



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE NICARAGUA**
Centro para la Investigación de



los Recursos Acuáticos de Nicaragua

**"ESTUDIO DEL RIESGO DE CONTAMINACION DEL
ACUIFERO LEON-CHINANDEGA, NICARAGUA"
PROYECTO ARCAL XXXI.**

**ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA
LA PROMOCION DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA
NUCLEARES EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE
(ARCAL)**

**UBICACIÓN,
ANTECEDENTES Y
JUSTIFICACION DEL
ESTUDIO.**

ZONA DE ESTUDIO.

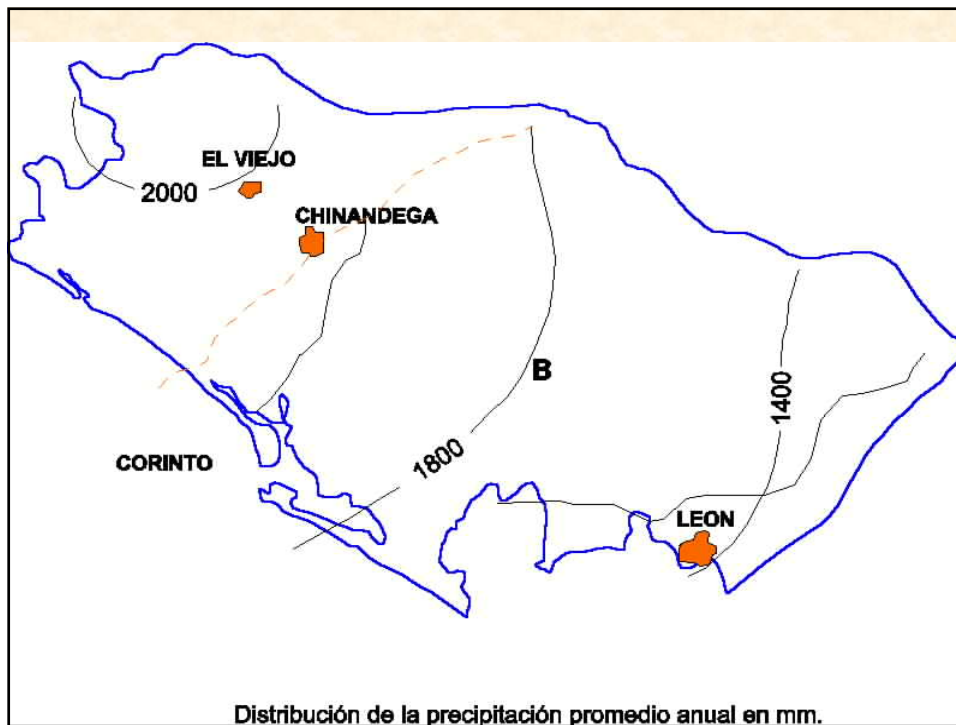


OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

- **Evaluar el impacto al agua subterránea del acuífero León-Chinandega, por los agroquímicos utilizados principalmente en el cultivo del algodón.**
- **Contribuir a la caracterización hidrogeológica del acuífero, que permita estimar el riesgo a la contaminación.**
- **Desarrollar un Plan de Manejo del Acuífero.**

DISEÑO DEL ESTUDIO.

- CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA.
- CARACTERIZACION ISOTOPICA.
- CARACTERIZACION HIDROQUIMICA.
- DETERMINACION DE CONTAMINANTES.



CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA.

– CLIMA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

- **CLIMA:**

El régimen de precipitación presenta dos período marcados, uno relativamente seco que se extiende desde Diciembre hasta Marzo y otro lluvioso que va de Mayo a Octubre, donde los meses de Noviembre y Abril son los meses de transición entre la época lluviosa y la época seca respectivamente.

