5	4,9	1997-2003
	W6	8,4	1997-2003
	W8	6,9	1998-2003
	W9	10,4	1997-2003
	W10	6,1	1997-2003
	W12	16,5	1997-2003
	W13	6,8	1997-2003
	W14	10,1	1997-2003
	W15	8,7	1997-2003
	Fuente Potrerillos	12,5	1997-2005

FUENTE: Laboratorio Nacional de Aguas

4.4.2 Resultados de análisis recientes de nitratos en algunas fuentes de agua

Con el objetivo de determinar los contenidos de nitratos en algunas fuentes de agua utilizadas, se realizaron muestreos y análisis físico-químicos de varios manantiales y pozos de los acuíferos estudiados. En el cuadro 2 se resumen estos datos puntuales.

Cuadro 2. Valores Puntuales de Nitratos en mg/L en Varias Fuentes de Agua del Valle Central

Acuífero	Fecha	Fuente de agua	NO3-	Cumple:	VR	VMP
Barba	25/04/2005	Ojo de Agua	19,44		Sí	Sí
	04/07/2005	Cervecería Costa Rica	15,00		Sí	Sí
Colima Superior	23/04/2005	Puente Mulas	21,19		Sí	Sí
	23/04/2005	Belén 3	21,89		Sí	Sí
	14/06/2005	La Libertad	24,54		Sí	Sí
	25/04/2005	Pozo Zamora	20,60		Sí	Sí
	14/06/2005	W1	8,80		Sí	Sí
		San Antonio 1 (CNP 1)	16,30		Sí	Sí
Colima Inferior	14-06-2005	Potrерillos	13,90		Sí	Sí

FUENTE: Laboratorio Nacional de Aguas.

En análisis de los resultados de los contenidos de nitratos resumidos en los cuadros 1 y 2, evidencian una mayor contaminación en aquellas fuentes que se abastecen de los acuíferos de Barba (Ojo de Agua, Cervecería Costa Rica y Manantiales Echeverría) y Colima Superior (Fuentes La Libertad, Pozo Zamora, Pozos San Antonio 1 y 2, Belén 1, 2 y 3, Puente Mulas, W2 y W4).

4.4.3 Análisis estadístico por año para determinar la evolución de los contenidos de nitratos en cuatro fuentes de agua

Con el objetivo de estudiar la evolución y las tendencias de la contaminación por nitratos, se seleccionaron 4 fuentes de agua: Puente Mulas, Pozo W4, Fuente La Libertad y Manantiales Potrerillos; las tres primeras como representativos del acuífero Colima Superior y la última de Colima Inferior. Lamentablemente, no se dispone de datos históricos secuenciales para realizar el mismo análisis de varianza a fuentes del acuífero Barba, como por ejemplo Ojo de Agua.

4.4.3.1 Análisis de varianza al 95% de confianza de Puente Mulas entre 1987 y 2003

En el cuadro 3 y gráfico 1 se presenta el análisis de varianza de los resultados promedio anuales de nitratos en la mezcla de los manantiales de Puente Mulas, en el período comprendido entre 1987 y el año 2003. Estos resultados demuestran que no existe diferencia estadísticamente significativa con un 95% de confianza, entre los promedios de nitratos anuales, razón por la cual no se observa una tendencia creciente o decreciente en la contaminación por nitratos.

Cuadro 3. Análisis de varianza de datos promedio anuales de nitratos de Puente Mulas 1987-2003

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Des. Est</i>
1987	6	125,2	20,87	72,43	8,5
1988	6	130	21,67	56,27	7,5
1989	3	78	26,00	4,00	2,0
1990	10	207	20,70	14,23	3,8
1991	5	112	22,40	11,30	3,4
1992	7	165	23,57	67,29	8,2
1997	10	239,5	23,95	23,53	4,9
1998	11	255,5	23,23	5,42	2,3
1999	7	150	21,43	9,68	3,1
2000	9	186,6	20,73	1,18	1,1
2001	4	84	21,00	7,41	2,7
2002	6	114,1	19,02	4,60	2,1
2003	13	265,6	20,43	1,86	1,4

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	247,326	12	20,610538	1,062504	0,401864	1,869
Dentro de los grupos	1629,44	84	19,398072			28872
Total	1876,76	96				

HIPOTESIS

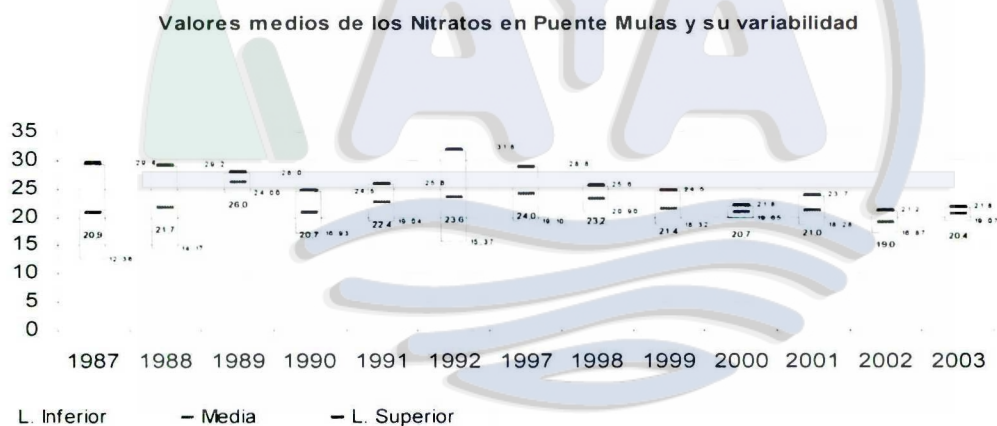
Ho: No hay diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de los nitratos en los diferentes años

Hi: Hay diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de los nitratos en al menos uno de los pares de años

RESULTADO Con un 95% de confianza no se puede afirmar que los niveles de nitratos sean diferentes en los años

RESULTADO

	Límite inferior	Valor estimado	Límite Superior
Región	L. Inferior	Media	L. Superior
1987	12,36	20,87	29,38
1988	14,17	21,67	29,17
1989	24,00	26,00	28,00
1990	16,93	20,70	24,47
1991	19,04	22,40	25,76
1992	15,37	23,57	31,77
1997	19,10	23,95	28,80
1998	20,90	23,23	25,55
1999	18,32	21,43	24,54
2000	19,65	20,73	21,82
2001	18,28	21,00	23,72
2002	16,87	19,02	21,16
2003	19,07	20,43	21,80



4.4.3.2 Análisis de varianza al 95% de confianza de Pozo W4 entre 1997 y el año 2003

Los resultados de varianza del contenido de nitratos promedio anuales en el período 1997-2003, se presentan en el cuadro 4 y gráfico 2. Los resultados indican que sí hay diferencia estadística significativa, al 95% de confianza, entre los promedios de nitratos y los diferentes años, sobre todo entre el año 1997 con los resultados del año 2000 al 2003. Sin embargo, estos resultados hay que estudiarlos con cuidado, debido a que factor está influyendo en solo los datos promedio del año 1997, en donde el promedio de NO_3^- es más alto.

