



IAEA-TCR-04918

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

END OF MISSION REPORT

ON

**“Preparatory meeting for integration and
interpretation of hydrological data”**

2009-09-21 to 2009-09-25

by

M. Jean-Denis Taupin

(IAEA-TCR-04918)

**“Characterizing the Contamination of Water Resources in the Upper Watershed
of the Rio Lempa”**

Latin America Section 1

INFORME OIEA

IAEA- proyecto RLA/8/038-045

EVALUACION DEL BORRADOR DEL INFORME DEL
PROYECTO TRIFINIO

RLA/8/038

**“Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e
hídricos en la cuenca Alta del Río Lempa”**

PROPUESTAS PARA MEJORARLO Y
EVALUACION DE LA SEGUNDA FASE DEL
PROYECTO **RLA/8/045**

J.D. TAUPIN

OCTUBRE 2009

Project number : RLA/8/038 and RLA/8/045 9001

Project title : Characterizing the Contamination of Water Resources
in the Upper Watershed of the Rio Lempa

Expert's name : Dr. Jean-Denis TAUPIN

Dates of assignement : 21 September 2009-25 september 2009

Task Title : Preparatory meeting for integration and interpretation of
hydrological data.

Name of the Counterparte Institution :

Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección General de
Cooperación Externa, Dirección de Cooperación Multilateral

Review of the preliminary report and information about environment and hydrologic data on the Upper Watershed of the Rio Lempa.

Esta misión hecha entre el 21 y 25 de septiembre 2009 en San Ignacio (El Salvador) fue principalmente consagrada a la revisión del borrador del informe final del proyecto RLA/8/038, que agrupa tres países (El salvador, Guatemala, Honduras) a través un proyecto transfronterizo (Plan Trifinio-CARL) cuyos objetivos fueron estudiar la Cuenca Alta del Río Lempa (CARL) desde el punto de vista de las condiciones ambientales para sacar informaciones hidrológicas y hidrogeológicas (mapa de potencialidades de zonas acuíferas). Durante este taller fue tratado brevemente el plan de trabajo de la segunda fase del proyecto; es decir, el estudio más amplio de zonas delimitadas dentro la zona del proyecto inicial. Infortunadamente, el grupo de Honduras no pudo asistir a este taller.

CRONOGRAMA :

- Salida de San salvador el lunes 21 de septiembre a la 7h30 de la mañana, llegada a San Ignacio a la 9h30. Inicio del taller a las 11h00.

Lunes : Observaciones y discusiones sobre el borrador del informe final, problema de forma, problema de fondo, estrategia y trabajo propuesto para mejorar el informe durante y después del taller. Presentación del proyecto RLA/8/045 (que constituye la segunda fase del proyecto RLA/8/038 pero centrada en dos zonas de estudios más pequeñas dentro la

C.A.R.L.) y del plan de estudio de la zona de Ostúa-Metapán –Guatemala-El Salvador- (Mario Guevara), la otra zona ubicada al este de la cuenca -Ocatepeque-Esquipulas- no fue procesado por la ausencia del grupo de Honduras.

Martes : Constitución de 3 grupos de trabajo para procesar los datos de química, litología y geofísica, isotopía.

Miércoles : Continuación del trabajo de los 3 grupos, seminario de 2 horas sobre la interpretación de los isótopos ambientales en los acuíferos.

Jueves : Salida al campo durante la mañana, visita de un punto alto, el cerro El Pital (> 2000 m), vista sobre el valle (San Ignacio-Las Palmas), visita de una estación del proyecto de recuperación de los isótopos de lluvia (ahora no funciona), regreso en el valle hasta la frontera con Honduras para ver una estación hidrométrica destruida el año pasado en el río Lempa. Continuación del trabajo de los 3 grupos

Viernes : Restitución del taller, recomendaciones.

Salida de San Ignacio a las 1h00 de la tarde en dirección de San Salvador o del Guatemala.

Sábado : Visita del Parque Montecristo, vista de la zona de estudio de Metapan y de su laguna.

INSTITUTOS PARTICIPANTES EN EL TALLER :

El Salvador : Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), la Universidad de El Salvador (UES), el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), representante del plan Trifinio

Guatemala: el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, representante del plan Trifinio.

Equipo técnico de la secretaria ejecutiva Trinacional

GTZ (cooperación alemana) jueves y viernes

PERSONAS PRESENTES: 8 a tiempo completa, 6 intermitentes.

INTRODUCTION

Este proyecto RLA/8/038 (2005-2008) hace parte del plan trifinio, zona fronteriza entre El Salvador, Guatemala y Honduras, donde una colaboración técnica empezó en 1986 entre los 3 países sobre una zona de 7,384 kilómetros (46.5% a Guatemala, 15.6% a El Salvador y 37.9% a Honduras) para tratar preservar los recursos forestales y mejorar el manejo de las aguas superficiales y subterráneas. Esta zona está ubicada entre los 88°45' y 89°50' de

longitud oeste y entre los 14°05' y 15°12' de latitud norte y interesa acerca de 670,000 habitantes.

Dentro la zona del plan Trifinio, se puede definir una cuenca hidrológica - cuenca Alta del Río Lempa (CARL-fig. 1b) que corresponde a la zona de estudio, con una extensión de 4,343 kilómetros cuadrados, de los cuales 29.5% corresponden a El Salvador, 11.6% a Honduras y 58.9% a Guatemala. Esta cuenca es la parte alta de una cuenca mucha más grande (Cuenca del Río Lempa) de 17,919 kilómetros cuadrados que se desemboca en el océano pacífico (Fig. 1a).

Los objetivos definidos finales son "asegurar la sostenibilidad y la calidad de los recursos hídricos en la Cuenca Alta del Río Lempa y apoyar el establecimiento de un Plan de Gestión Integrado de Cuenca en la Región del Trifinio, mejorar el conocimiento de los recursos hídricos subterráneos en la Región Trifinio a través del desarrollo de actividades multidisciplinarias en las áreas de geología, geofísica, hidroquímica, isotopía e hidrogeología que permitan obtener un modelo conceptual básico que describa el comportamiento de las aguas en los diferentes acuíferos para apoyar la gestión integrada de los recursos hídricos de la Cuenca Alta del Río Lempa en la Región Trifinio".

Este taller tiene como meta principal revisar el borrador del informe final del proyecto RLA/8/038 para mejorar la forma de la presentación, ver si los objetivos definidos han sido alcanzados, ver si la metodología de muestreo y el tratamiento de los datos usados fueron hechos de manera rigurosa y finalmente permitir pasar a la segunda fase del proyecto, RLA/8/045 al optimizar el modo de funcionamiento de los grupos de trabajo y también al optimizar los gastos.

DESCRIPCION DEL INFORME, PROPUESTAS DE CORECCION Y/O MODIFICACION Y ANALISIS DE LAS METODOLOGIAS USADAS

El informe, en la forma presente, tiene 8 capítulos :

- **el primer capítulo** describe la parte introductiva y administrativa que ha conducido a formular el proyecto y los objetivos formulados, los actores e institutos participantes, el presupuesto de cada país y el plan de trabajo durante la duración del proyecto. Esta parte termina con una parte de geografía descriptiva de la zona de estudio. Globalmente este

capítulo me parece bien sintetizado, describe bien las condiciones iniciales para la realización del proyecto y las informaciones son suficientes para entender la situación del proyecto.

* Hay que completar las partes de recursos aportados por el OIEA y por el Salvador mencionadas en esta versión.

- **el segundo capítulo** concierne la climatología regional y local, esencialmente datos de lluvia, temperaturas y evapotranspiración. Esta parte se podría mejorar a diferentes niveles.

* Recomiendo también agrupar en este capítulo, el capítulo de hidrología para tener una coherencia más grande, en efecto no se puede dissociar parámetros climáticos como precipitación y ETP con su efecto inmediato sobre los caudales y la variación de la reserva en agua en el suelo y el balance hídrico.

* Se podría fortalecer un poco más la descripción climática y meteorológica a escala regional y sobretodo definir durante el año cuales son las masas de aires, y sus orígenes, que van a contribuir a la lluvia sobre la cuenca, porque la existencia de dos fuentes posibles de humedad, océano Pacífico y Mar Caribe, pueden marcar de manera diferente la composición isotópica de la lluvia, entonces permitir entender mejor la variación de la composición isotópica y el exceso en deuterio durante el año y brindar su marca como recarga de acuíferos.

* Añadir en la tabla de lluvia por cada estación la desviación estándar a la media anual.

* El parámetro de la humedad debe aparecer también en este capítulo, hace parte de los parámetros básicos de la climatología y también en la situación particular de contraste de la cuenca, zona montañosa - zona de valle a baja altura es necesario definirlo bien. También, la presencia de zonas de bosque nebuloso, impide durante una gran parte del año la evapotranspiración en estas zonas y contribuye al balance hídrico con precipitaciones ocultas en relación con el proceso de condensación, es importante porque podría generar un flujo de base suficiente al abastecimiento de los ríos en altura equivalente a unos milímetros de agua lluvia.

* Recomiendo hacer un mapa de relieve con curvas de niveles como primer gráfico, va permitir al lector visualizar mejor la zona de estudio.

* Por cada parámetro (P, T, Hr, ETP) elegir 2 ó 3 estaciones representativas de la diversidad climática de la zona de estudio y hacer gráficos de la variabilidad media mensual.

- * Precipitación: presentar el mapa de ubicación de la totalidad de las estaciones, las tablas de las estaciones y el mapa de isoyetas anual
- * Siempre en los mapas indicar latitud y longitud y ubicar los puntos que fueron usados para hacer las isocurvas y el método de interpolación.
- * El mapa de isoyetas media anual, decir como fue hecha, normalmente se debe usar datos sobre un periodo común, en este caso 1990-2000.
- * Hay un error de numeración o codificación entre la estación de La Ceibita y Quezada.
- * Temperatura, humedad relativa y ETP, hacer también un mapa de isocurva espacial media anual.
- * ETP, dar más precisiones sobre el método de cálculo de la ETP, es un parámetro importante que va determinar el balance hídrico en el suelo y la posibilidad de recarga, comparar con métodos más clásicos como Turc o Penmann.

- **el tercer capítulo** que constituye una parte consecuente del informe es la compilación de la información geológica y geomorfológica con el objetivo de homogeneizar los datos a nivel de los tres países para sacar un mapa a misma escala (1:100,000) con una codificación común de los depósitos y formaciones geológicas. Este trabajo esta basado sobre una bibliografía extensiva y salida de campo (3 semanas solamente).

* A la vista de la extensión de la zona, de la complejidad geológica, de la información disponible y de la escala elegida del mapa final, se debería definir una escala de confiabilidad según las zonas, en efecto la mitad de la superficie (2000 km²) tiene una información geológica inicial a una escala 1:500,000, pasar de esta escala a una resolución 5 vez más fina necesita trabajo de campo intensivo y verificación importante, 3 semanas de campo fueron suficientes?

* Es de lamentar que ningún análisis petrográfico y químico fueron hechos sobre las diferentes formaciones. En la zona de estudio donde zonas de recarga, circulaciones del agua no son sencillas a determinar, tener información química de la rocas (análisis clásicas y trazas) brinda la oportunidad hacer un trazado selectivo de las rocas atravesadas por el agua durante su recorrido.

* No aparece también vínculo entre la descripción geológica de la superficie y la geología en los 100-200 primeros metros de profundidad, zona de interés de reserva potencial de agua en este proyecto, y es esta zona la que va condicionar la realidad de almacenaje y circulación del agua y no únicamente nuestra visión de la geología en superficie, sobretodo

cuando los procesos de alteración en zonas tropicales son intensos y pueden esconder a la vista la realidad de las condiciones de infiltración abajo la capa alterada. Es verdad que exista una información geofísica (28 perfiles en toda la zona) que va permitir dar indicaciones locales de la capacidad de almacenaje del agua en la estructura geológica, pero no se debe olvidar que es una medición indirecta que puede ser malinterpretada si no se verifica con un perfil litológico. Para tratar resolver esta falta de conocimiento, durante el taller un grupo ha trabajado sobre este aspecto, con el fin de reunir la información de pozos donde existe la litología, infortunadamente esta información es escasa, solamente en pocos pozos perforados (16 pozos en un total de alrededor de 50 en toda la zona de estudio). El trabajo ha consistido reunir la información geológica, litológica de los pozos y perfil geofísico para tratar proponer cortes geológicos al menos a una escala local permitiendo definir espacialmente capas acuíferas, cuando existe datos de pruebas de bombeo, evidentemente se debe añadir para fortalecer la información (ver anexo 1 el inicio del trabajo hecho durante el taller). Esta información de manera evidente es parcial, 16 puntos de litología y 28 perfiles, y no se puede pensar que va resolver el falta de conocimiento de la estructura 3D de la geología y luego de la estructura 3D de las capas acuíferas a la escala de la cuenca, pero es importante hacer el esfuerzo de integrar la información existente para saber al fin lo que se necesita para finalizar el trabajo. A nivel de la metodología, es una lastima también ver que la ubicación de los perfiles geofísico son raramente cerca de pozos profundos con litología para validar la interpretación. Es importante siempre cruzar toda la información antes pensar a escoger un sitio para un muestreo que sea químico, isotópico, geofísico.... para permitir cruzar la información y validar el resultado obtenido.