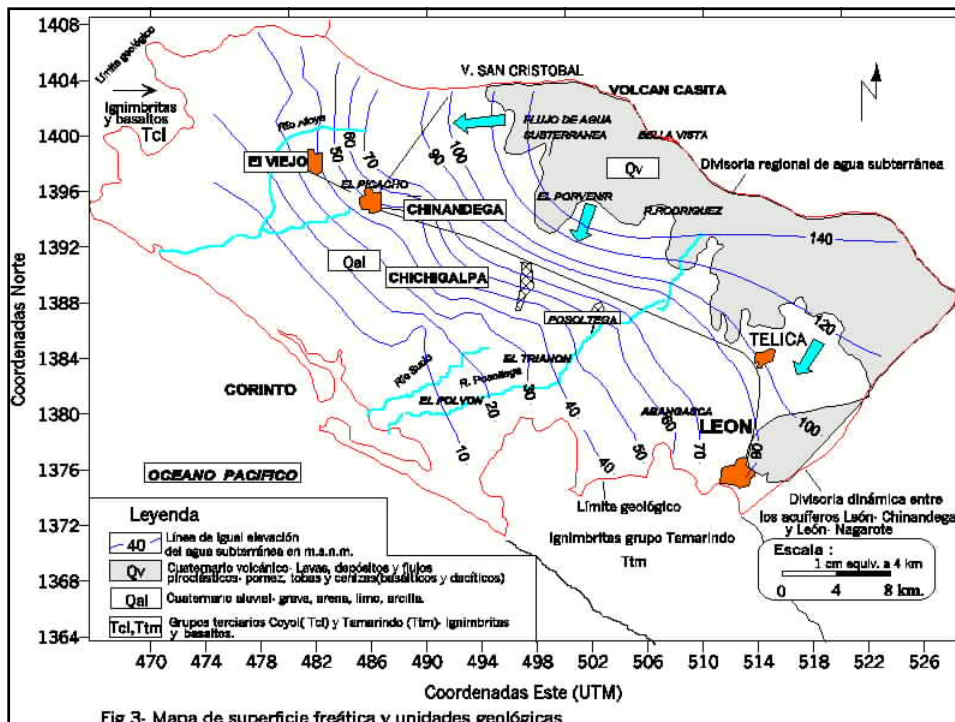
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

CLIMA:

- **La temperatura media anual: 27.5 °C para las estaciones meteorológicas León, Corinto, Chinandega, Posoltega e Ingenio San Antonio. Las temperaturas mas altas: Abril y oscilan entre 29 y 32 °C.**
- **La humedad relativa: 74 a 89% entre Junio y Octubre, luego disminuye de 76 hasta 50% entre Diciembre y Abril.**
- **Evaporación mas alta: Marzo y Abril de 213 a 312 mm, en los meses más lluviosos y nubosos ésta baja en el rango de 96 a 178 mm, donde los valores mínimos ocurren en Septiembre y Octubre.**
- **Área de estudio, según W. Köppen: Clima de Sábana Tropical.**

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

- La red hidrográfica se asocia principalmente a la cuenca del Río Atoya y en las subcuencas de Oeste a Este están los ríos Sasama, Atoya, Chinandega, El Realejo, Las Alajas, Sucio o Amalia, Posoltega, Telica y Chiquito éste último atraviesa la Ciudad de León. La mayoría de los ríos se conectan hidráulicamente con el agua subterránea entre 60 y 80 m.s.n.m. siendo menor durante el verano y mayor en invierno. En el mismo sentido los caudales promedios oscilan entre 1 y 8.5 m³/seg.
- En la zona de planicie, en las zonas de los ingenios Monterrosa y San Antonio, existen al menos 22 presas con capacidades entre 15x10³ y 250x10³ donde el 75% corresponden al último; la que es utilizada para regadío en verano y en ciertos casos de canícula en invierno, conducida a través de canales de riego, donde la fuente procede principalmente del bombeo desde ríos y pozos (agua subterránea), solo del agua superficial como promedio hasta 1974, se extrajo alrededor de 350 x10³ m³ /año.