Cuadro 4. Análisis de varianza de datos promedio anuales de nitratos de Pozo W4 1997-2003

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desv est
1997	3	87	29,0	7,0	2,6
1998	2	49,8	24,9	14,6	3,8
1999	3	74,5	24,8	40,4	6,4
2000	3	63,4	21,1	3,6	1,9
2001	3	52,1	17,4	3,5	1,9
2002	2	33,4	16,7	1,0	1,0
2003	5	103	20,6	4,0	2,0

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	320,471429	6	53,4119048	5,31386204	0,00477273	2,84772739
Dentro de los grupos	140,72	14	10,0514286			
Total	461,191429	20				

HIPOTESIS

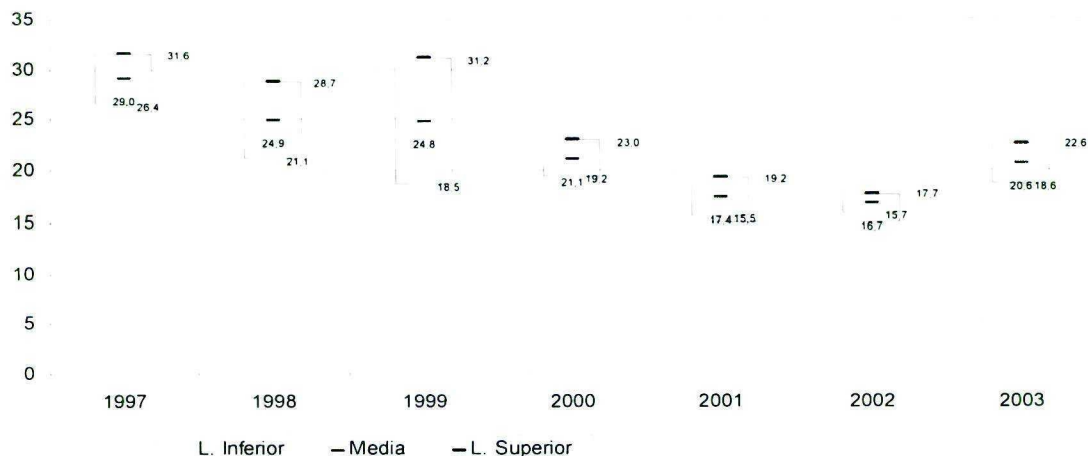
Ho: No hay diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de los nitratos en los diferentes años

Hi: Hay diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de los nitratos en al menos uno de los pares de años

RESULTADO Con un 95% de confianza Si se puede afirmar que los niveles de nitratos sean diferentes en los años.

GRÁFICO 2

Valores medios de los nitratos en el pozo W4 y su variabilidad



4.4.3.3 Análisis de varianza al 95% de confianza de Fuentes La Libertad entre 1991 y el año 2003

En el cuadro 5 y gráfico 3 se presenta el análisis de varianza del contenido promedio anual de nitratos del período 1991-2003. Los resultados demuestran que, al 95% de confianza, no hay diferencia estadística significativa entre los promedios de nitratos en el país.

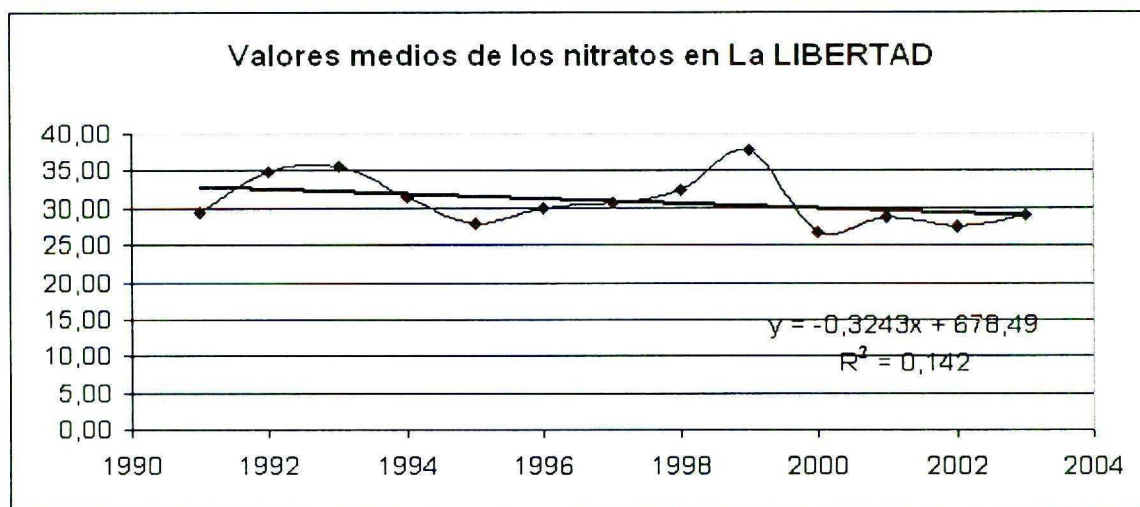
Cuadro 5. Análisis de varianza de datos promedio anuales de nitratos de La Libertad 1991-2003

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Desv Est
1991	2	59	29,50	4,50	2,12132034
1992	4	139	34,75	14,92	3,86221008
1993	3	107	35,67	64,33	8,02080628
1994	2	63	31,50	24,50	4,94974747
1995	3	84	28,00	37,00	6,08276253
1996	3	90	30,00	21,00	4,58257569
1997	5	153	30,60	57,80	7,60263112
1998	3	97,1	32,37	37,74	6,14356031
1999	3	113,1	37,70	5,92	2,43310501
2000	3	79,9	26,63	7,40	2,72090671
2001	3	86,5	28,83	9,50	3,08274769
2002	4	110,2	27,55	0,54	0,73257537
2003	4	116,1	29,03	8,48	2,91132845

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	431,755595	12	35,9796329	1,49529676	0,18239783	2,10449258
Dentro de los grupos	697,794167	29	24,0618678			
Total	1129,54976	41				



4.4.3.4 Análisis de varianza al 95% de confianza de Potrerillos entre 1997 y el año 2004

En el cuadro 6 y gráfico 4 se presenta el análisis de varianza del contenido promedio anual de nitratos, al 95% de confianza, de Potrerillos en el período 1997-2004. Los resultados demuestran que no hay diferencia estadística significativa, pero si una tendencia creciente en los valores medios de nitratos.