* Recomiendo, para tener más coherencia, agrupar este capítulo con el capítulo de la geofísica

- **el cuarto capítulo** habla de la hidrólogia en la zona (a agrupar con capítulo de climatología).

* En el capítulo de climatología hay un mapa que hace referencia a la ubicación de 6 estaciones hidrométricas, me parece importante que toda la información aparezca en la tabla 4.1 (falta 2 estaciones), también falta unos datos (longitud, elevación) en esta tabla. Hacer también gráficos de los caudales mensuales a cada estación. Las áreas de drenaje no son las mismas en tabla 4.1 y 4.3.

* Añadir en la tabla de caudales por cada estación la desviación estándar a la media anual exprimir también en caudal específico ($l/s/km^2$) a fin de comparación del indicio de escurrimiento en las diferentes partes de la cuenca (se puede ver un factor entre oeste y este), en este sentido se podría reforzar este capítulo con un estudio de la susceptibilidad de los suelos al escurrimiento según sus características (tipo de suelo o roca, pendiente, pluviometría...etc) y eventualmente ver si un hipótesis de recarga directa del agua del río hacia una capa acuífera somera a través la red de fallas locales o regionales es posible y evaluar los volúmenes. En trabajo complementario de campo se podría verificar al medir variación de caudales entre 2 puntos distantes de 500 a 1000 metros en zona considerada como fallada.

* Relativo a la parte balance hídrico, no hay concordancia entre el área de drenaje de la estación La Citala en la tabla ($914 km^2$) y el valor usado en el anexo del informe para hacer cálculos ($833 km^2$). No he podido verificar las otras estaciones, no se pueden leer bien las tablas en el anexo del informe (hacer directamente una tabla en Word y no pegar la imagen de la tabla).

* No estoy seguro que el método usado para hacer el cálculo del balance hídrico sea bien riguroso, entonces las cifras calculadas se deben interpretar con precaución. En primer lugar, se debe tomar un periodo idéntico de referencia para calcular la media anual y mensual de la lluvia y del caudal, para evitar un sesgo sobre los datos. A nivel del balance hídrico, no se toma en cuenta la variación de la reserva hídrica del suelo (zona no saturada), en el caudal del río hay también una parte que viene del acuífero y particularmente en periodo seco, el caudal es en relación con el vaciado del acuífero más que con la lluvia (o eventualmente en relación con las precipitaciones ocultas en relación con la zona de bosque nebuloso, se podría verificar en la parte montañosa de la cuenca a los puntos de nacimiento de los ríos, la variación de los caudales durante el año.) Pienso que vale la pena profundizar más esta parte.

- **el cinco capítulo** habla de la mediciones geofísicas (a agrupar con capítulo de geología y geomorfología).

* Ya evocado en el tercero capítulo, dos problemas aparecen en el informe: problema de calibración de los perfiles y representatividad espacial. Entonces, Se recomienda realizar más SEV en los valles principales de la región para hacer correlación espacial en profundidad también cerca de pozos donde hay litología para la calibración e implementar

otra técnica como la tomografía eléctrica para afinar el detalle de los estratos geoelectrónicos de la zona.

- **el sexto capítulo** interpreta los datos de química. La interpretación química en el informe se hace por tipo de cuerpo de aguas (río, manantial, pozo somero o profundo, laguna) y después por zona geográfica con un estado de la contaminación y su origen, se puede notar que la ausencia de datos sobre la química de las rocas va limitar la interpretación de la relación química roca-agua, zona potencial de recarga y rocas atravesadas y eventualmente origen antrópico o natural de unos elementos tal que sulfatos (hacer un mapa de la cuenca con los puntos de muestreo). Los datos puntuales son procesados en términos de valor medio, lo que no es bien adaptado por aguas de río y pozos someros, donde el análisis se debe hacer según la evolución temporal.

Este capítulo ha mostrado un problema importante al nivel de la estrategia de muestreo, de la coordinación del muestreo entre los 3 países y de la metodología en el campo. Muchos datos colectados son también incompletos o no están en relación con un objetivo científico claro. Durante el taller un grupo ha trabajado sobre este aspecto para hacer una crítica de los datos y sacar una interpretación no solamente en términos de variación química puntual o espacial pero también en términos de hidrodinámica (ver anexo 2).

* Problema de metodología en el campo y consecuencias sobre los datos: Es importante no olvidar que un análisis de agua en el campo debe estar completa, de lo contrario se perderá información importante y finalmente no permitirá una interpretación extendida del análisis. Es decir, se debe medir siempre los parámetros clásicos (pH, T, conductimetría) cada vez que se visita un punto. Si es para hacer un análisis químico, hacer bicarbonatos de preferencia en el campo y siempre al laboratorio los elementos clásicos al mínimo para hacer el balance iónico y validar el análisis. Si es un agua de río (laguna) hacer una correspondencia con el caudal (nivel laguna) y elegir de preferencia un punto cerca de una estación hidrométrica o de una escala de medición directa. Si es un agua de pozo, medir **siempre** el nivel del acuífero.

El mal estado del banco de datos de la química del proyecto es en relación con el hecho de no haber respetado estas reglas básicas. No hay también adecuación entre los nombres en el archivo de los datos químicos y la lista en el anexo del informe.

De los datos que hemos analizado (303 análisis), 145 son de ríos (22 puntos de muestreo), 84 son de pozos excavados (16 puntos de muestreo), 25 son de manantiales (12 puntos de

muestreo), 24 son de pozos perforados (7 puntos de muestreo), 20 son de lagunas (4 puntos de muestreo). **No hay ninguna referencia al estado hidrodinámico del cuerpo de agua al momento del análisis.**

Seis puntos en el banco de datos tienen únicamente una fecha sin ningún análisis, 19 tienen solo los parámetros de pH, T y conductimetría. Dentro los 278 análisis restantes 61 análisis no tienen la información de uno o más de los parámetros pH, T, conductimetría, 57 no tienen medición de cloruros o los cloruros no fueron detectados, la zona del proyecto es relativamente cerca del océano, si se va añadir la posible contaminación doméstica en la zona, no me parece posible no tener un mínimo de 1 ó 2 mg/l de este elemento. Los fosfatos son expresados en mg/l con valores hasta 2670? Hay que hacer una crítica más importante de los datos, verificar el balance iónico, comparar conductimetría con la totalidad de sal en relación con cationes y aniones.... (ver anexo 2).

También se puede hacer una pregunta, cual fue la estrategia del muestreo, es decir cuales son las preguntas que el proyecto quiere resolver? Si es determinar la variabilidad de la calidad química de las aguas superficiales, el número de puntos de muestreo parece adecuado si la variabilidad espacial es respetada. Si es determinar la variabilidad de la calidad química de las aguas de los diferentes acuíferos localmente (somero y profundo) y espacial 35 puntos (pozos excavados, someros y manantiales) no es suficiente.

* Problema de coordinación del muestreo entre los 3 países y de estrategia de muestreo: Una mala estrategia del muestreo también va afectar la interpretación temporal. Se puede ver que el grupo de San salvador ha hecho 2 muestreo químico durante el periodo seco de 2006 y 2007, es decir comparar del punto de vista climática dos situaciones idénticas y entonces no se va registrar la variabilidad que hay entre periodo seco y periodo lluvioso.

El problema de coordinación resulta que los muestreos en los 3 países no son efectuadas en el mismo tiempo, es decir en la misma semana y como consecuencias no se puede interpretar de manera eficiente la variabilidad espacial. El grupo de Guatemala y Honduras han hecho más campañas permitiendo tener una idea de la variabilidad húmica puntual con respecto del ciclo hidroclicmatico.

* Problema de la elección del paso de tiempo entre dos mediciones de un punto de muestreo: Es necesario también hacer el muestreo a un paso de tiempo adaptado a lo que queremos estudiar, es decir adaptar el muestreo a la repuesta hidrodinámica del cuerpo de agua, lo que no es el caso en este proyecto, sea no hay una buena representación temporal, entonces hay una pérdida de información, sea la información es redundante, lo que

representa gasto no necesario. El tiempo de repuesta por un río es rápida en relación con la variabilidad de la pluviometría y necesita un muestreo seguido (4 a 6 muestras el primer año), un acuífero superficial va a reaccionar con un tiempo de desfase poco importante o más importante según el tipo de roca fracturada, porosa, mixta, un (o 2) muestreo en época seca y un (o dos) muestreo en época lluviosa el primer año es suficiente, un acuífero más profundo tendrá una repuesta más alisado a la repuesta de la recarga anual, un muestreo en época seca y un muestreo en época lluviosa el primer año es suficiente. Después se adapta el muestreo el segundo año a partir de los resultados obtenidos. Por eso es importante tener la información de caudales y piezometría. El trabajo hecho durante el taller (ver anexo 2) ha tratado de tomar en cuenta la repuesta química en términos de hidrodinámica, la conductividad del río va bajar con el aumento de caudal, entonces directamente relacionado con la época lluviosa, lo que es normal. La mayoría de los pozos excavados (acuífero somero) van a mostrar un desfase entre 4 y 6 meses con respecto a la temporada lluviosa, baja conductividad durante la época seca, alta conductividad durante la época lluviosa, eso traduce una influencia de la recarga que no es inmediata y entonces no relacionado con una circulación por fracturas largas, esta interpretación es evidentemente parcial y debe ser fortalecido con medición de la piezometría. Todos los pozos profundos no muestran variación de la conductimetrica con el tiempo, la recarga es alisada y el tiempo de residencia más grande que 1 año. A nivel de la contaminación, los pocos datos que existen muestran que el nivel no esta tan preocupante, sólo se observan algunos inidicios a nivel local y su concentración está en relación con el caudal (río) o se puede suponer nivel en los pozos someros. Los pozos perforados no presentan nivel de contaminación importante por los nitratos, unos tienen valores de sulfatos un poco elevados en relación probable más con la disolución de minerales (pirita?) que en relación con una contaminación antrópica.

En conclusión, sobre esta parte, se debe integrar el trabajo hecho durante el taller y continuar el procesamiento de los datos existentes, pero en el estado actual se debe considerar que el trabajo no es totalmente completo al nivel del conocimiento de la adquisición de la química de las aguas subterráneas a la escala de la cuenca. **No olvidar presentar un banco de datos criticado y confiable.**

- **el séptimo capítulo** interpreta los datos de isotopía. Se tomó, aguas de lluvia como punto de referencia y aguas en los otros cuerpos de aguas. El numero de estación de medición de la composición isotópica de la lluvia parece suficiente (8 en el informe, pero hay 3 más que

se deben integrar en el informe: las estaciones de El Salvador-El Boquerón, San Andrés, Coatepeque-ubicar las estación en un mapa). He notado unos errores en el texto: leyenda Fig. 7.3, p. 85, "los manantiales exhiben "repetición de los valores en deuterio.

* Pero como por la química, hubo un problema de estrategia de medición que no permite sacar toda la información que deberíamos tener normalmente. A nivel de la lluvia, el muestreo se hizo del fin del año 2005 a fin del año 2007 (parece que hay unas estaciones donde se continuó el muestreo después 2007, si es el caso hacer el punto con el OIEA para tener los análisis) infortunadamente, pocas estaciones tienen un registro completo sea a nivel de la totalidad del periodo o sea a nivel de un año definido, es decir doce mediciones durante el año y no mediciones únicamente en época lluviosa. Únicamente las estaciones de Guajoyo, Montecristo, Cerro El Pital y Montenegro permiten ver la variación mensual de la isotopía en la lluvia sobre el periodo del proyecto. ¿Por qué es importante tener un registro completo? Mismo si el ciclo durante el año de la composición isotópica respeta una forma definida (enriquecimiento en la época seca y empobrecimiento en la época lluviosa), la variabilidad climática de un año al otro va imponer también su propia marca. Como consecuencias por ejemplo en el estudio de acuífero, entre más larga sea la duración del muestreo, mejor será la representación de la repuesta isotópica de la climatología local y su variabilidad natural, y mejor será el valor de referencia del contenido teórico en isótopos el cual va a definir la recarga teórica será cerca de la realidad. Otra consecuencia, si quiero comparar el valor ponderado anual en diferentes estaciones para sacar relaciones como por ejemplo la altura de la estación, si el tiempo de medición es diferente voy a introducir un sesgo que puede ser importante.