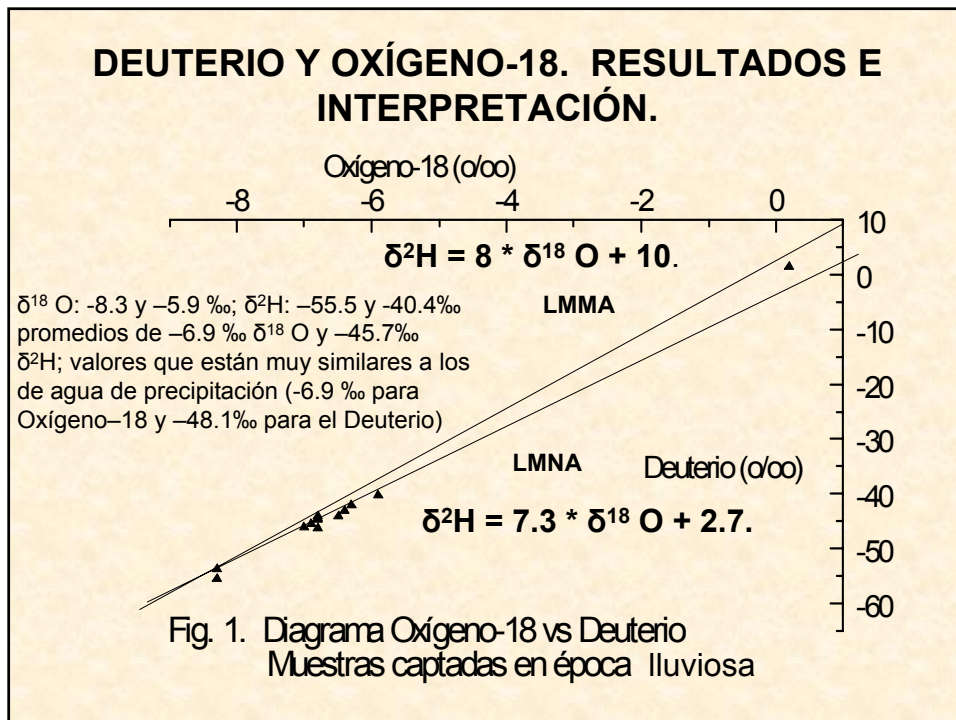
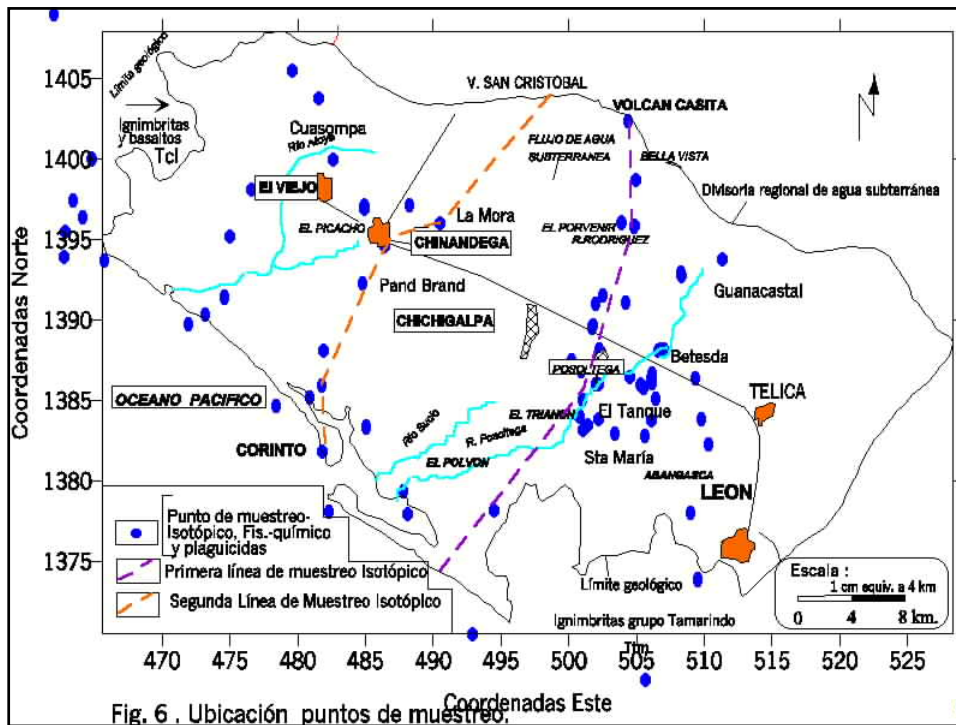
CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL ACUÍFERO LEÓN CHINANDEGA.