Cuadro 6. Análisis de varianza de datos promedio anuales de nitratos de Potrerillos 1997-2004

RESUMEN

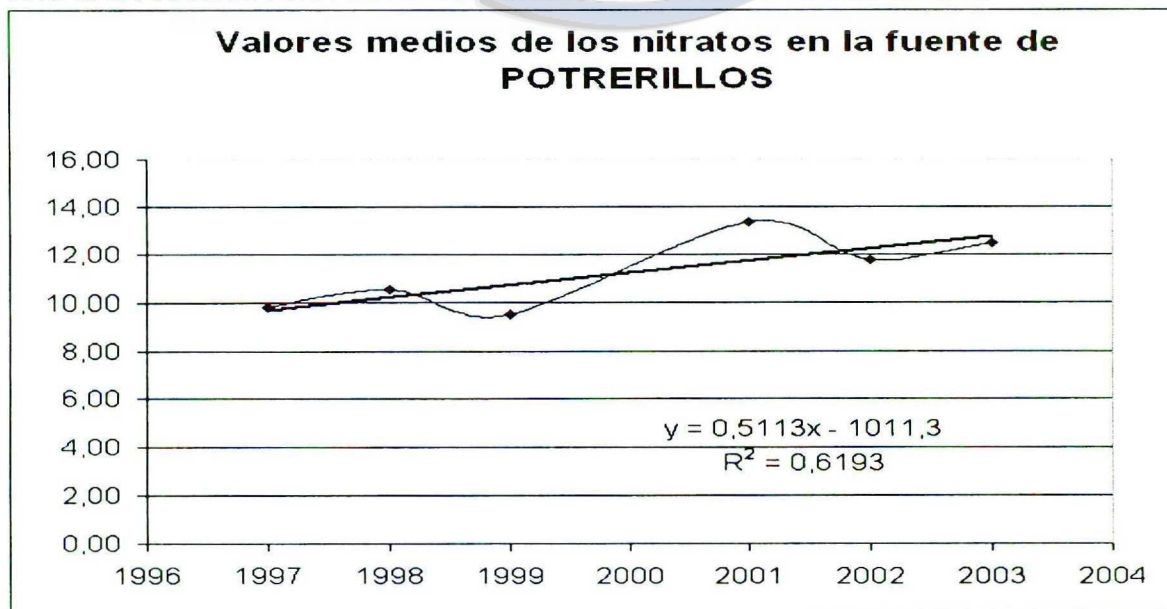
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	desv est
1997	4	39,3	9,83	4,96	2,2
1998	4	42,1	10,53	3,19	1,8
1999	2	19	9,50	38,72	6,2
2001	4	53,4	13,35	15,98	4,0
2002	4	47,1	11,78	20,08	4,5
2003	5	62,4	12,48	14,93	3,9

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	41,7568913	5	8,35137826	0,61438949	0,69047165	2,80999757
Dentro de los grupos	231,0805	17	13,5929706			
Total	272,837391	22				

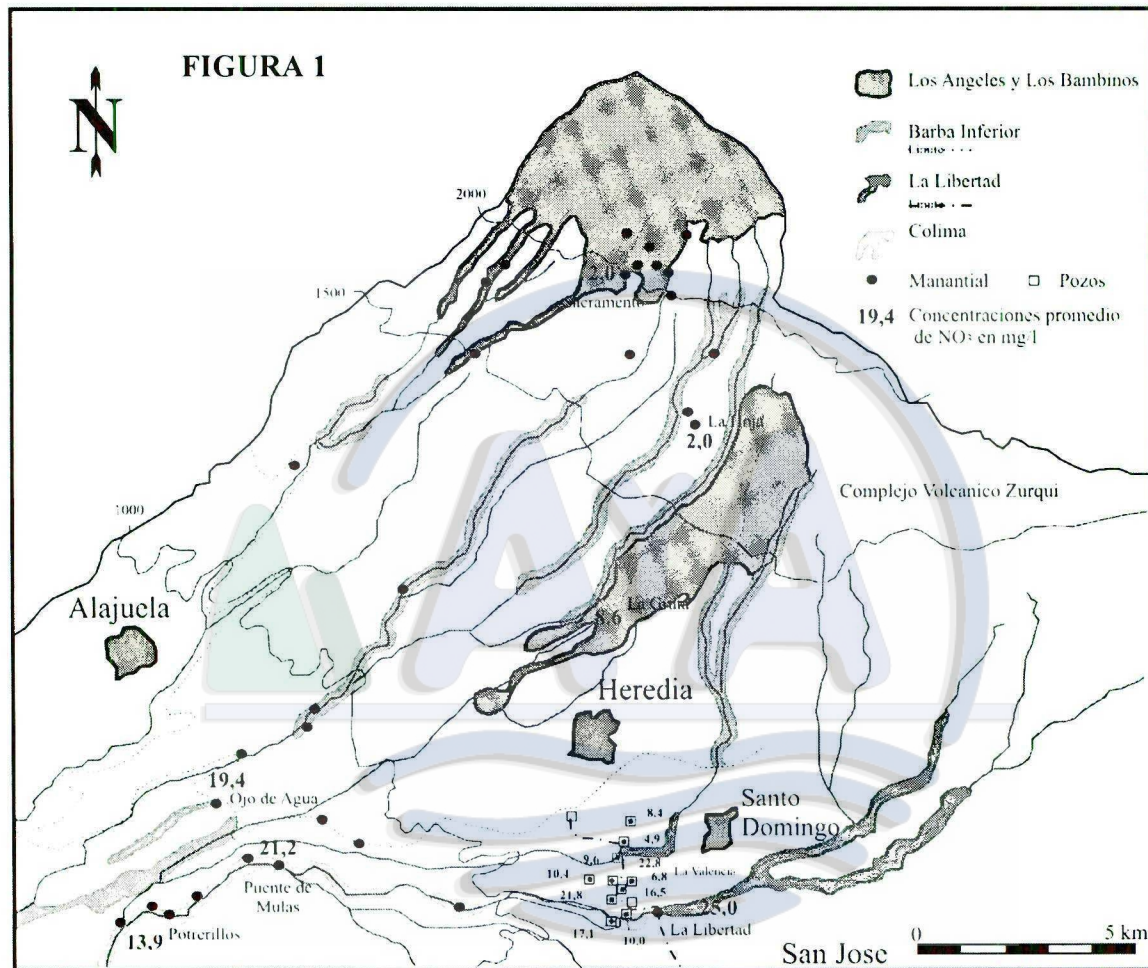
CONSLUSION

NO HAY DIFERENCIA EN LOS NIVELES MEDIOS DE NITRATOS EN LOS AÑOS DE ESTUDIO PERO SI SE OBSERVA UNA TENDENCIA CRECIENTE EN LOS VALORES MEDIOS



4.4.4 Estado actual del contenido de nitratos en algunas fuentes de agua estudiadas

En la figura 1 se presenta la estructura de las condiciones o mapa hidrogeológico del VC, y los resultados promedio de nitratos en mg/L de las siguientes fuentes: Sacramento, La Hoja, La Gruta, Puente mulas, Potrerillos, Ojo de Agua, Los Pozos de Virilla (W) la Fuentes La Libertad.



MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE CENTRAL (Modificado de SENARA-BGS, 1988)

4.5 Vulnerabilidad de la zona de estudio y su correlación con el contenido de nitratos en algunas fuentes estudiadas

Ramírez & Alfaro (2005) dividen en tres zonas de vulnerabilidad el VC utilizando la metodología DI-O-S. La clasificación realizada (zonas de alta, media y baja vulnerabilidad) propone una zonificación de gran parte del Valle Central utilizando como parámetros de clasificación: la profundidad del nivel de agua subterránea, el tipo de acuífero y el tipo de sustrato sobreyacente al mismo. El resultado de este análisis es un mapa generado para orientar las investigaciones futuras respecto al agua subterránea como herramienta básica de ordenamiento territorial regional. De acuerdo al mapa de vulnerabilidad (Ver figuras 2, 3 y 4), la zona de estudio en la cual se localizan las fuentes de recurso hídrico muestreadas se encuentra en su totalidad en una zona de vulnerabilidad media. En esta clasificación los autores proponen los siguientes lineamientos:

4.5.1 Zonas de vulnerabilidad media

Urbanización: se permiten urbanizaciones de densidades medias, 70-249 personas por hectárea, con sistemas de alcantarillado y planta de tratamiento. Deben diseñarse las zonas de protección de manantiales y pozos de abastecimiento público.

Agricultura: permitida pero con estrictas regulaciones de la descarga y aplicación de agroquímico y pesticidas.

Industria: se permiten industrias medianamente peligrosas e inofensivas con sistemas de tratamiento de efluentes y desechos sólidos.

Rellenos sanitarios: permitidos con estudios hidrogeológicos detallados y tratamiento de los efluentes

Canteras: se permiten pero se deben de realizar estudios hidrogeológicos detallados para no destapar los acuíferos.

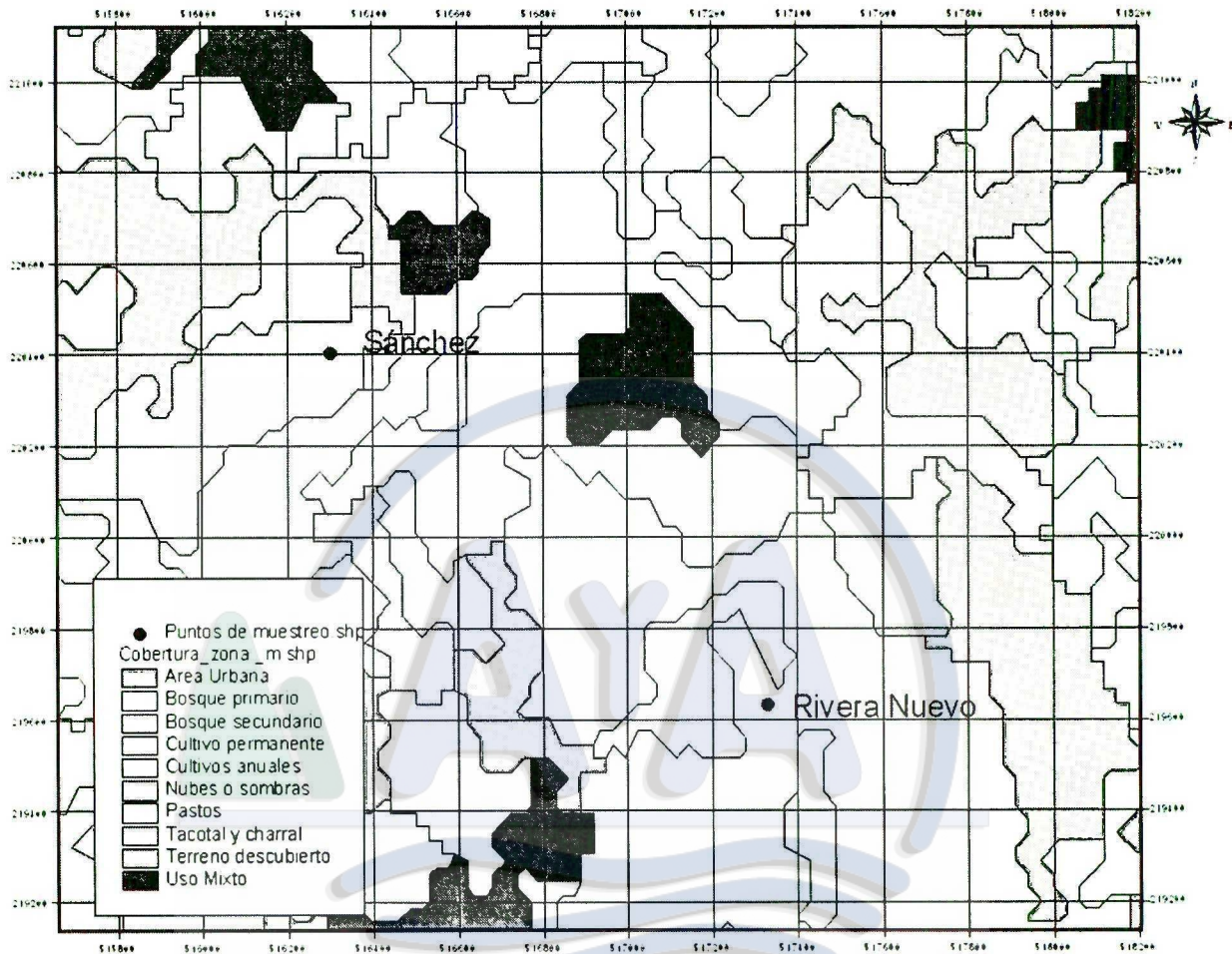
Turismo: permitidos proyectos de baja densidad turística, con plantas de tratamiento de aguas residuales y promover una eficiencia en el uso del agua, realizar estudios hidrogeológicos detallados.

Figura 2. Vulnerabilidad y Usos del Suelo del Valle Central de Costa Rica



MAPA DE VULNERABILIDAD (Modificado de Ramírez & Alfaro, 2002) Y
USOS DEL SUELO (Tomado de IMN – INTA)