* Del punto de vista de la calidad de la medición, es importante también hacer la recolección a fecha fijada (normalmente el primero del mes), tener el mismo dispositivo y protocolo de medición para la totalidad de las estaciones (por ejemplo superficie del colector idéntica), de medir directamente la cantidad de lluvia (problema recurrente en este proyecto), es siempre mejor que recuperar los datos de la estación meteorológica más cercana y también permite un control cada mes. En varias estaciones existe también una duda en la calidad de la medición, hay meses en la época lluviosa donde no se recuperó la muestra (Estación Guajoyo-junio06, Montecristo sept y oct06, Potrero Carillo agosto06-junio y oct07, La Ceibita junio-07, Esquipulas oct06, por las estación de El Boqueron, San Andrés y Coatepeque la situación es la peor, hay un registro solamente del año 2006 pero hay solamente 2 ó 3 meses analizados, donde están las otras muestras, ¿por qué no fueron

analizadas si existen (3 años de almacenaje!)? y no se sabe lo que representa el valor isotópico del siguiente mes, valor del mes? Valor acumulada de dos meses? Entonces hay que hacer una revisión general de las mediciones de isótopos de la lluvia para hacer un banco de datos que sea confiable y permitir usarlo y hacer de nuevo la interpretación de la composición isotópica de la lluvia usando el método adecuado. Hay también que discutir la variación del exceso en deuterio, unas muestras tienen un exceso $\gg 10$, que información se puede sacar, climatología en relación con masa de aire de origen diferente? efecto de altura?... y como marcador en relación con los otros cuerpos de aguas?

* De nuevo, como por la química, la estrategia de muestreo ha mostrado fallas por las otras mediciones (río, laguna, pozo somero o profundo, manantial) tanto al nivel de la coordinación del muestreo a la escala de la cuenca (marzo06 y abril07 El Salvador ; julio06 Honduras ; septiembre07 Guatemala) que a nivel puntual (una medición única Guatemala y Honduras ; dos mediciones en época seca 06 y 07). Entonces, no se puede tener un esquema de la variabilidad de la composición isotópica a nivel de la cuenca, no se puede comparar un mismo punto en términos de variabilidad con el tiempo o se puede comparar pero en mismas condiciones climáticas y no se ha aprovechado las condiciones climáticas locales bien marcadas entre época lluviosa y época seca.

Cada vez que se hace una medición, se debe preguntar por qué voy hacer la medición en este lugar y que tipo de información quiero sacar? Es decir, se necesita hacer un plan de muestreo antes quien va respetar la representatividad espacial de los diferentes cuerpos de aguas, la climatología... y si existen ya otras mediciones disponible (niveles, caudal, química, litología...) elegir estos puntos en prioridad **para cruzar la información**. Como se puede ver en el banco de datos de la isotopía disponible en el taller, hay 53 puntos de muestreo (13 de ríos, 3 de lagunas, 12 de manantiales, 7 pozos perforados, 18 pozos excavados) **verificar, me parece que falta puntos, en el informe habla de diferentes mediciones en pozos cerca de los ríos, no he tenido esta información!**. Los valores tienen un exceso en general <10 (al contrario las aguas lluvias tienen un exceso en general > 10), los puntos de El Salvador, fuera de medición en ríos y lagunas, muestran que **más** de la mitad de los puntos tienen un exceso < 8 , unos pozos parecen mostrar efecto de evaporación con exceso <6 , pero también pozos perforados (San Diego -0.9;-1.6, San Guajoyo -3.9;3) lo que es más extraño, se debería verificar un eventual problema de almacenaje de las muestras o un problema analítica! Otra hipótesis el pozo San Diego esta cerca de la laguna Metapan, con valores a la época de medición muy enriquecida con

exceso en deuterio <0 sería la señal de una recarga directa de la laguna hacia este pozo? Verificar también por los pozos excavados si hay una relación entre exceso en deuterio y profundida del nivel del agua. En el informe se puede ver interpretación inexacta o arriesgado, por ejemplo :

+ a priori no hay relación directa entre composición isotópica y conductividad,

+ la interpretación de la composición isotópica de las manantiales con la altura es inapropiada, ya se debe usar la recta resultante de la relación lluvia/altura (hemos visto que la recta calculada en el informe no es totalmente correcta) y no la recta sacada a partir de las manantiales y después mirar la disposición de las manantiales con respecto a esta recta. Además se puede ver que al contrario las manantiales cerca de 1000 m muestran una variabilidad de mas de 20‰ y entonces una parte esta en relación con infiltración a una altura más importante y con una circulación más lenta. Pero no se puede sacar conclusiones con un único parámetro que sea isótopo, química u otro, en este caso para verificar el funcionamiento de una manantial se necesitaría hacer 4 muestreos durante el año (mes 2, 5, 8, 11), con medición de caudal y de isotopía.

+ la interpretación de la composición isotópica de los ríos no es totalmente correcta, si es verdad que entre época seca y época lluviosa los valores van ser dependientes de la conductividad porque el ciclo isotópico es perfectamente marcado entre los 2 temporadas, no será el caso durante la época lluviosa donde la variabilidad isotópica es importante y que no hay una buena correlación con la cantidad (ver fig.2), si hacemos doce mediciones al año, la variabilidad del río será en relación con la variabilidad de la lluvia pero mas ponderado.

+ unas conclusiones en el informe me parecen a tomar con precaución (pero quedan en parte matizadas al fin del capitulo en "aspectos a resolver"), "En términos generales, la firma isotópica de las aguas subterráneas es muy similar al de las aguas meteóricas actuales, lo cual sugiere que los acuíferos presentes son dinámicos, con zonas de recarga en el área de estudio. Esta idea también se sustenta en las variaciones temporales observadas en las concentraciones isotópicas y conductividad eléctrica del agua, en manantiales y pozos." me parece exacta por los pozos someros cerca de los ríos y la mayoría de los pozos someros, no estoy tanto seguro por los pozos profundos y manantiales... hay que verificar!

" Aunque las aguas subterráneas son similares en todos los puntos de muestreo, se puede proponer como hipótesis más probable que la región se compone de varios acuíferos someros, no necesariamente conectados entre sí. Las pequeñas pero medibles diferencias

isotópicas entre los manantiales así lo sugieren. Posiblemente donde puede haber una gran continuidad hidráulica es en el acuífero aluvial del cauce principal del río Lempa." A tomar con precaución, no pienso que hay suficiente elementos para concluir. Veremos en el capítulo ocho, que se podría verificar una vez que existe un mapa piezométrica confiable.

"La laguna de Metapán recarga al acuífero aledaño, según observación hecha al pozo San Diego, ubicado a menos de un kilómetro de distancia de dicha laguna. No se descarta que las otras lagunas de la región presenten un comportamiento similar" Hemos visto que efectivamente hay una concordancia a nivel del exceso, menos al nivel de la composición isotópica (-4.3‰ ; -4.4 ‰ pozo San Diego ; -0.3‰ ; 0.4 ‰ laguna Metapan), hay que verificar con la piezometría.

En conclusión sobre esta parte, como por la química tenemos una visión parcial de los procesos en la cuenca, más por falta de metodología apropiada que de falta de datos. Lo que es más importante **es presentar un banco de datos criticado y confiable. Por el momento hay dificultad para cruzar los parámetros analizados lo que contribuye a una pérdida de tiempo grandísima, sugiero que el proyecto haga un banco de datos de parámetros adquiridos que va a indicar por un punto definido, toda la información que existe, (por ejemplo pozo, nombre, coordenados, altura y método usado -GPS, altímetro, GPS diferencial-, número de medición química y fecha, número de medición isotópica y fechas, niveles y fechas, litología, pruebas de bombeo y fecha....**

- **el octavo capítulo** da una descripción hidrogeológica de la zona de estudio, está basada sobre una síntesis de la información obtenida a partir de los datos precedentes. Tres unidades relativamente básicas están definidas, roca fracturada de baja productividad, acuífero poroso y acuífero mixto poroso y fracturado. Una descripción más detallada sigue describiendo las principales regiones acuíferas de la cuenca y al fin una propuesta de modelo hidrogeológico conceptual. Hemos visto que la información en todos los estudios geológico, químico y isotópico son limitados, muy dispersos espacialmente y poco representativos y hay un conocimiento muy limitado y muy local de la estructura de las capas en los 100-200 metros bajo la superficie. Mas problemática del punto de vista del conocimiento de las características hidrogeológicas, en todo caso no he tenido esta información de piezometría durante el taller, no hubo mediciones sistemáticas del nivel piezométrico en los pozos, existen unas mediciones en pozos profundos al momento de la perforación y también unas pruebas de bombeo a priori quien representan el nivel acuífero

profundo, quien van permitir dar una estimación de los parámetros hidrodinámicos localmente. Mismo si esta información hidrodinámica es muy escasez es importante integrarla en el informe, lo que hemos empezado durante el taller (ver anexo 1).

En el estado actual, a partir de los datos disponibles, el objetivo final de proponer un mapa hidrogeológico detallado sostenido por un modelo conceptual a la escala de la Cuenca no me parece muy justificado, el mapa propuesto corresponda más a un reconocimiento de zonas susceptibles tener propiedades favorables a el almacenaje y la circulación del agua, pero teniendo en consideración la complejidad de la geología de la Cuenca y del desconocimiento de la estructura bajo la superficie, tanto la litología que los parámetros hidráulicos, no se puede presumir de conocer, con una precisión suficiente, la morfología de las capas acuíferas y sus limites, su homogeneidad o heterogeneidad, su posibilidad de interconexiones....

Sin embargo, durante el taller, he venido el 24 y 25 septiembre, Jose Roberto Duarte Saldaña, ingeniero civil e hidrogeólogo quien ha trabajado en un proyecto apoyado por la GTZ (cooperación alemana) cuyo objetivo fue hacer un inventario de todos los pozos en la zona de la CARL y un banco de datos de los niveles piezométrico para sacar un primer mapa piezométrico (ver anexo 2). Hay que integrar esta información, completar el banco de datos de pozos del proyecto Trifinio, integrar los niveles, hacer una crítica (pozo georeferenciados con GPA diferencial?) y ver si es posible de hacer un mapa piezométrico que sea a nivel local o más regional diferenciando acuífero somero y profundo, y si hay suficientes datos ver la posibilidad de determinar zonas con una continuidad hidráulica.

- **conclusiones sobre el proyecto RLA/8/038 y el informe.** Desde el inicio, me apareció que el proyecto RLA/8/038 y sus objetivos eran demasiado ambiciosos teniendo en consideración la duración del proyecto, el tamaño de la cuenca, la complejidad tanto de la morfología que de la geología. Además, la coordinación entre los tres países al nivel de las campañas de campo y la estrategia de medición no estaba bien adaptada. También el presupuesto por diferentes razones fue limitado. Sin embargo, a pesar de que los objetivos no están totalmente alcanzados, el trabajo ha permitido avanzar el conocimiento sobre las condiciones ambientales y los recursos hídricos en la zona de la CARL y un trabajo futuro complementario podrá permitir finalizar los objetivos definidos. **No olvidar documentar el proyecto con un banco de dato que debe tener la totalidad de los parámetros definidos**

anteriormente. En este sentido y después una conversación con el representante de la GTZ en Guatemala (Wolfran Maennling), presente al taller el último día, sería posible considerar una colaboración directa con el grupo Trifinio sobre el tema de la hidrogeología en la CARL, la GTZ trabajando ya sobre esta zona y sobre los recursos hídricos subterráneos. Lo que es más importante es que este proyecto ha permitido la emergencia de un grupo de investigadores de tres nacionalidades diferentes con un objetivo común, el desarrollo del tema de hidrogeología regional por la preservación del recurso y que a partir de esta primera experiencia de trabajo en grupo y aprovechando también del trabajo hecho y de las conclusiones sacadas en este taller, podrá continuar progresando en la preparación y la metodología usada en otros futuros proyectos y evidentemente en la segunda fase del proyecto OIEA en la CARL (proyecto RLA/8/045).