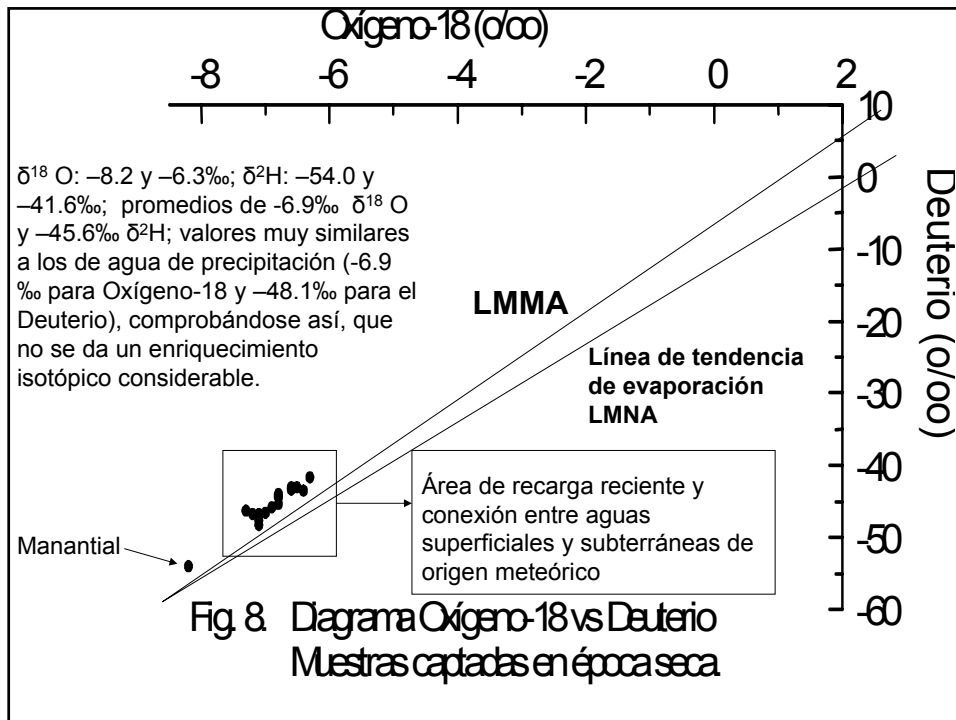
La aplicación de técnicas isotópicas en el estudio de la contaminación de este acuífero ha permitido valorar los siguientes aspectos:

1. La medida de los isótopos estables (Deuterio y ^{18}O) del agua con la finalidad de identificar las zonas de recarga y descarga del acuífero.
2. La medida del Tritio (^3H) de origen termonuclear, para obtener información sobre la edad radiométrica del agua que se extrae actualmente del acuífero y así determinar el grado de explotación de éste.
3. La medida de ^{14}C , empleado también para determinar la edad del agua de consumo que se está explotando en el acuífero a nivel zonal.

CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL ACUÍFERO LEÓN CHINANDEGA.

4. Con los resultados de los análisis de H-3 y C-14; se podría estimar el tiempo de residencia del agua en el acuífero a nivel zonal.
5. La caracterización isotópica del acuífero de las concentraciones de Deuterio (^2H) y ^{18}O , relacionado con la elevación, para definir la recarga regional desde la cordillera volcánica.





DEUTERIO Y OXÍGENO-18. INTERPRETACIÓN.

Con estos resultados se deduce que estas aguas experimentan una baja tasa de evaporación, tanto en el período húmedo como en el período seco. Los resultados correspondientes a las muestras captadas en el período seco, están entre la Línea Meteorológica Mundial del Agua y la Línea Meteorológica de Nicaragua del Agua, lo anterior demuestra que el nivel de comportamiento isotópico es muy similar en los períodos seco y húmedo, probablemente se deba a que en los períodos muestreados tanto la temperatura como la precipitación no sufrieron mucha variación.

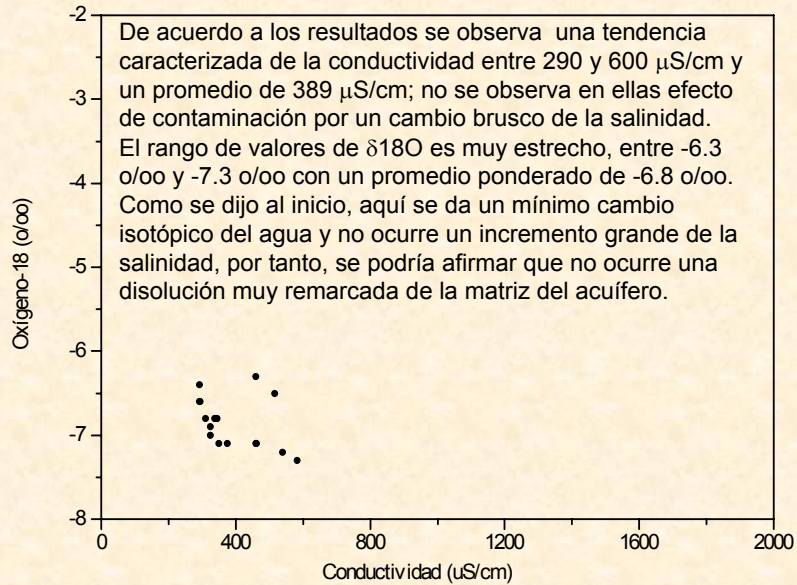
DEUTERIO Y OXÍGENO-18. INTERPRETACIÓN.