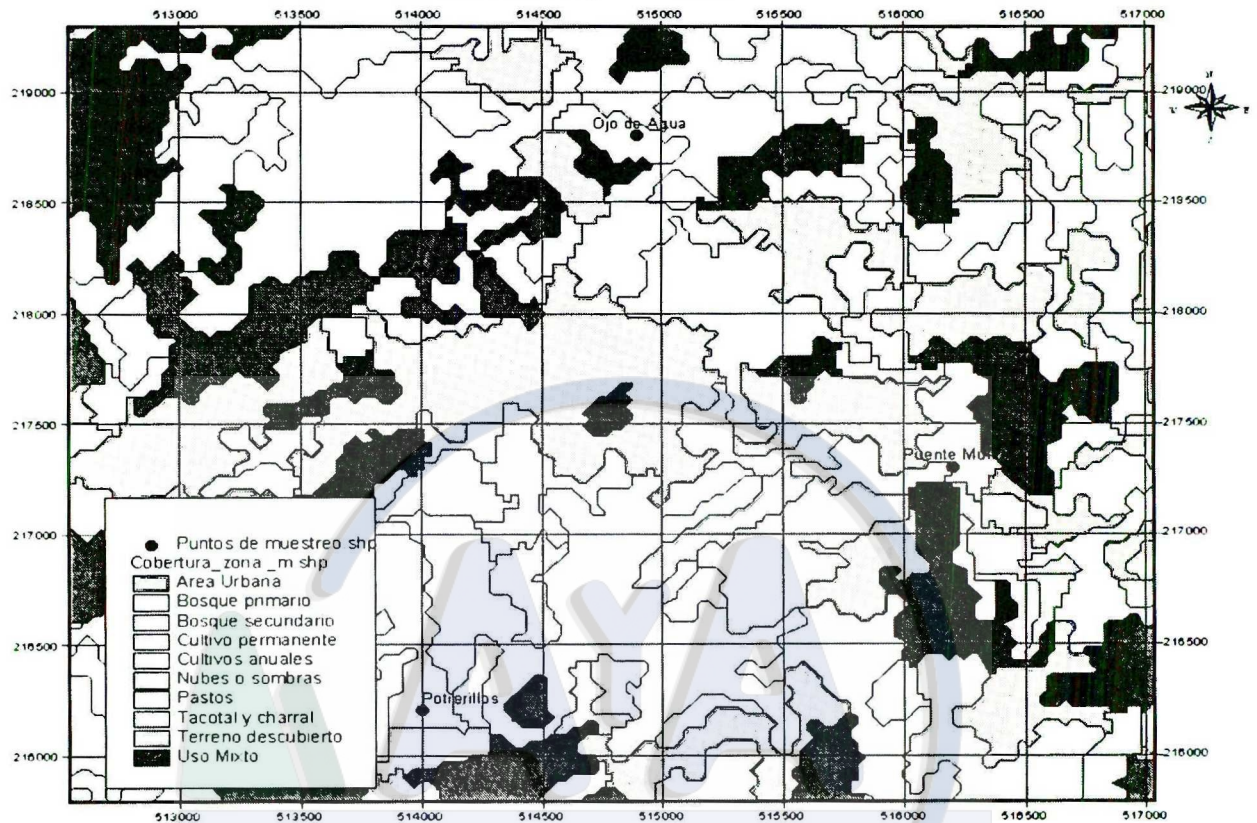
Figura 2. Mapa de Vulnerabilidad y Uso del Suelo - Sector de Fuente Sánchez y Rivera Nuevo



Los Manantiales Sánchez: en la figura anterior se logra observar que estos manantiales se encuentran rodeados por usos de suelo de tipo mixto, bosque secundario, área urbana y cultivos anuales (como sembrados de frutales, flores u otros que son comerciales y de cosecha temporal semestral o anual), principalmente. Es importante, recalcar que al norte del manantial existe un área extensa de uso urbano lo cual puede tener una implicación determinante en cuanto a las concentraciones de nitratos.

La Rivera Nuevo: en la figura anterior se determina que el pozo posee a su alrededor cultivos anuales en gran extensión, además al norte se encuentran la presencia de cultivos permanentes (dominados por café, básicamente). Con gran influencia se nota un área urbana (al noreste) de gran extensión. Con menor influencia se observan sectores con bosque secundario y sectores descubiertos. Determinate puede ser la influencia al norte de cultivos permanentes (café) y área urbana, lo cual puede influir en la presencia de nitratos en las muestras de este pozo.

Figura 3. Mapa de Vulnerabilidad y Uso del Suelo - Sector de Ojo de Agua, Puente Mulas y Potrerillos

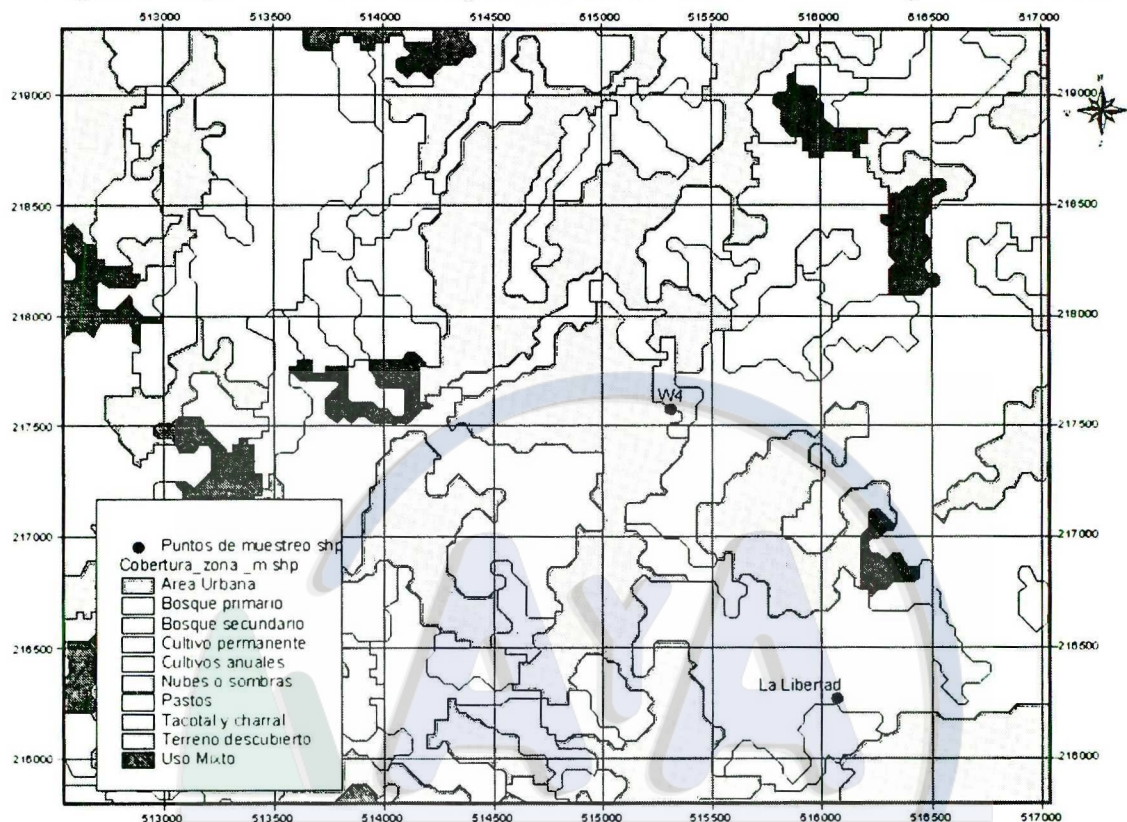


Manantial de Ojo de Agua: en la figura expuesta se puede distinguir que este manantial presenta en sus alrededores uso de suelos de pastos. Sin embargo, aguas arriba la mayor influencia es de tacotales y charrales con usos mixto aislados. Se descarta la influencia de uso urbano y de usos permanentes, por lo que los datos no deberían presentar valores elevados de nitratos.