EVALUACION DE LA SEGUNDA FASE DEL PROYECTO **RLA/8/045**

Este tema ha sido tratado de manera muy sucinta teniendo en consideración el trabajo que se debía hacer sobre el informe final de la primera fase, es decir que se debe evaluar de nuevo una vez el informe final del proyecto RLA/8/038 validado. También, únicamente la zona Ostua-Metapán-figura 2 (Guatemala-El Salvador) fue revisada, la otra zona Ocotepeque-Esquipulas donde la participación de Honduras es importante no fue tratado por la ausencia del grupo de Honduras. La presentación del proyecto fue hecho a partir de las conclusiones del taller del 8 y 9 de septiembre 2009 (Trifinio, 2009b).

La zona de Ostua-Metapán tiene una superficie de 720 km², el área esta localizada entre Guatemala y El Salvador, en los alrededores del Lago de Güija, y es de importancia estratégica para el desarrollo social y económico de las poblaciones de ambos países, la cual además es rica en recursos hídricos; sin embargo, experimenta una presión humana, agrícola, minera e industrial muy alta, que podría comprometer la disponibilidad y calidad de agua para el consumo humano y la conservación de la biodiversidad. Los objetivos y metas definidos son:

- Identificar y analizar los procesos de contaminación natural y antropogénica de los recursos hídricos de la región,
- Evaluar la calidad de los recursos hídricos para potabilizar,
- Evaluar la calidad de los recursos hídricos para mantener los ecosistemas,
- Proponer medidas de protección de los recursos hídricos.

Para lograr estos propósitos, se requiere entre otras actividades, caracterizar los acuíferos de la región con mayor detalle, actualizar los mapas de usos de suelos, geológico e hidrogeológico del área de estudio, inventariar las fuentes contaminantes, etc.

Producto final :

- * Mapa hidrogeológico
- * Mapeo de fuentes contaminantes y evaluación del riesgo, vulnerabilidad y contaminación
- * Mapa de riesgos de contaminación

Este estudio va apoyarse sobre el trabajo hecho en el proyecto RLA/8/038, afortunadamente, en el taller del 21 al 25 septiembre 2009, fue posible mejorar el conocimiento de la estructura bajo la superficie, además la zona parece relativamente homogénea desde el punto de vista geomorfológico y topográfico, y la presencia de lagunas importantes va condicionar también la relación descarga-recarga con acuíferos. En esta zona, se ubican 4 Acuíferos porosos (aluviales): Ostúa, Cusmapa, Angue y Metapán (Acuífero de la ciudad de Metapán – Río San José), así como acuíferos fisurados adyacentes a los primeros y posiblemente conectados.

Las actividades previstas son (**observación complementaria en grueso**):

- * Inventario de pozos, deben estar georeferenciados con GPS diferencial, tener registros del diámetro de pozo, profundidad, ubicación, filtros, CE, pH, T, nivel estático, uso del agua, condiciones sanitarias, química...
- * Perforación de nuevos pozos, 3 en el Angue, 3 en Cusmapa, 3 Metapán, 3 en Ostúa
- * Reactivación de zonas de medición hidrométrica y meteorológica, La Lechuza y Las Cruces, sobre el río Ostúa y una en el río Angue, lectura periódica de niveles del lago de Güija, estudio batimétrico del lago de Güija. Estaciones pluviométricas: En ELS 3 estaciones pluviométricas: Angue, Cusmapa y río San José. En Guatemala 1 estación.
- * Aforos en río Ostúa (en las estaciones Las Cruces y Las Lechuzas) y aforos mensuales de Cusmapa y San José; Aforos y sedimentos mensuales del río Angue. Niveles del lago de Güija y salidas del lago.

* Niveles en pozos y caudales de manantiales, monitoreo de niveles bimensual, de febrero de 2010 a febrero de 2012.

* Geometría de los acuíferos, descripción de columnas litológicas de pozos inventariados, tomografía eléctrica, estudio de alineamientos de fracturas, correlación estratigráfica de los perfiles litológicos

* Hidráulica de los acuíferos, pruebas hidráulicas -bibliográfica y slug test, prueba de interconexión de pozos –sulfurodamina.

* Química e isotopía lluvia, pozos y manantiales, lagunas:

- isótopos de lluvia (**Recomiendo 2 estaciones sobre la zona medición sobre la totalidad del proyecto**),

- isótopos del agua de pozos y manantiales, isótopos de Azufre, Nitrógeno, Cloro, etc., relacionados con contaminantes orgánicos e inorgánicos (**no estoy seguro de la utilidad del uso de isótopos de Azufre, Cloro y Nitrógeno, el nivel de contaminación no está tanto elevado y las fuentes de contaminación son esencialmente domésticas**), clorofluorocarbonos (CFC) empleado como trazador sustituto del tritio pH (**se necesita curva del CFC en la atmosfera, existe en central America o Méjico?, pensar eventualmente al carbono14 por las capas acuíferas profundas si no se nota variabilidad temporal de los parámetros y ausencia de nitratos**), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), Turbidez, iones mayoritarios, sílice, metales pesados y otros tóxicos: As, Cr, Hg, Pb, B, Cd, CN, Cu, Al e indicadores de la contaminación y nutrientes (Organoclorados y organofosforados). Adicionalmente, se requiere en el lago de Güija, bioindicadores: Zooplancton, fitoplancton, bentos (macroinvertebrados), nutrientes, carga orgánica y microbiológica. (**Añadir mediciones bacteriológica**).

La frecuencia adoptada es :

Lago de Güija: 2 monitoreos en transición época seca-lluviosa (mayo, primer quincena), 2 en lluviosa (agosto), 2 en la transición lluviosa-seca (noviembre, primer quincena), y 2 en época seca (febrero), de 2009 a 2011.

Manantiales, pozos y ríos: 2 campañas en época seca (marzo-abril) y 2 en época lluviosa (agosto-septiembre), en 2010 y 2011.

Conclusiones provisionales sobre el proyecto RLA/8/045: El plan de estudio y de muestreo establecido por la zona de Ostua-Metapán parece eficiente tanto en las metodologías usadas y en la frecuencia del muestreo. Será importante usar los pozos donde

existen la información más completa sacada del banco de datos del proyecto RLA/8/038, y evitar los errores cometidos anteriormente. Antes de empezar toda medición química e isotópica será necesario elegir los pozos (someros y profundos) para establecer la red de medición más adecuada posible. Se debe evaluar de nuevo el proyecto en su totalidad (es decir el estudio de la zona de Ostua-Metapán y Ocotepeque-Esquipulas, una vez el informe final del proyecto RLA/8/038 esté validado) y el apoyo del OIEA (análisis y materiales). Sin embargo se necesitara el apoyo de la OIEA en la compra de un GPS diferencial, herramienta obligatoria para el trabajo de georeferencia de los pozos.

BIBLIOGRAFIA

Duarte Saldaña J. R., 2009. Conservación del Agua a través del Manejo Transfronterizo de los Recursos Naturales (CAMARENA), 87 p. y anexos.

Trifinio, 2009a. Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e hídricos en la cuenca Alta del Río Lempa, informe final proyecto RLA/8/038, Borrador, 101 p. y anexos.

Trifinio, 2009b. Planificación del estudio de acuíferos del área Ostua-Metapán. Seminario, 8-9 septiembre 2009, Esquipulas, Guatemala, 13 p.

Recomendaciones a la contraparte del Plan Trifinio

El Informe ha revelado numerosas fallas en la coordinación del proyecto y en las metodologías usadas para estudiar la cuenca Alta del Río Lempa. Como consecuencia, los objetivos no han sido totalmente alcanzados. Pero es importante integrar toda la información adquirida ya, el trabajo hecho durante el taller y después, y todas otras fuentes de datos como el trabajo de la GTZ. Se debe sacar un banco de datos totalmente limpio y documentado, y tratar de terminar el informe final de este trabajo antes el fin del año para evitar retrasar demasiado el inicio de la segunda fase del proyecto. En este sentido, he sugerido que haya un contacto cada 15 días por Email con el responsable del proyecto en la OIEA para avisarlo del estado de avance. Una vez este trabajo esté hecho y revisado por el OIEA, se podría analizar la segunda fase del proyecto para la validación del plan de muestreo evitando las fallas pasadas.

Recomendaciones a los Gobiernos de El Salvador, Guatemala y Honduras

El trabajo del proyecto de la Cuenca Alta del Río Lempa ha permitido avanzar el conocimiento sobre las condiciones ambientales y los recursos hídricos en la zona de la CARL, un trabajo futuro complementario sería necesario para permitir finalizar los objetivos definidos. Lo que es más importante es que este proyecto ha permitido la emergencia de un grupo de investigadores de tres nacionalidades diferentes con un objetivo común, el desarrollo del tema de hidrogeología regional por la preservación del recurso y que a partir de esta primera experiencia de trabajo en grupo, podrá continuar progresando en la preparación y la metodología usada en otros futuros proyectos y evidentemente en la segunda fase del proyecto OIEA en la CARL (proyecto RLA/8/045). Es importante que a nivel de los ministerios involucrados, el apoyo financiero de este tipo de proyecto sea consecuente para que el trabajo de campo se pueda realizar en las mejores condiciones y en el tiempo indicado.

FIGURAS Y ANEXOS



Figura 1a,b a) Mapa de ubicación de la Cuenca del río Lempa b) de la zona (CARL) del proyecto entre Guatemala, Honduras y El Salvador, cuadrado rojo – zona Ostua-Metapán (sacado del informe Trifinio, 2009).

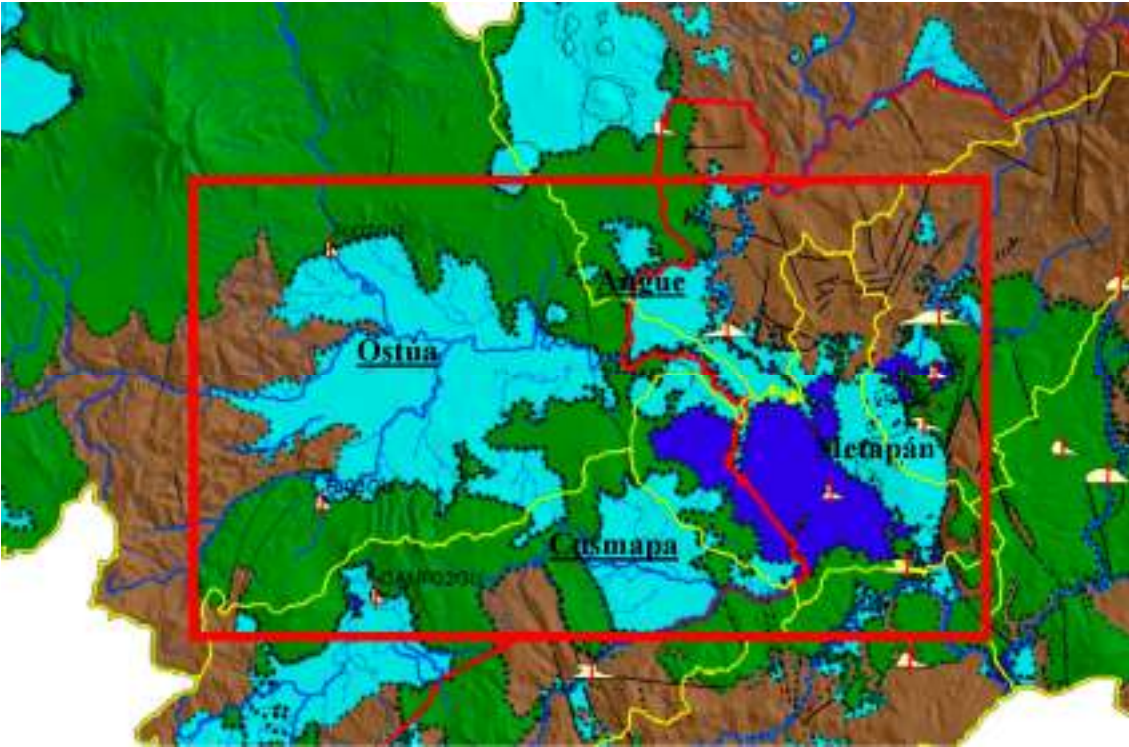
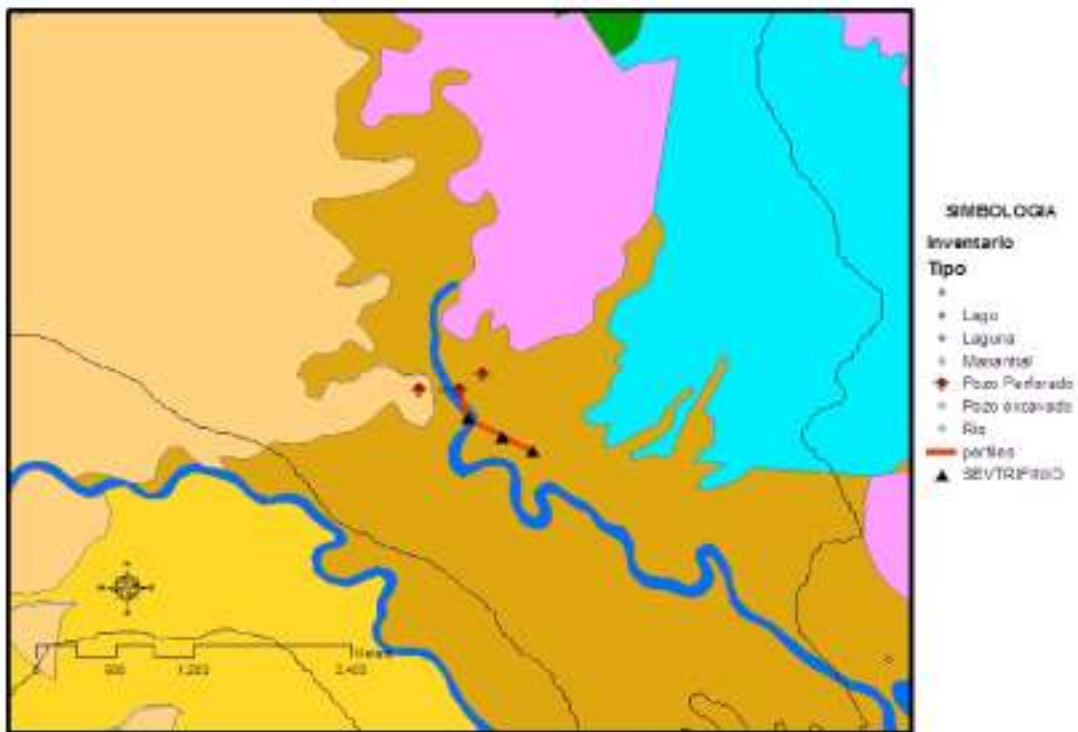