- **Existe una reciente recarga y considerable conexión hidráulica entre aguas superficiales y subterráneas.**
- **Adicionalmente dada la similitud en las concentraciones de O-18 y Deuterio, a diferentes profundidades se considera que dicha conexión y tipo de recarga se mantiene al menos entre los primeros 20 metros en la zona baja (El Realejo) y 60 metros en la zona intermedia-alta (la Mora Norte y Sur). El leve enriquecimiento isotópico en pozos de mayor elevación con respecto a los de menor elevación (ejemplo, La Mora Norte y Sur vs Picacho) podría deberse al aporte de la fase sólida (mineralógica, se acercan más al volcán activo San Cristóbal – alteración hidrotermal).**

RELACIÓN CONDUCTIVIDAD Y CONTENIDOS ISOTÓPICOS.

Este tipo de relación se efectúa con la finalidad de investigar los procesos que tienen lugar en el acuífero, así como el origen de un posible incremento de la salinidad. La innovación isotópica del agua sin aumento importante de la salinidad (conductividad) puede ser debido a un simple proceso de evaporación, mientras que lo contrario, cambio en la salinidad pero con los contenidos isotópicos invariables, es el resultado de la disolución de la matriz del acuífero.

Relación Conductividad / Oxígeno-18.
Muestras captadas en período seco.
(Abril, 1999).



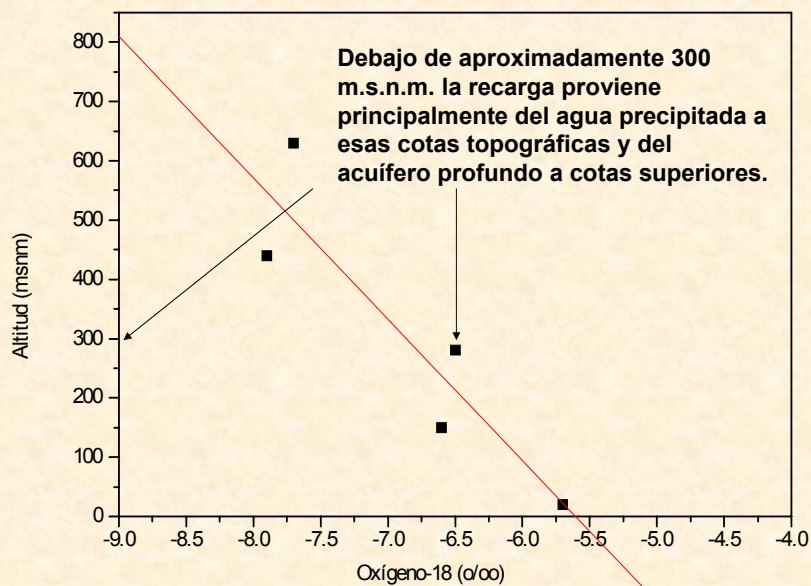
EFFECTOS DE ALTITUD SOBRE EL CONTENIDO DE OXÍGENO -18.

El efecto de la altitud actúa sobre el contenido isotópico de las aguas y es causado por el descenso de la temperatura a medida que la topografía de la zona va adquiriendo cotas más altas. También es influenciado por el origen y la trayectoria de las masas de vapor que producen las precipitaciones, como consecuencia ocurre un empobrecimiento isotópico, es decir se van adquiriendo valores más negativos a cotas superiores.

EFFECTOS DE ALTITUD SOBRE EL CONTENIDO DE OXÍGENO -18.

La finalidad de analizar este efecto es evaluar el potencial del agua de recarga en el acuífero; determinando la importancia relativa de la precipitación sobre la planicie con respecto a la precipitación sobre las cotas altas de la cordillera volcánica.