Puente Mulas: en la figura se ubica este manantial sumamente importante para la Institución, el cual presenta alrededor cultivos anuales y usos mixtos. Sin embargo, lo realmente determinante puede ser que al norte y noroeste se localizan grandes centros de población, los cuales pueden determinar algún tipo de influencia en las concentraciones de nitratos.

Potrerillos: este manantial presenta una mayor influencia al poseer en sus alrededores una mayor extensión de usos de cultivo anual (como sembrados de frutales, flores u otros que son comerciales y de cosecha temporal semestral o anual). No obstante, lo realmente importante puede ser que el área de influencia directa de este manantial está cubierta por cultivos permanentes (café, normalmente), los cuales si podrían influenciar la presencia de nitratos en las muestras.

Figura 4. Mapa de Vulnerabilidad y Uso del Suelo - Sector Pozom W4 y La Libertadlos



El Pozo W4: en la figura donde se muestra la ubicación de este pozo se define la presencia de grandes extensiones de cobertura urbana; quizá el punto de muestreo con mayores riesgos de presentar efectos en la concentración de nitratos por la acción urbana.

Además, al este los cultivos permanentes generan posibles fuentes de nitratos al estar dominados por la siembra de café. Levemente, al noreste se nota la presencia de cultivos anuales.

La Libertad: en la figura este manantial se presenta rodeado por cultivos permanentes (café). Este manantial si posee un riesgo de presentar nitratos en sus muestras, por lo se puede clasificar como de alto riesgo de contaminación por nitratos. Además, otro factor determinante es la presencia al norte de centros urbanos.

4.6 Nitratos y su impacto sobre la salud humana

La toxicidad de los nitratos y nitritos se conoce desde finales del Siglo XIX. En 1895, Mayo describió algunas intoxicaciones en ganado y las atribuyó a la ingesta de nitratos. En 1945, Conway asoció por primera vez la metahemoglobinemia fatal en un infante con ingestión de agua de pozo contaminado con nitratos. Esta enfermedad se clasifica en dos tipos, la adquirida y la hereditaria; en la adquirida los individuos sanos pueden desarrollar la enfermedad tras la exposición a agentes que aceleran la formación de de metahemoglobina, que exceda la capacidad del sistema fisiológico reductos de la metahemoglobina; entre estos figuran los nitratos en el agua para consumo humano. Las concentraciones de 20 a 30% de metahemoglobina producen cianosis; concentraciones superiores pueden causar estupor e incluso muerte por anoxia. Con respecto a la metahemoglobinemia hereditaria, la misma sucede como consecuencia de un déficit hereditario de la

reductasa DPNH-metahemoglobina, o por la presencia o producción de hemoglobina anormales como la hemoglobina M.

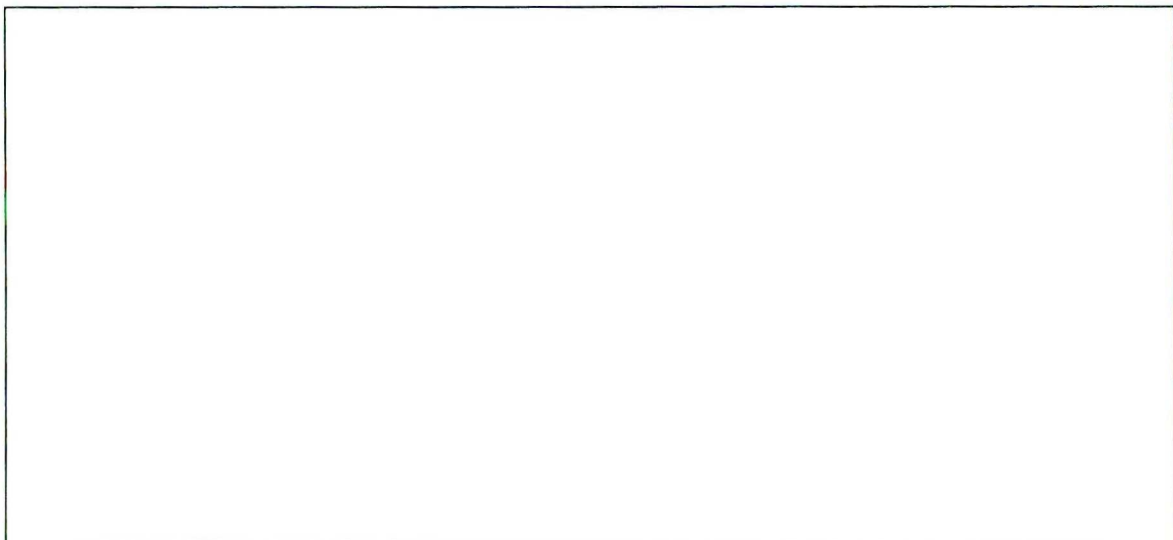
En términos generales la metahemoglobinemia es una enfermedad de poca frecuencia a nivel mundial. Por ejemplo, entre 1945 y 1979 se habían reportado cerca de 2.000 casos en todo el mundo; en Estados Unidos de América el último caso se reportó en 1987.

Con respecto al posible efecto carcinogénico de los nitratos, la primera edición de las Guías de Calidad del Agua Potable (1984, Vol 1) indicaba textualmente "...El nitrito es tóxico cuando existe en cantidades excesivas en el agua potable y en algunos casos causa metahemoglobinemia en lactantes alimentados con biberón; cuando se trata de grupos de mayor edad, no se presenta este problema pero existe la posibilidad de que ciertas formas de cáncer podrían asociarse con concentraciones muy elevadas de nitrato...". La segunda edición de estas Guías de Calidad (1995) señalaban que "...Los experimentos realizados para indicar que ni los nitratos ni los nitritos son directamente carcinogénicos para los animales, pero existe cierta inquietud acerca del aumento de compuestos N-nitrosos muchos de los cuales son carcinógenos para los animales. Los estudios epidemiológicos-ecológicos o de correlaciones geográficas proporcionan datos sugerentes que parecen indicar la existencia de una relación con la exposición alimenticia a nitratos y el cáncer, en particular el de estómago, pero estudios analíticos mas definitivos no han confirmado estos resultados...".