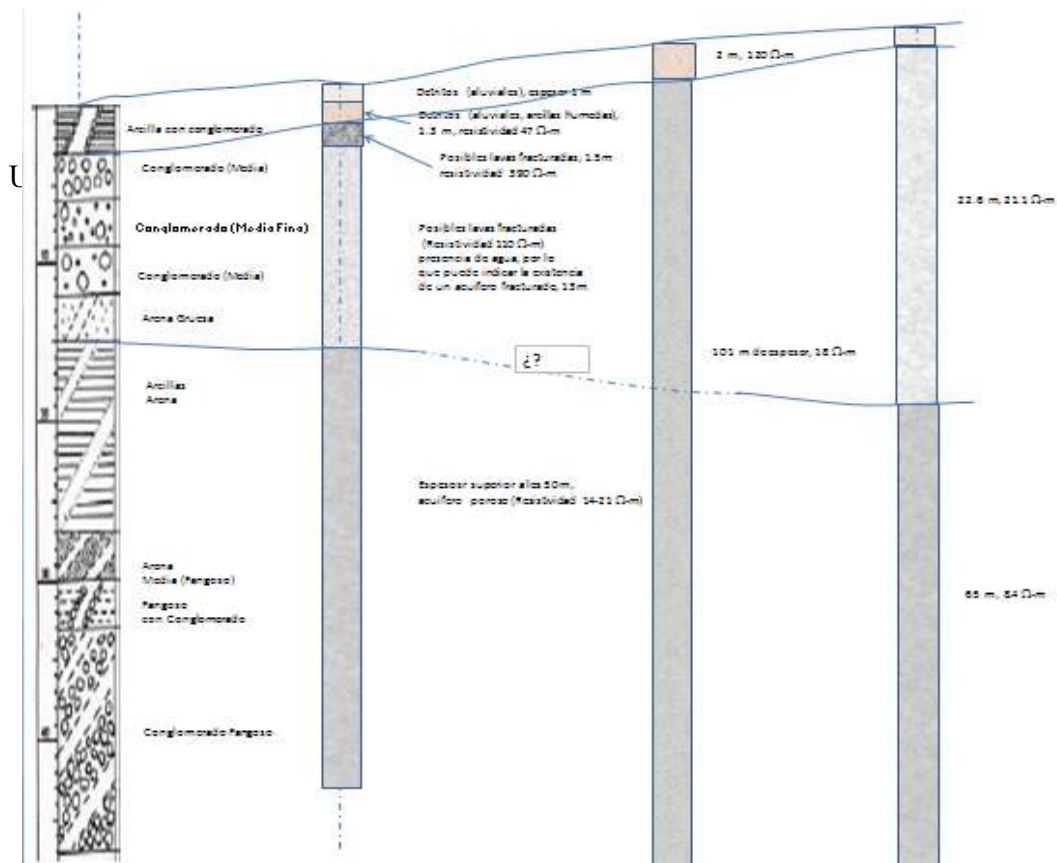
Figura 2 Mapa de ubicación de la zona Ostua-Metapán.

Anexo 1 : Trabajo sobre la litología – taller 21/25-09/2009 (grupo E. M. Palma, J. E. Acosta Rivas, N. Gomez Cedillos, supervisión J.D. Taupin)

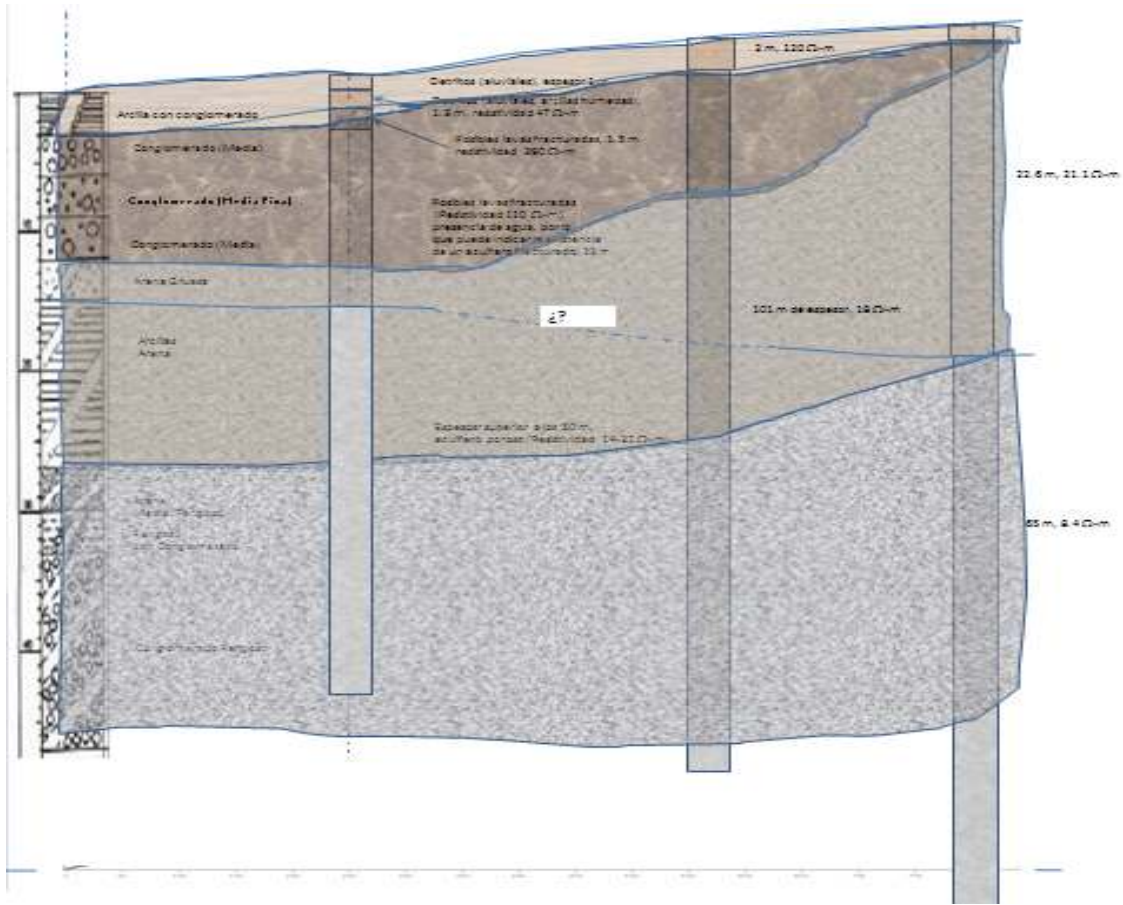




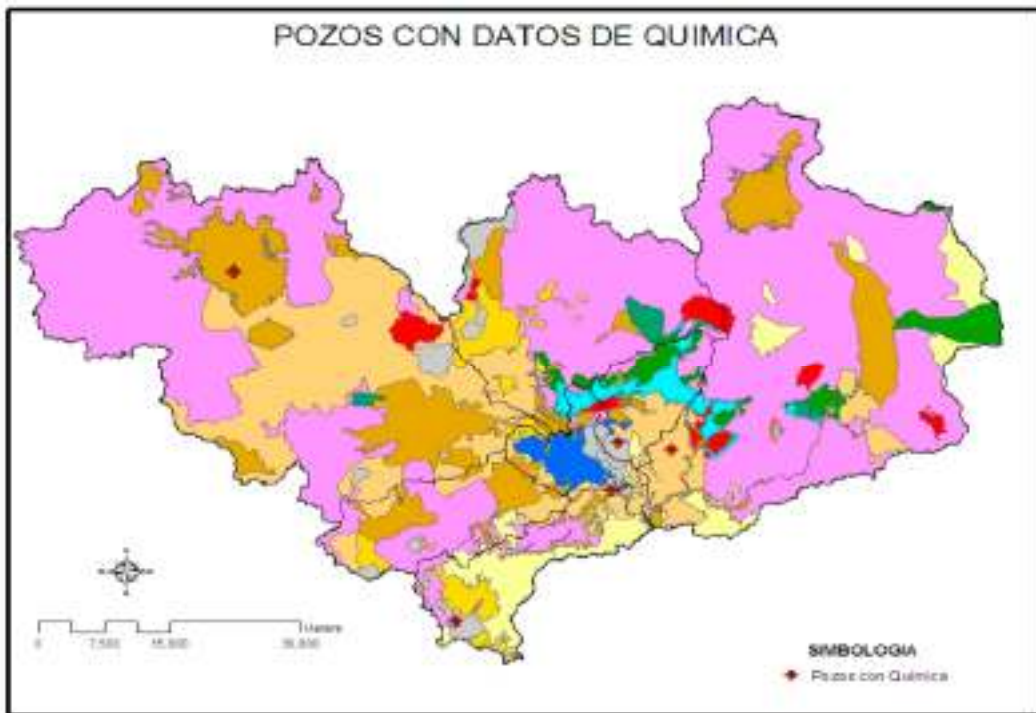
Ubicación pozos perforados y perfiles geofísicos zona de Metapán.