Fig. 10. Diagrama Oxígeno-18 vs Altitud.
Muestras captadas en época húmeda.



CARACTERIZACION HIDROQUIMICA

De acuerdo a la clasificación basada en el tipo de ion predominante de la zona estudiada, las aguas se catalogan como Bicarbonatadas–Cálcicas–Magnésicas ($\text{HCO}_3 = >\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$) y Bicarbonatada– Magnésica – Cálcica ($\text{HCO}_3^{-1} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$).

Desde el punto de vista hidroquímico son aguas relativamente jóvenes y de origen meteórico. En la mayoría del área de estudio, se corresponden con aguas de recarga relativamente reciente (alta a intermedia).

DETERMINACION DE CONTAMINANTES.

Nitratos, Origen:

- **Fuentes naturales:** Nitrógeno contenido en las rocas ígneas pueden proporcionar Nitrato a las aguas naturales en el proceso de meteorización.
- **Fuentes Antropogénicas:** Actividad Agrícola, por el uso excesivo de fertilizantes orgánicos y químicos nitrogenados, la mayoría de estos pozos se encuentran en una zona de intensa actividad agrícola, con antecedentes históricos de práctica de monocultivo (algodón) y el empleo sin control de fertilizantes nitrogenados (urea); de este modo es posible que los nitratos lleguen por percolación hasta la fuente subterránea mediante el proceso de lixiviación y oxidación, y que la textura franco-arenoso del suelo favorezca este proceso.
- **Excretas de Animales**
- **Fuentes de Contaminación Originados por Desechos Humanos.**
- **Acabado Sanitario Inadecuado y falta de Protección de las Fuentes de Agua.**

CONTAMINACION POR PLAGUICIDAS.

Se realizaron 4 campañas de muestreo areal y una estratificada de las épocas lluviosa y seca, tanto en agua como en suelos para la determinación de agroquímicos organoclorados, organofosforados y nitrogenados.

Plaguicidas organoclorados: α -BHC, β -BHC, lindano, δ -BHC, heptacloro, aldrín, heptacloro epóxido, α -Endosulfan, dieldrín, pp-DDE, endrín, β -Endosulfan, pp-DDD, ppDDT y toxafeno.

Plaguicidas organofosforados fueron: mocap, naled, forate, terbufos, diazinón, metil-paration, malatión, fentión, etil-paratión, clorfenvifos, DEF, etión, gutión, zolone y coral.

Herbicidas triazinas son: cianazina, simazina, atrazina, diurón, propazina, terbutilazina y metolaclor.

PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS (ng.L-1) EN SUELOS (perfiles de 2,10 m de prof.)

Aeródromo El Picacho a nivel superficial.

- β -BHC, lindano, heptacloro epóxido, dieldrín (175.58), pp-DDE (11,644.33), endrín (579.16), pp-DDT (53,572.18) y toxafeno (5,390,631.86).

En Pan Brand entre 20 y 100 cm.

- β -BHC (45.54), Dieldrín (79.45), pp-DDE (3,021.60), Endrín (1,154.62), pp-DDT (534.85) y Toxafeno (389,437.83).

El Bálsamo entre 40-60 cm.

- Se detectaron los mismos plaguicidas que en Pan Brand.

Las mayores concentraciones se observan en la superficie, a pesar de que el suelo es relativamente permeable (franco arenoso) y con moderado contenido de materia orgánica, lo que se explica por la baja movilidad y solubilidad de este tipo de plaguicidas, aunque son de alta persistencia y toxicidad.

PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN AGUA

- **pp-DDD, pp-DDT y Toxafeno se encontraron en los pozos de El Picacho y Pan Brand en un rango de concentraciones de 2.16 a 70,533.48 ng.L⁻¹; mayores valores guías del Water Quality Standards.**
- **En Ceilán y Pan Brand se detectaron β-BHC y pp-DDE en concentraciones que van de 1.93 a 29.56 ng.L⁻¹**
- **El valor máximo de pp-DDE corresponde a Pan Brand, en donde se presenta una mayor variedad de plaguicidas (el 87.5% de los valores detectados se encuentran por encima de los valores guías para el heptacloro, heptacloro epóxido, pp-DDE, endrín, pp-DDD, pp-DDT y Toxafeno).**
- **En el muestreo estratificado los resultados indican la presencia de plaguicidas organoclorados en la superficie y no en los niveles más profundos para los pozos de: Entrada al Realejo, San Ramón, La Mora Norte y El Picacho**

PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS EN AGUA.