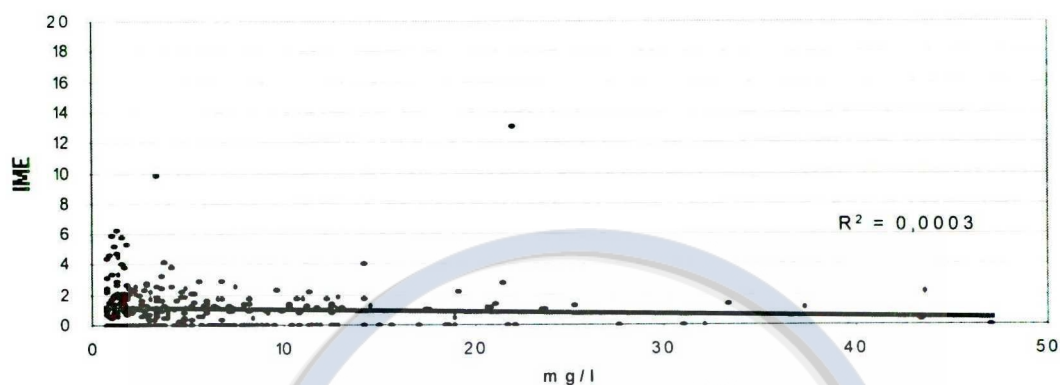
En este mismo aspecto, la tercera edición de las Guías de Calidad del Agua de Bebida (2004) indica textualmente que "...the weight of evidence is strongly against there being an association between nitrites and nitrates exposure in humans and risk of cancer...". Es decir, la OMS ha evolucionado su concepto inicial del posible factor de riesgo de los nitratos en alimentos y aguas y el cáncer hasta indicar que prácticamente no existe relación entre ambas variables; sin embargo, aún persiste en muchos ciudadanos la inseguridad sobre el mencionado tema. En este sentido, a continuación se exponen los principales resultados de varios estudios exploratorios ecológicos sobre la incidencia de varios tipos de cáncer y los contenidos de nitratos en las aguas para consumo humano en 458 distritos geográficos de Costa Rica.

A. Incidencia de cáncer gástrico y nitratos en el agua

En el gráfico 5 se presenta la correlación de nitratos en el agua para consumo humano y la incidencia de cáncer gástrico, e donde aun cuando se estandariza por edad no se aprecia pendiente alguna que evidencie el más mínimo nivel de explicación del riesgo relativo de morir por cáncer gástrico a partir del contenido de nitrato en el agua.



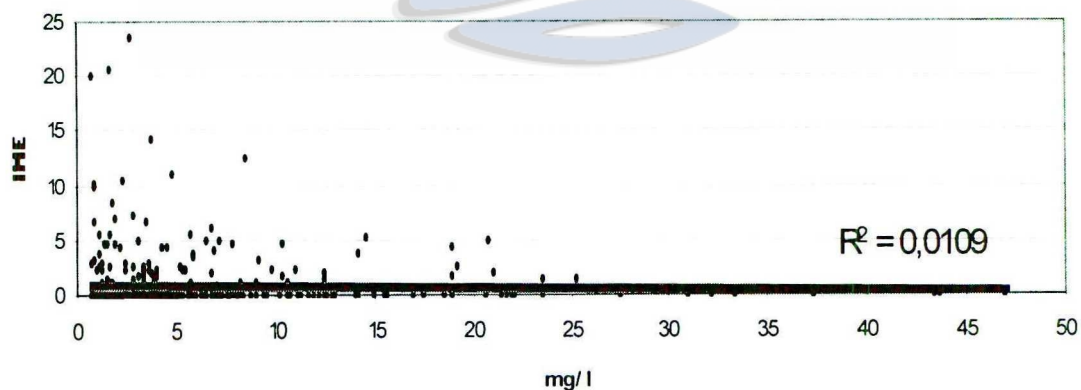
En el gráfico 6 se presenta la concentración de nitratos en el agua de bebida y la incidencia de cáncer de colon en Costa Rica. Los resultados con un $R^2=0.0003$ demuestran que no existe ninguna asociación entre ambas variables.



FUENTE: elaboración propia

C. Incidencia de cáncer de vejiga y los contenidos de nitratos en aguas de bebida

En el gráfico 7 se visualiza la correlación de nitratos en el agua para consumo humano y el cáncer de vejiga en Costa Rica.



FUENTE: elaboración propia

D. Nitratos, nitritos y cáncer pancreático

En una investigación realizada por Angela Coss y colaboradores, en la comunidad de IOWA, se analizó la posible relación entre los contenidos de nitratos en el agua de bebida, mediante un

estudio de casos y controles. Los resultados demostraron que no hay asociación entre el cáncer pancreático y los contenidos de nitratos en el agua de consumo. Sin embargo, el consumo de nitratos en productos de animales puede incrementar el riesgo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El análisis de los resultados nos permite hacer las siguientes conclusiones:

- Existe una persistente contaminación por nitratos en los acuíferos Barba y Colima Superior, oscilando la contaminación promedio entre 10 a 31 mg/L resultando el contenido de nitratos de Fuente la Libertad (27,6) y Pozo Belén 3 (31,7).
- Sin embargo, el análisis estadístico realizado en cuatro fuentes de agua: Puente Mulas, La Libertad, Potrerillos y Pozo W4, no se evidencio diferencia estadísticamente significativa al 95% de confianza los contenidos promedio anuales de nitratos, excepto en el Pozo W4, en donde la diferencia es significativa, pero la tendencia es estable o levemente hacia el decrecimiento. En el caso de las 2 primeras fuentes no se evidencio una tendencia hacia el crecimiento de nitratos. En la naciente o manantial Potrerillos, si bien es cierto no hay diferencia significativa, si se observa una leve tendencia hacia el incremento anual de nitratos.
- La mayoría de las fuentes estudiadas en el acuífero Colina Inferior presentan un contenido normal de nitratos para este tipo de aguas.
- Con respecto a la vulnerabilidad del Valle Central con referencia al recurso hídrico subterráneo, se observa que los puntos con mayor riesgo son el manantial La Libertad y el Pozo W. En segundo lugar se ubica el manantial Potrerillos, el Pozo Rivera Nuevo y el Manantial de Puente de Mulas. De acuerdo, con los usos del suelo los puntos que presentan menor influencia son el Manantial Ojo de Agua y Sánchez.
- De conformidad con los usos del suelo y los contenidos de nitratos en las fuentes estudiadas, sugieren que esta contaminación, se debe al uso intensivo de cultivos como café, en donde se utilizan fertilizantes nitrogenados, como es el caso de Fuente La Libertad que esta rodeada por cultivos permanentes. Otro ejemplo, es el Pozo W4, en donde se evidencia una contaminación vertical por el uso de tanques sépticos de la cobertura urbana.
- Todas la fuentes estudiadas (27) tienen concentraciones promedio de nitratos menores a 50 mg/L. Solamente la fuente La Libertad y el Pozo Belén 2 y 3 sobrepasan el valor recomendado de 25 mg/L, con 26, 27 y 32 mg/L, respectivamente. Es decir el 11,1% de las fuentes estudiadas tienen valores promedio de nitratos entre 25 y 50 mg/L. El 88,9% tienen valores inferiores a 25 mg/L.
- Todas las fuentes estudiadas presentan contenidos de nitratos inferiores al valor máximo permisible de 50 mg/L, por lo que el agua que consumen los ciudadanos del VC es potable con respecto a este indicador o parámetro.
- El análisis estadístico de varianza al 95% de confianza no evidencia una tendencia hacia el incremento de nitratos en la Fuente La Libertad, Puente de Mulas y el Pozo W4. Sin embargo, llama la atención la tendencia leve hacia el incremento de manantial Potrerillos, el cual pertenece al acuífero Colima Inferior, lo cual evidencia contacto en alguna zona del acuífero Barba y alguna contaminación vertical de fuentes puntuales o dispersas.