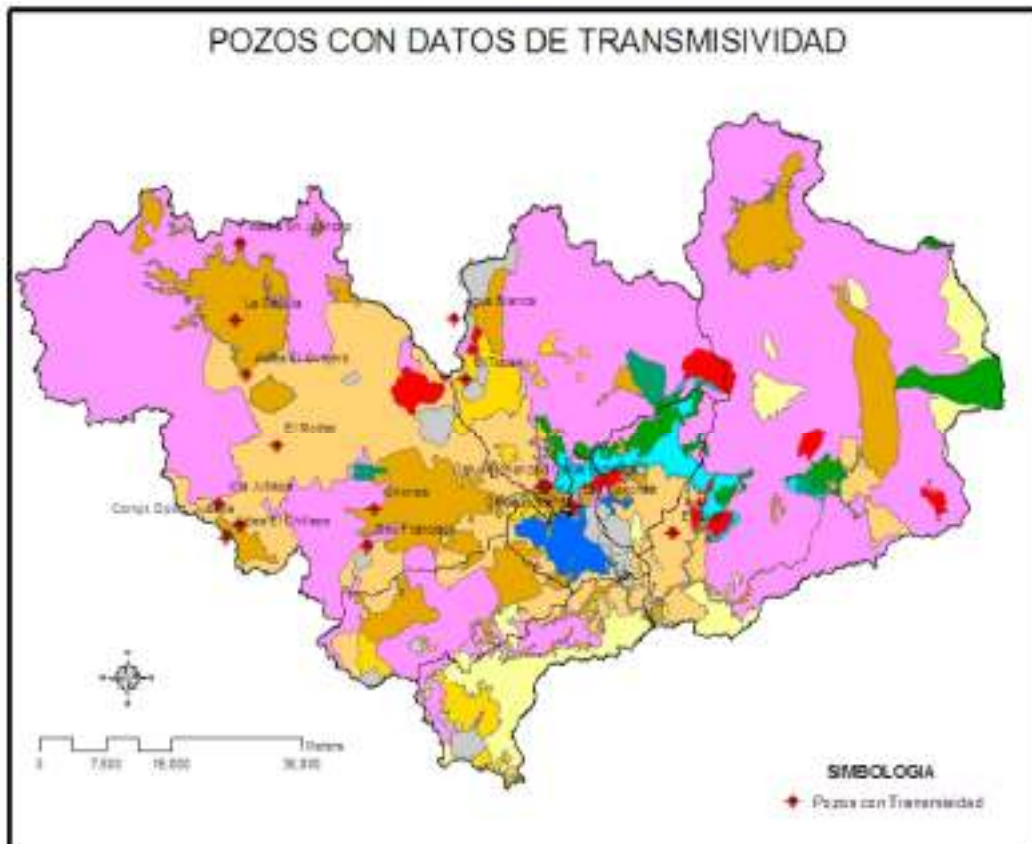
Intento de correlación litología de pozos perforados y perfiles geofísicos zona de Metapán.



Intento de reconstrucción de las capas acuíferas o no en la zona de Metapán.

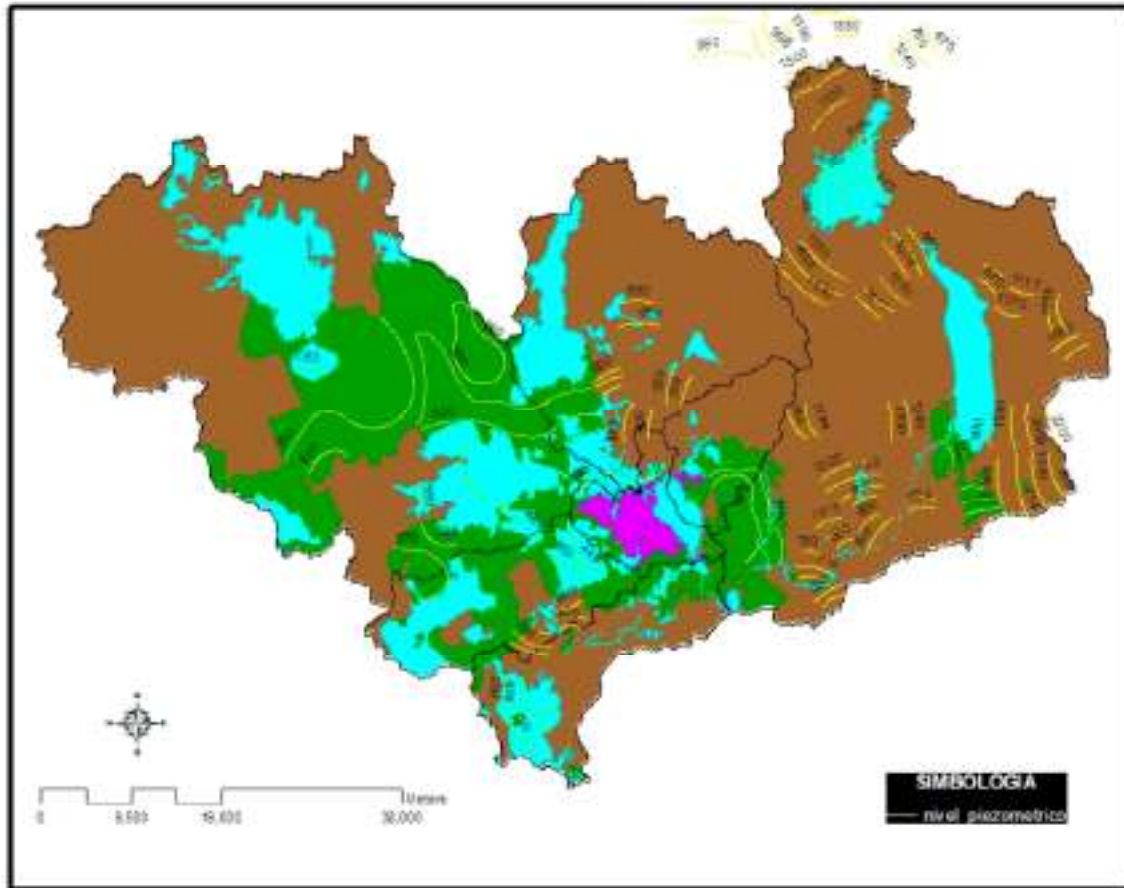


POZOS CON DATOS DE TRANSMISIVIDAD



Lugar	Transmisividad (m ² /d)	Transmisividad (m ² /s)
El Tobón	62.180000	7.20E-04
Agua Blanca	148.700000	1.72E-03
San Francisco	101.520000	1.17E-03
Girones	4172.690000	4.83E-02
Aldea El Chiltepe	42.130000	4.88E-04
Compl. Dport. Jutiapa	8.410000	9.70E-05
Icta Jutiapa	185.790000	2.15E-03
El Rodeo	147.250000	1.70E-03
Aldea El Ovejero	27.270000	3.16E-04
La Ceibita	867.660000	1.00E-02
Aldea Sn Juancito	1211.900000	1.40E-02
Ostua Bonanza 2	56.760000	6.57E-04
El Cuje	9.460000	1.10E-04
Ostua Bonanza 1	33.520000	3.88E-04
Ostua Bonanza 3	826.250000	9.56E-03
Las Conchas	13.830000	1.60E-04

CURVAS ISOFREATICAS



Intento de mapa piezometrico a partir del estudio de J. R. Duarte Saldaña-GTZ.

PARA COMPLETAR INFORMACIÓN EN ÁREA DELIMITADA

La dispersión de datos, hace difícil una correlación de la información que permita sustentar de manera sólida un modelo conceptual de los acuíferos.

- Se ha hecho evidente los vacíos de información que se tiene en varios temas entre ellos la geofísica, la cual no está completa para todos los sitios en los que se cuenta con litología.
- Se ha integrado a la información disponible, los datos de piezometría resultado de la consultoría de GTZ, y se calcularon Transmisividades en base a la información de pruebas de bombeo.
- Se pudo comprobar que en algunas zonas se dispone de pozos perforados pero no se tiene información de pruebas de bombeo.

RECOMENDACIONES

- Completar la información de Sondeo Eléctrico Vertical en las áreas en donde se dispone de información litológica \$1,125.00 tres campañas de sondeo mas combustible.
- Realizar pruebas de bombeo en por lo menos tres zonas, \$3000.00 (viáticos, alojamiento y combustible para la prueba) mas combustible de transporte.
- La geología tiene que resumirse en cortes geológicos que aclaren las condiciones hidrogeológicas.

Anexo 2 : Trabajo sobre la química – taller 21/25-09/2009 (grupo C. Cordero, R. Rubio, R. Merlos supervisión J.D. Taupin)

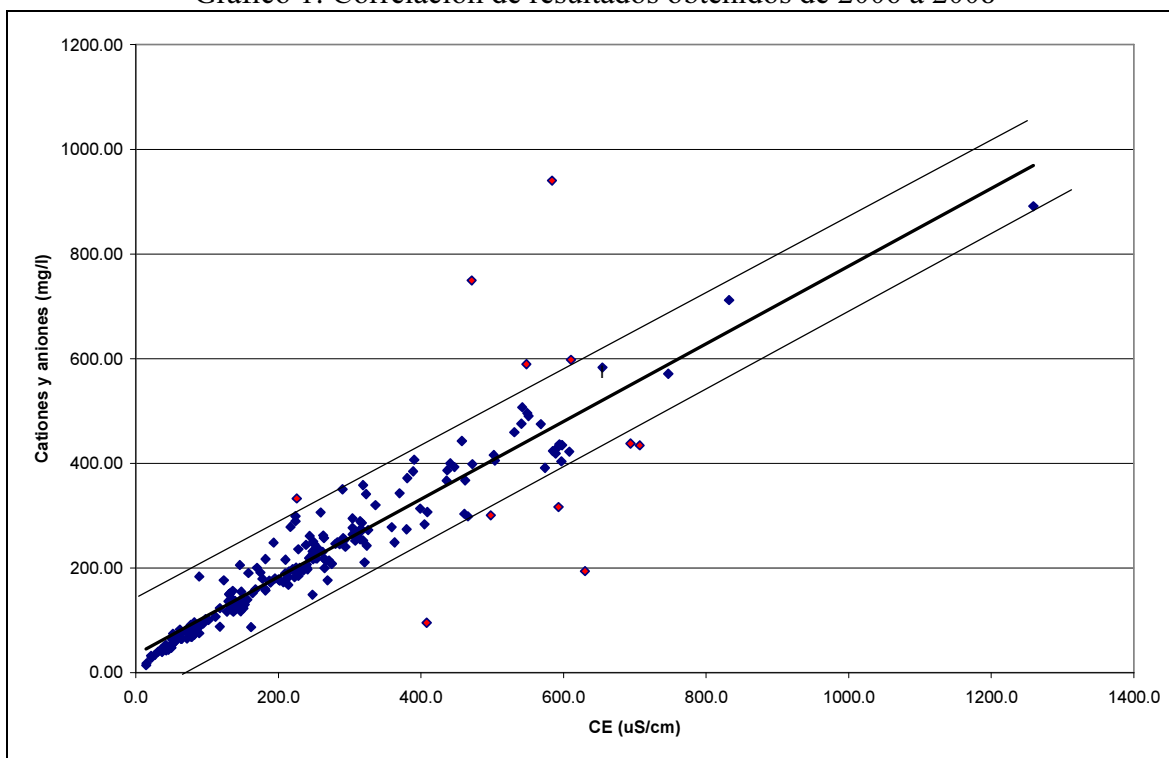
1. VERIFICACION DE RESULTADOS DE LABORATORIO Y CAMPO

De los resultados obtenidos de las mediciones de campo y de laboratorio, se requirió evaluar la validez de los mismos con el objeto de tener una mejor aproximación al modelo hidrogeológico de los acuíferos de la zona del Trifinio. Para lo anterior, se evaluaron aquellos registros que poseían valores de Conductividad Eléctrica (CE), aniones y cationes mayoritarios (224 registros), y se dejaron de lado aquellos que no poseían datos de CE, registros de aniones y cationes mayoritarios (30 registros).

1.1. Metodología de evaluación de los resultados obtenidos

En primer lugar, se graficaron los valores de CE contra la suma de aniones y cationes mayoritarios, expresados en mg/l. Esta gráfica permite establecer una correlación lineal entre dichos parámetros, descartando aquellos puntos que se encontraban fuera de un rango de tolerancia, de cero a aproximadamente 15% de porcentaje de desviación respecto al valor teórico de la correlación.

Gráfico 1: Correlación de resultados obtenidos de 2006 a 2008



Se resaltan en rojo aquellos puntos que requieren de un análisis más específico de la interacción de la CE, el contenido total de sales disueltas y las variaciones en el tiempo (época seca y época lluviosa).

Las muestras que presentaron considerables desviaciones respecto a la correlación anterior fueron once, los cuales se detallan a continuación.