- **El plaguicida organofosforado fentión también fue encontrado en el municipio de Posoltega con un valor de 553.05 ng.L⁻¹, sobrepasa el valor permitido por la norma para agua potable, el cual es de 100 ng.L⁻¹**
- **Se determinó malatión, fentión y etil-paaratión. El etil-paratión fue encontrado con mayor frecuencia en concentraciones que variaron de 5.38 ng.L⁻¹ a 93.82 ng.L⁻¹, la mayor concentración se detectó en el pozo perforado de la Entrada al Realejo; el fentión sólo fue encontrado en el pozo perforado de la Hacienda El Trianón en una concentración de 11,630.40 ng.L⁻¹.**

HERBICIDAS NITROGENADOS – TRIAZINAS EN AGUA (POZOS).

- Los herbicidas triazinas son frecuentemente detectados en el agua potable y causan una serie de efectos en la salud, incluyendo cáncer, defectos de nacimientos y desorganización del sistema endocrino (hormonas).
- Los resultados de los análisis mostraron presencia de simazina, atrazina, propazina, terbutilazina y metolaclor en concentraciones que variaron de 8.08 a 4,241.41 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en el pozo de El Picacho PE-13D y 217.01 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en la muestra correspondiente a Toro Blanco. La máxima concentración de terbutilazina fue detectada en la muestra de agua de La Mora con un valor de 396.89 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Los valores de metolaclor alcanzaron concentraciones máximas de 394.7, 176.75 y 116.39 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en La Mora, Pan Brand y El Picacho PE-13D respectivamente.

CONCLUSIONES.

- El acuífero regional es predominantemente freático (no confinado), con dirección de flujo Sur – Suroeste, con una zonalidad en cuanto a transmisividad aumentado de la costa a la cadena volcánica desde 200 hasta 3,500 m^2 /día, en el mismo sentido se incrementa la profundidad y la carga hidráulica, la velocidad promedio líneal es de 0.2 m/día. La recarga natural del sistema de agua subterránea en promedio varía del 25 al 32% con respecto a la precipitación. Se detectó la ocurrencia de acuíferos colgados locales principalmente en la zona alta arriba de los 200 m.s.n.m.
- Los tipos hidroquímicos predominantes bicarbonatado-cálcico-magnésicos y bicarbonatado-magnésico-cálcicos; corroboran el relativo poco tiempo de tránsito del agua subterránea y el poco intercambio catiónico en la mayor parte del trayecto; los STD y cloruros como indicadores principales de la salinidad son típicos de aguas dulces.

- **Incremento de nitratos, principalmente antrópica, primero por residuos animales y humanos el segundo por oxidación de la tubería en pozos perforados.**
- **Según las características isotópicas se identificó la influencia del efecto de altitud a partir de la relación Oxígeno 18 vs Altitud. La misma demuestra, sin embargo, que la línea de tendencia de la evaporación no es importante, indicando un leve enriquecimiento isotópico hacia las cotas más bajas y viceversa.**
- **Se observó una marcada relación entre aguas superficiales y subterráneas ambas de origen meteórico reciente, lo que indica que ocurre recarga, tanto en zonas altas como bajas, conservándose el predominio en las primeras.**
- **El riesgo de contaminación del agua subterránea como producto de la relación entre la vulnerabilidad natural y la carga contaminante, se puede catalogar entre moderada y alta principalmente en las zonas de uso histórico de agroquímicos y de centros poblacionales.**

- **Como factores de riesgo de contaminación desde la óptica de la vulnerabilidad se tienen, el carácter freático del acuífero, la poca profundidad del agua en las zonas pobladas y de actividad agrícola (2 – 18m), la influencia de fracturas y la alta permeabilidad en la zona saturada y no saturada, así como las características físico químicas y biológicas del suelo (mecanismos de transporte de contaminantes), como factores de riesgo se consideran primero la clase, tiempo, cantidad y frecuencia de aplicación de agroquímicos, la influencia de la penetración de raíces y la poca protección de los pozos (los últimos dos se consideran caminos preferenciales antrópicos de transporte de contaminantes).**