- Con respecto al vínculo entre el contenido de nitratos en el agua para consumo humano, se comprueba que con los contenidos actuales de estación no existe:
 - a) Causalidad con Metahemoglobinemia en lactantes en el Valle Central.
 - b) Asociación estadísticamente significativa entre los contenidos de nitratos en aguas de consumo suministradas en 458 distritos y la incidencia de: Cáncer Gástrico, Cáncer de Vejiga y Cáncer de Colon.
- Con los datos existentes de nitratos es imposible pronosticar cuando estos acuíferos sobrepasan la norma o valor máximo permisible de 50 mg/L.

5.2 Recomendaciones

Debido a la enorme importancia que tiene el agua subterránea en el abastecimiento de agua potable a las poblaciones del VC, es necesario:

- Realizar estudios de Isótopos de Nitrógeno (N14 y N15) para determinar el origen de la contaminación por nitratos en los tres acuíferos estudiados.
- Determinar con mayor profundidad las áreas o zonas de recarga de los tres acuíferos.
- Realizar estudios de correlación entre el uso de los suelos y las posibles fuentes puntuales y dispersas por nitratos en estos acuíferos.
- Promover la ejecución del Plan de Desarrollo Urbano del Gran Área Metropolitana con el objetivo de delimitar las zonas de recarga y protección de los acuíferos.
- Paso de las palabras a los hechos y construir el alcantarillado sanitario (con tratamiento) en los cantones del Valle Central.
- Determinar la influencia que tiene el uso de fertilizantes nitrogenados como contaminantes por nitratos con los acuíferos del VC
- Coordinar esfuerzos entre los diferentes organismos públicos y privados para realizar investigaciones y acciones para prevenir la contaminación química y microbiológica de estos importantes acuíferos.
- El AyA debe mantener un equipo multidisciplinario (Ingenieros Sanitarios, Hidrogeólogos, Geólogos, Microbiólogos y Químicos) con el propósito de brindar el seguimiento adecuado mediante análisis de laboratorio y estudios hidrogeológicos en estos acuíferos.
- El AyA debe promover la participación comunitaria con el objetivo de proteger las fuentes de agua, con instrumentos como los programas: Sello de Calidad Sanitaria y Bandera Azul Ecológica.
- Por último, no se debe "satanizar el uso de tanques sépticos" lo que es conveniente es identificar las zonas geológicas en donde se permite o no usar esta tecnología de tratamiento de aguas residuales domesticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mora, Darner; Portuguese, Felipe. Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica al año 2004. Tres Ríos, La Unión, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas-AyA; 2005.
2. AyA; OMS/OPS. Agua potable y saneamiento de Costa Rica: análisis sectorial. San José, Costa Rica; 2002.
3. Foster, Stephen; Ventura, Miguel; Hirata, Ricardo. Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación de América Latina y El Caribe en relación con el suministro de agua potable. Lima, Perú. OMS/OPS y CEPIS; 1987.
4. SENARA-BES y AyA. Continuación de la investigación hidrogeológica de la zona norte y este del Valle Central, Costa Rica. San José. Informe final (1984-1987); 1988.
5. Arredondo, Sandra. Delimitación de las zonas de protección de los acuíferos en el área de influencia de Belén, Heredia. San José. SENARA (Informe interno); 1995.
6. Gómez, A. Evaluación del potencial de los acuíferos y diseño de las captaciones de aguas subterráneas en la zona de Puente Mulas, Heredia, Costa Rica. San José. Universidad de Costa Rica [Tesis]; 1987.
7. SENARA y BGS. Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica, escala 1:50.000; 1985.
8. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Segunda edición. Addendum al volumen 1. Recomendaciones; 1995.
9. WHO. Guidelines for drinking water quality. Second edition. Geneva. Volume 2. Health criteria and other supporting information; 1996.
10. Pacheco, Julia; Cabrera, Armando. Fuentes principales de nitrógeno de nitrato en aguas subterráneas. Ingeniería 7.2, artículo de divulgación; 2003: 47-54.
11. Lilia A. Albert. Introducción a la toxicología ambiental. México. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente. OMS/OPS; 1997.
12. Presidencia de la República de Costa Rica. Reglamento para la calidad del agua potable. Periódico oficial La Gaceta N°84 del 3 de mayo 2005.
13. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. Third edition. Geneva, volumen 1. recomendations; 2004.
14. Coss, Angela et al. Pancreatic cancer and drinking water and dietary sources of nitrate and nitrite. American Journal of Epidemiology. Vol 159. N°7; 2004 : 693-701.
15. Mora, Darner. Evolución de algunos aspectos epidemiológicos y ecológicos del cáncer gástrico en Costa Rica. San José. Revista Costarricense de Salud Pública. Año 13, N°21; 2003 : 7-18.
16. Rapaport, Samuel I. Introducción a la hematología. 1° edición. Barcelona, España; 1977.
17. Clesceri, Lenore; Greenberg, Arnold; Gatton, Andrew. Standard Methods for examination of water and wastewater. 20th edition. Washington D.C. APHA, AWWA, WEF; 1998.

18. Mora, Darner; Chamizo, Horacio; Mata, Ana. Estudio exploratorio sobre la incidencia de cáncer gástrico y los contenidos de nitratos en el agua potable de Costa Rica. Tres Ríos, Cartago. Laboratorio Nacional de Aguas AyA. Informe; 2005.
19. Kussmaul, S. Estratigrafía de las rocas ígneas. En: Denyer, P. y Kussmaul, S. (Comp.): Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago; 2000: 63-86.
20. Marshall, J; Idleman, B. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints on Quaternary landscape evolution of the central volcanic arc and Orotina debris fan, Costa Rica. Abstract GSA Annual Meeting, No. 06426;1999.
21. Kussmaul, S. Comparación petrológica entre el piso volcánico del Valle Central y de la Cordillera Central de Costa Rica. Ciencia y Tecnología 12 (1-2); 1988: 109-116.
22. Echandi, E. Unidades volcánicas de la vertiente norte del río Virilla. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica [Tesis]; 1981.
23. SENARA-BGS. Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica, 1:50.000. SENARA-BGS, Gran Bretaña. 1985.
24. Denyer, P; ARIAS, O. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Revista Geol. América Central; 1991. 12: 1-59.
25. Vargas, A. 2000: Acuíferos. En: Denyer, P. y Kussmaul, S. (Comp.): Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago; 2000: 425-441.
26. Ramírez, R; Alfaro, A. Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica. Revista Geol. América Central, 27; 2002: 53-60.
27. Organización de Naciones Unidas. Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas. ONU, New York, USA; 1973