Año 2005:

1. Santa Fe, en Honduras (POZE10HN03102005)

Año 2006:

2. El Salitre, en El Salvador (POZE18SV09032006)
3. Paraíso Escondido, en El Salvador (POZE09SV31032006)
4. El Manzanal, en El Salvador (FUEC10SV31032006)
5. Guajoyo, en El Salvador (POZP05SV23032006)

Año 2007:

6. Santa fe, en Honduras (POZE10HN26022007)
7. Terminal Jutiapa, en Guatemala (POZE01GU10072007)
8. Puente río Nejapa, en Guatemala (RI08GU15052007)
9. El Manzanal, en El Salvador (FUEC10SV21042007)
10. Los Quijada, en El Salvador (POZE13SV12042007)

Año 2008:

11. El Gran Chorti, en Guatemala (POZE02GU05082008)

Para evaluar las posibles interferencias por causas naturales, fallas del equipo, toma inadecuada de muestra o error de laboratorio, se evaluó el porcentaje de error de éstas, de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 1: Error admisible del balance iónico, de acuerdo a la CE

CE	50	200	500	2000	>2000
Error admisible (%)	30	10	8	4	4

Empleando el programa AquaChem para calcular el porcentaje de error (ó % de electroneutralidad), se tienen los siguientes resultados:

Tabla 2: Resultados de evaluación por medio del porcentaje de error

Muestra	CE en campo (uS/cm)	Electroneutralidad (Calculada)	Posible causa
POZE10HN03102005	694	1.82%	Equipo u otros iones no analizados
POZE18SV09032006	584	3.2%	Equipo u otros iones no analizados
POZE09SV31032006	471.1	-4.62%	Equipo u otros iones no analizados
FUEC10SV31032006	225.9	-9.8%	Equipo u otros iones no analizados
POZP05SV23032006	610.6	-8.18%	Error de medición de CE o laboratorio
POZE10HN26022007	707	-1.65%	Equipo u otros iones no analizados
POZE01GU10072007	593	30.27%	No se midieron cloruros*
RI08GU15052007	498	15.22%	Análisis de laboratorio
FUEC10SV21042007	630	-11.78%	Análisis de laboratorio
POZE13SV12042007	408	-9.87%	Análisis de laboratorio
POZE02GU05082008	548	25.98	Análisis de laboratorio

* En la muestra POZE01GU10072007 no se realizaron análisis de cloruros, por lo que al emplear el programa AquaChem, se calculó la concentración de este ión, el cual sería de aproximadamente 100 mg/l. Este dato no corresponde con los datos históricos (valores entre 47.6 y 53mg/l, con CE entre 585 y 598 mg/l), por lo cual esta muestra no es representativa.

De acuerdo a la tabla 2, se descartaron las cinco últimas muestras, debido a que su porcentaje de error fue mayor al establecido en la tabla 1.

2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LOS PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS: COMPORTAMIENTO IÓNICO Y CONTAMINACIÓN

En este apartado, se evalúan las condiciones de los puntos de toma de muestra, considerando las variaciones de Conductividad Eléctrica (CE), las concentraciones de cationes y aniones mayoritarios, y las variaciones de contaminantes medidos.

Se evaluaron la totalidad de los resultados de El Salvador, Guatemala y Honduras.

- En Guatemala: 17 sitios muestreados de 2007 a 2008. Se realizaron análisis mensuales entre los meses de enero a noviembre, por lo que se tienen datos de la época lluviosa.
- En Honduras: 18 sitios muestreados en julio y octubre de 2005, noviembre y junio de 2006, y enero, febrero y julio de 2007, por lo que se tienen datos de época seca y lluviosa.
- En El salvador: 29 sitios muestreados en marzo de 2006 y abril y junio de 2007. No se tienen datos de la época lluviosa.

2.2. Consideraciones para la evaluación

Para evaluar procesos de renovación de agua en pozos, ríos, lagunas y nacimientos de agua, se consideró lo siguiente:

- Conductividad eléctrica: Se consideraron aquellas diferencias mayores de 100 μ S/cm entre las mediciones de época seca y lluviosa.
- Iones mayoritarios: Variaciones mayores a 100 mg/l se consideraron como significativas.

- Contaminantes: Se consideraron como contaminación significativa de los cuerpos de agua estudiados aquellas concentraciones arriba de: 10 mg/l de cloruros, 3 mg/l de nitratos, 20 mg/l de sulfatos, 0.5 mg/l de fosfatos, y concentraciones mayores de 1 mg/l en metales, amonio, y 0.1 mg/l en nitritos y metales pesados.

La descripción de la hidrodinámica se present a en las tablas 3, 4 y 5.

2.3. Anomalías detectadas

De los sitios muestreados, hubo uno que presentó una concentración de nitratos elevada en las muestras POZE18SV09032006 (y POZE18SV12042007 (Cantón La Isla (CUY-36, El Salitre).

3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

Se han identificado las siguientes limitantes que condicionó la interpretación hidrodinámica de los sitios de muestreo:

- Registros de caudales en ríos y manantiales
- Registros de niveles en pozos y lagunas
- No hubo uniformidad en los períodos de obtención de muestras de agua, debido en muchos casos a disponibilidad financiera y logística
- Hubieron puntos de muestreo en 2007 en los cuales no hubieron mediciones de conductividad eléctrica
- No se conoce la geología profunda de las zonas de pozos y manantiales
- En algunos pozos excavados no pudo ser extraída el agua estancada cuando se tomó la muestra

Tabla 3: Caracterización de los sitios de monitoreo y resultados obtenidos en El Salvador

Estación de muestreo	Altura (msnm)	cantidad de muestreos	Sitio de muestreo y condiciones circundantes	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
Bo. San Antonio, La Palma	975	2	Afloramiento de agua, destapado, a orilla de calle de polvo a un nivel debajo de la calle	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó muestra únicamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	Nitratos y cloruros: Posible actividad doméstica puntual al flujo subsuperficial; sin embargo, no se puede concluir debido a que no se tienen datos de CE de 2007.
Cantón La Isla (CUI-36, El Salitre)	423	2	Pozo excavado, tapado, abandonado, con letrina a 7 m. En la zona hay actividad agrícola y ganadera.	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años, a excepción del calcio y nitratos. Se requieren más análisis para concluir.	Nitratos: Puede provenir de un fuentes minerales. Sin embargo, se requiere más investigación pues sólo se tiene un dato de CE. Este dato es único en toda la región estudiada. Cloruro y sulfato: Puede provenir de fuentes agropecuarias
Cantón Tahuilapa	845	2	Pozo excavado, tapado, en uso, con bomba de extracción	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años a excepción del calcio que su concentración es mayor en el año 2006.	Cloruros y sulfatos: Posible contaminación por actividades humanas, y posible presencia de piritas. Sin embargo, se requiere más investigación pues sólo se tiene un dato de CE
Casas de Teja	649	2	Pozo excavado, con tapadera, en uso, de extracción manual de agua en 2006. Un año después, se muestreó un pozo aledaño, pero abandonado y destapado.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios en el año 2007 reportan valores muy altos por lo que no se puede concluir, ya que se necesitan más análisis.	Cloruros, sulfatos y nitratos: En la ronda 2007 el pozo muestreado estaba abandonado, destapado y sucio. Por lo anterior, pudo haber una contaminación antropogénica, pero se requiere más investigación pues sólo se tiene un dato de CE
Caserío El Cuje	484	2	Pozo perforado, en uso, con bomba de extracción. En la zona hay actividad agropecuaria.	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años a excepción del calcio que su concentración es mayor en el año 2006.	Nitratos: En ronda de 2007 pudo haber contaminación antropogénica, pero no se puede concluir debido a que no se poseen datos de conductividad eléctrica la ronda 2007
Crío. Havillal, Ctón Jerónimo	428	2	Pozo excavado en uso, tapado, con bomba de extracción. En la zona hay actividad agrícola y humana.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio.	Sulfatos: En la ronda de 2007 pudo haber contaminación natural (presencia de piritas), debido a que los valores de CE son muy similares (misma agua), sin embargo se requiere más investigación
Crío. Las Margaritas, Ctón. El Rosario	820	2	Pozo excavado, en uso, destapado, extracción manual. Hay una letrina de fosa a 3 m	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	Nitratos y cloruros: Se puede deber a posible contaminación antropogénica.
Ctón. Tecomapa, Crío Agua Fría	478	2	Pozo excavado, en uso, tapado, extracción con bomba. Hay letrinas de hoyo cerca.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad se incrementa mucho en el año 2007 y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años a excepción de los cloruros.	Cloruros, nitratos y sulfatos: Una contaminación del pozo en la ronda de 2007 puede ser de origen antropogénico, ya que este pozo se encuentra cerca de una fosa séptica,
CUI-05	788	2	Pozo excavado, en uso, destapado, extracción manual. Hay letrinas de hoyo cerca.	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. En los años 2006 y 2007 se tomó	Nitratos y cloruros: Una contaminación del pozo en la ronda de 2007 puede ser de origen antropogénico, ya que este pozo se encuentra cerca de una fosa séptica

Estación de muestreo	Altura (msnm)	cantidad de muestreos	Sitio de muestreo y condiciones circundantes	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
				muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años, a excepción de los nitratos.	
El Brujo	678	2	Pozo perforado, en uso, con bomba de extracción. En la zona hay actividad agropecuaria.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio.	Nitratos: En ronda de 2007 pudo haber contaminación antropogénica, pero se requieren más datos para verificar.
El Manzanal	810	2	Captación de agua de nacimiento, tapado, donde aplica hipoclorito de calcio	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, hay un incremento muy grande en la conductividad reportada en el año 2007, mientras que los iones mayoritarios se mantienen más o menos constantes, posiblemente hay un problema en la medición de la conductividad.	No se detectaron niveles significativos.
El Monroy	760	2	Captación de agua de nacimiento, tapado, antes de dosificar hipoclorito de calcio. En la zona hay actividad agrícola.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Nitratos: El comportamiento con otros parámetros indica que puede haber contaminación por actividad agrícola.
El Rosario ANDA	895	2	Derivación del río El Rosario, captación, antes de dosificar hipoclorito de calcio	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca. Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. Los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	No considerable
El Shiste	702	2	Pozo excavado, sin tapadera, en uso, con extracción manual. Hay algunas letrinas y poca actividad ganadera.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Nitratos y cloruros: Una pequeña contaminación del pozo en la ronda de 2007 puede ser de origen antropogénico.
Gasolinera Shell El Poy	709	2	Pozo excavado, abandonado, destapado	Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. Los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años, a excepción del calcio que disminuye en el año 2007 y los nitratos aumentaron.	Sulfatos: En ronda de 2006 fue relativamente alto. Nitratos: En la ronda de 2007 se detectó posible contaminación- En ambos casos, no se puede concluir si es de origen antropogénico, debido a que sólo se tiene un dato de CE
Guajoyo 1	420	2	Pozo perforado, en uso, con bomba de extracción	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Cloruros y nitratos: Ronda de 2007 con indicación de contaminación por posible infiltración de dichos contaminantes, ya que el agua no da indicios de mezcla. Sin embargo, se requieren más datos.
La Montanita #1	1774	2	Captación protegida, con tapadera sellada, en uso. Hay actividad agrícola	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Sulfatos: Hubo un ligero incremento en la ronda de 2007, probablemente se deba a actividad agrícola.
Lago de Güija	422	2	Centro del lago, muestra simple de la superficie	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	No considerable
Laguna de metapán	448	2	Orilla de la laguna, muestra simple de la superficie	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Nitratos: Presenta un ligero incremento en 2007. Sin embargo, no se puede establecer si posee relación con procesos de evaporación.
Las Cruces	455	2	Pozo perforado, en uso, con bomba de extracción	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no	Cloruros, sulfatos y nitratos: Posible contaminación antropogénica en la ronda 2007, debido a que según la

Estación de muestreo	Altura (msnm)	cantidad de muestreos	Sitio de muestreo y condiciones circundantes	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
				presentan ningún cambio significativo a excepción de los nitratos que aumentaron un poco en el año 2007.	CE no hubo renovación del agua.
Los planes	1370	2	Captación protegida, con tapadera sellada, en uso. Hay actividad agrícola	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	No se detectaron niveles significativos.
Los Quijada	608	2	Afloramiento de agua, tapado, a nivel del suelo. En la zona hay actividad agrícola y ganadera.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo a excepción de la conductividad que aumento considerablemente en el año 2007. Se requiere de más información para poder interpretar.	No se detectaron niveles significativos.
Manantial el Aguacatal	577	2	Manantial captado, tapado y protegido, en uso. Hay poca actividad agropecuaria.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca. Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. Los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	Nitratos: Posible origen de actividades ganaderas, ya que también se incrementaron los cloruros. Sin embargo, no se puede concluir debido a que no hay datos de CE.
Manantial Montenegro	940	2	Manantial no captado, abierto, sin protección. Hay actividad ganadera	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca. Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. Los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	Nitratos: Posible origen de actividades ganaderas, ya que también se incrementaron los cloruros. Sin embargo, no se puede concluir debido a que no hay datos de CE.
Paraiso Escondido	525	2	Pozo excavado, sin tapadera, en uso, con extracción manual y de bomba, próximo a fosas de hoyo. En la zona hay un río que recibe aguas servidas.	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Cloruros, sulfatos y nitratos: Ronda 2006, posible contaminación por actividades humanas, y posible presencia de piritas
Río Jupula	940	2	Manantial no captado, abierto, sin protección. Rodeado de actividad agrícola,	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	Nitratos: El comportamiento con cloruro indica que puede haber contaminación por actividad agrícola. Sulfatos: Hay concentraciones altas debido probablemente a actividades agrícolas. Sin embargo, en ambos casos, no se puede concluir por ausencia de CE en la ronda de 2007.
Río Lempa	698	2	Centro del río	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca. Solamente se midió la conductividad eléctrica en la época seca en el año 2006, por lo que no se puede sacar ninguna conclusión respecto a éste parámetro. Los iones mayoritarios no presentan ningún cambio en estos años.	No considerable
San Diego 1	463	2	Pozo perforado, en uso, con bomba de extracción	En los años 2006 y 2007 se tomó muestra solamente en la época seca, la conductividad y los iones mayoritarios no presentan ningún cambio significativo.	No hay contaminación significativa.
Teosinte #2	1136	1	Manantial captado, tapado y protegido, en uso. Rodeado de actividad agrícola, así como fosas sépticas en terrenos cercanos.	Se tomó muestra solamente en la época seca en el año 2006, por lo que se necesita más información para conocer tendencias de comportamiento.	Sulfatos: No se puede concluir para una sola ronda si proviene de una fuente antropogénica o mineral.

Tabla 4: Caracterización de los sitios de monitoreo y resultados obtenidos en Guatemala

Estación de muestreo	Altura	cantidad de muestreos	Condición del sitio de muestreo	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
BENEFICIO DE CAFÉ EL TORREON	910	6	Pozo perforado, con sello sanitario, con extracción por bomba, en uso	La conductividad y las concentraciones de los iones mayoritarios permanecen más o menos constantes tanto en época seca como en época lluviosa.	Hierro: Hubieron altos niveles de hierro, sin embargo, ya que los valores de CE no presentaron variaciones significativas, el origen puede ser natural. Para confirmar lo anterior, se requirieron de más análisis.
HOTEL GRAN CHORTI	980	6	Pozo excavado, tapado, en uso, extracción con bomba, en zona urbana	La conductividad y las concentraciones de los iones mayoritarios permanecen más o menos constantes tanto en época seca como en época lluviosa	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requirieron de más análisis.
Jutiapa, Cabecera, Filtros Amayo	985	8	Pozo perforado, sellado, con sello sanitario, con extracción por bomba, en uso	Este pozo no tiene variaciones estacionales en la conductividad e iones mayoritarios	Sulfatos: Posiblemente, la fuente es de origen antropogénico o mineral (oxidación de pirita)
Jutiapa, Cabecera, Terminal	900	8	Pozo excavado, sellado, con bomba, en uso, zona urbano	Se observa que las concentraciones de la conductividad y los iones mayoritarios permanecen más o menos constantes, tanto en época lluviosa como en época seca, a excepción de los nitratos que durante el época lluviosa se incrementan, posiblemente debido a contaminación de origen domestico	Sulfatos y cloruros: Pueden provenir de fuentes antropogénicas, sin embargo los sulfatos pueden provenir de la oxidación de pirita
La Ceibita, Monjas Jalapa	980	8	Pozo perforado, surgente, con sello sanitario, con extracción por bomba, en uso (231 m de hondo)	Este pozo no tiene variaciones estacionales en la conductividad e iones mayoritarios	Por los resultados obtenidos, no se considera que esté contaminado
Estacion Las Lechuzas	470	8	Rodeado de zonas de explotación agrícola (meloneras)	En este río, en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad	Sulfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes.
Puente Rio Padre Miguel	770	6	El río es usado para irrigación, beneficio de café, etc. Por lo anterior, el río tiende a secarse. Además, el río está dentro de una zona de cultivo de café y otras actividades agrícolas.	Solamente se tomo muestra en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad	Sulfatos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes.
Puente Rio Atulapa	920	6	Río rodeado de zonas de cultivos y áreas urbanas	Este río se comporta como los demás ríos analizados anteriormente. Se tomo muestra solamente en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad	Sulfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin embargo, no puede descartarse el origen mineral.
Puente Rio Concepcion Las Minas	700	6	Río en zona de ganadería y cultivos	Solamente se tomo muestra en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad.	Sulfatos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin embargo, no puede descartarse el origen mineral.

Estación de muestreo	Altura	cantidad de muestreos	Condición del sitio de muestreo	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
Puente Rio Los Espinos	890	6	Río recibe aguas residuales sin tratamiento, de la ciudad de Esquipulas	Este río se comporta también como los otros ríos analizados anteriormente. Se tomo muestra solamente en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad	Cloruros, sulfatos, nitratos, amonio, nitritos y fosfatos: En el mes de mayo de 2007, se presentaron altas concentraciones de éstos. En meses posteriores, dichas concentraciones disminuyeron posiblemente por efecto de la dilución por la lluvia, a excepción de los sulfatos, los cuales estuvieron presentes en concentraciones altas en casi todas las mediciones.
Puente Rio Nejapa	900	6	Río rodeado de zonas de cultivos	Se comporta también como los otros ríos analizados anteriormente. Se tomo muestra solamente en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad.	Sulfatos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin embargo, no puede descartarse el origen mineral.
Puente Rio Olopita	900	6	Río rodeado de zonas de cultivos	Se comporta también como los otros ríos analizados anteriormente. Se tomo muestra solamente en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad.	Sulfatos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin embargo, no puede descartarse el origen mineral.
Puente Rio San Juan	890	6	Río rodeado de zonas de cultivos	Se comporta también como los otros ríos analizados anteriormente. Se tomo muestra solamente en un mes de la época de época seca, sin embargo, se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad.	Sulfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin embargo, no puede descartarse el origen mineral.
Laguna Atescatempa	586	8	Laguna volcánica de Atescatempa La laguna tiene una profundidad aproximada de 6 metros, en época seca parcialmente desaparece, aprovechándola para cultivos. Tiene mucha evaporación.	Se tiene solo una toma de muestra en época lluviosa. Comparando los resultados de época seca con época lluviosa hay un descenso en la concentración de la conductividad posiblemente por el incremento de nivel agua de lluvia.	Manganeso: Presentó valores moderadamente altos en febrero, marzo y septiembre de 2007. Respecto al fosfato, sólo hubo una muestra con datos elevados.
Laguna Del Hoyo	959	8	Laguna volcánica, cuya agua es bombeada para riego.	La conductividad se mantiene en época lluviosa como en época seca, solamente en el mes de mayo hay un incremento de conductividad, posiblemente se deba a que en época seca la laguna está llena de agua de lluvia, cuando disminuye en mayo posiblemente la conductividad corresponde al agua propia de la laguna, al incrementarse las lluvias en el época lluviosa, la conductividad se mantiene con los mismo valores del época seca. Esta laguna se encuentra en una caldera volcánica, tiene aproximadamente una profundidad de 50 metros y se le extra agua para riego, por lo que la evaporación es mínima.	No hay datos que indiquen contaminación. Los análisis indican que es mayormente agua lluvia.
Estacion Casa De Tablas	981	8	Río en zona de ganadería y cultivos	En este río, en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la	Sulfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, ya que las actividades agrícolas consumen fertilizantes. Sin

Estación de muestreo	Altura	cantidad de muestreos	Condición del sitio de muestreo	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
				conductividad, mientras que en época lluviosa con la lluvia el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad.	embargo, no puede descartarse el origen mineral.
Estacion La Montañita	515	8	Río en zona de ganadería y cultivos	El río es el drenaje de la Laguna de Atescatempa. No se muestran variaciones significativas de la conductividad en época lluviosa y época seca.	Nitratos: Posible origen antropogénico, debido a actividades agrícolas en la zona

Tabla 5: Caracterización de los sitios de monitoreo y resultados obtenidos en Honduras

Estación de muestreo	Altura	cantidad de muestreos	Condición del sitio de muestreo	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
Antigua Ocotepeque FUEC06H, Manantial	812	2		Se hizo solamente una campaña de muestreo durante la época de época lluviosa en los años 2006 y 2007. Se observa que la conductividad no varía de un año a otro en la misma época.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativo. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Cordillera de Merendón FUEC08, Manantial	2152	3		La conductividad del manantial permanece constante en época lluviosa como en época seca.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativo. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Antigua Ocotepeque POZE01, Pozo Excavado	784	6		Se hizo una campaña en la época de época seca en el año 2007 y una en la época de época lluviosa en los años 2005, 2006 y 2007. Se observa que la conductividad no varía de un año a otro.	Fosfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, siendo ligeramente significativos. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Antigua Ocotepeque POZE02, Pozo Excavado	784	6		Se hizo una campaña en la época de época seca en el año 2007 y una en la época de época lluviosa en los años 2005, 2006 y 2007. Se observa que la conductividad no varía de un año a otro, excepto los nitratos posiblemente han variado por contaminación de origen doméstico.	Fosfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, siendo ligeramente significativos. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Antigua Ocotepeque POZE03, Pozo Excavado	756	5		Se hizo una campaña en la época de época seca en el año 2007 y una en la época de época lluviosa en los años 2005, 2006 y 2007. Se observa que la conductividad disminuye en el época seca, mientras que en época lluviosa aumenta y permanece más o menos constante hay un desfase, el tiempo de residencia es muy rápido, hay una circulación a partir de la fracturación.	Fosfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, siendo ligeramente significativos. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Antigua Ocotepeque POZE05, Pozo Excavado	761	4		Se hizo una campaña en la época de época seca en el año 2007 y una en la época de época lluviosa en los años 2006 y 2007. Se observa que la conductividad no varía de un año a otro.	Fosfatos y nitratos: Posible origen antropogénico, siendo ligeramente significativos. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
El Poy, Pozo Excavado	716	4		La conductividad en el pozo excavado permanece más o menos constante en época seca como en época lluviosa.	Fosfatos y cloruros: Posible origen antropogénico. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.
Nueva Ocotepeque, Pozo Excavado	801	6		La conductividad en el pozo excavado permanece más o menos constante en época seca como en época lluviosa.	Fosfatos y cloruros: Posible origen antropogénico. Para confirmar lo anterior, se requieren de más análisis.

Estación de muestreo	Altura	cantidad de muestreos	Condición del sitio de muestreo	Respuesta Hidroquímica al ciclo estacional	Parámetro que indicaría contaminación externa, fallo en equipo o en laboratorio
Santa Anita, Pozo Excavado	814	4		En la época seca la conductividad es menor que en la época lluviosa, en la cual se incrementa la conductividad, hay un desfase, el tiempo de residencia es muy rápido, hay una circulación a partir de la fracturación.	Fosfatos, cloruros y sulfatos: Posible origen antropogénico. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Santa Fe, Pozo Excavado	849	6		El comportamiento del pozo no está conforme a la visión general, hay un problema posiblemente de contaminación, evaporación o medición de parámetros.	Fosfatos, cloruros y sulfatos: Posible origen antropogénico. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Carretera a Guatemala RI02, Río	787	4		La conductividad del río permanece constante en época lluviosa como en época seca.	Fosfatos, cloruros y sulfatos: Posible origen antropogénico. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Frío RI05, Río	826	5		La conductividad del río permanece constante en época lluviosa como en época seca.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Playa El Poy, Río	716	4		La conductividad del río es más ligeramente más alta en época seca que en época lluviosa. En época lluviosa la conductividad se mantiene más o menos constante.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Pomola RI06, Río	774	5		La conductividad del río permanece constante en época lluviosa como en época seca.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Puente Colgante RI03, Río	834	4		La conductividad del río es más ligeramente más alta en época seca que en época lluviosa. En época lluviosa la conductividad se mantiene más o menos constante.	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Quilo RI08, Río	791	2		Solamente se muestreo en el año 2006 en época lluviosa. La conductividad se mantuvo constante.	No hay datos que indiquen contaminación.
Sinuapa RI04, Río	794	5		Se observa que en época seca el caudal disminuye por lo que la concentración de sales se incrementa, aumentando la conductividad, mientras que en época lluviosa el caudal aumenta por lo que las sales disminuyen al igual que la conductividad	Fosfatos: Posible origen antropogénico, sin embargo no es significativos. Para confirmar lo anterior, se requerieren de más análisis.
Tulas RI07, Río	820	5		La conductividad del río permanece constante en época lluviosa como en época seca.	No hay datos que indiquen contaminación.

