



GOBIERNO DEL
PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERÍA DE PRESIDENCIA,
JUSTICIA E IGUALDAD

Agencia Asturiana de Cooperación al Desarrollo



**GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO
HÍDRICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE
SIGUATEPEQUE, DEPARTAMENTO DE
COMAYAGUA, HONDURAS.**



GEÓLOGOS
DEL MUNDO



ASIDE



ECOREDES



ESNACIFOR



MUNICIPALIDAD
DE SIGUATEPEQUE

Lic. Francisco del Río Sánchez

En este proyecto han participado las siguientes personas.

Geólogos del Mundo.



Mario Murillo Álvarez
(Izquierda)



Francisco del Río Sánchez
(Derecha)



María Teresa Rentero
Tribaldos (Izquierda)



Astrid González
Menéndez (Derecha)



Ana Hernández
Rodríguez



Laura Sánchez
Román



Víctor Benigno
Mariño Pevida



Daniel Torre Martínez
(Izquierda)



Graciela Cuevas Linera
(Derecha)



Noé Isaac Mercado Benítez

ASIDE



Juan Francisco
Vásquez



Jenny Pacheco
Mencía



Rosa Tróchez
Moreno

ESNACIFOR, ECO-REDES y AGUAS DE SIGUATEPEQUE



Jorge Rolando
Meza Palma



Jorge Guevara



Fernando
Villalvir(centro)

CAPÍTULO 1: SITUACIÓN DE LA ZONA, PROBLEMÁTICA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 DATOS GEOGRÁFICOS	4
1.2.1 Situación geográfica	4
1.2.2 Climatología e hidrología	5
1.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA	7
1.3.1 Tectónica y estructura geológica	7
1.3.2. Estratigrafía	10
1.4 PROBLEMÁTICA DE LA ZONA Y ANTECEDENTES	13
1.4.1. Problemática del agua en Siguatepeque	13
1.4.2 Antecedentes	14
1.5 OBJETIVOS	15
CAPÍTULO 2: ESTUDIO TÉCNICO.	16
2.1: INTRODUCCIÓN	16
2.2 REHABILITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA	16
2.2.1 Inicio de los trabajos	16
2.2.2 Ubicación de la nueva estación y obras de la misma	17
2.2.3 Elección del nuevo instrumental a instalar	18
2.2.4. Nombramiento de la estación e inauguración	19
2.3 ESTUDIO DEL ACUÍFERO SUPERIOR DE SIGUATEPEQUE EN SU SECTOR OESTE	20
2.3.1 Introducción	20
2.3.2 Desarrollo del trabajo y resultados	21
2.4 ESTUDIO DEL ACUÍFERO DE SIGUATEPEQUE Y SU APROVECHAMIENTO	22
2.4.1 Introducción	22
2.4.2. Dinámica del agua en el Acuífero de Siguatepeque	24
2.4.3 Características del Acuífero de Siguatepeque	27
2.4.4 Conclusiones para el Acuífero de Siguatepeque	31
2.4.5 Situación de los equipos de bombeo y accesos a los pozos	31
2.5 ESTUDIO DE LAS MICROCUENCAS UTILIZADAS COMO ABASTECIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL	35
2.5.1 Introducción	35
2.5.2 Microcuenca de Chamalucuará	36
2.5.3 Microcuenca de Guaratoro	38
2.5.4 Microcuenca de Calan. Sector La Porra	41
2.5.5 Microcuenca de Calan. Sector El Tablón	44
2.5.6 Conclusiones para las tomas de agua utilizadas por Aguas de Siguatepeque	47
2.6 ESTUDIO DE POSIBLES MICROCUENCAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL	48
2.6.1 Introducción	48
2.6.2 Microcuenca de Molineros	50
2.6.3 Microcuenca de El Rincón	52
2.6.4 Quebrada de La Reina	60
2.6.5 Nacimiento de Agua Caliente y Quebrada de Zapote	61
2.6.6 Quebrada de El Achiote	63
2.6.7 Conclusiones para el estudio de posibles fuentes superficiales de abastecimiento.	65
2.7 ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA SUMINISTRADA A LOS USUARIOS DE AGUAS DE SIGUATEPEQUE	66
2.7.1 Introducción	66
2.7.2 Situación del acueducto de Siguatepeque	67
2.7.3 Sector de Calan	69
2.7.4 Sector de Guaratoro	70
2.7.5 Sector de Chamalucuará	71
2.7.6 Sector del Pozo ESNACIFOR	72
2.7.7 Sector de los Pozos San Miguel II y IV	72
2.7.8 Sector del Pozo San Francisco	73
2.7.9 Conclusiones para la calidad de agua	74
2.8 CONCLUSIONES TÉCNICAS	74

CAPÍTULO 3: PROMOCIÓN SOCIAL	76
3.1 INTRODUCCIÓN	76

Capítulo 1: Situación de la zona, problemática, antecedentes y objetivos

1.1 INTRODUCCIÓN

Geólogos del Mundo es una Organización No Gubernamental para el desarrollo (ONGd) fundada en 1999 bajo patrocinio del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG) y de la Federación Europea de Geólogos (FEG). Fue declarada de interés público por el Ministerio del Interior de España (BOE N° 169 16 de julio de 2003).

Su objetivo es utilizar el conocimiento geológico para aplicarlo en cooperación internacional de modo conjunto con otras instituciones, locales como no locales y mejorar la calidad de vida de las personas.

Para ello, sus principales líneas de actuación son el campo de la hidrogeología, desempeñando proyectos de abastecimiento a comunidades carentes de agua, así como estudios que ayuden a evaluar e identificar fuentes de abastecimiento que puedan ser usadas o mejoradas por comunidades con determinado grado de necesidad.

Otra línea de actuación es la evaluación de riesgos naturales concluyendo a cerca de su origen, naturaleza, etc. y así tomar las medidas oportunas para la prevención.

Finalmente, otra línea de actuación es la divulgación y educación, trabajo que se realiza, tanto en España con distintas instituciones, como en los lugares donde se desarrollan los proyectos.

Geólogos del Mundo cuenta con varias delegaciones en todo el territorio español, así como una sede central en Madrid, otra en Centro América ubicada en el Salvador y otra en Bruselas. En total las delegaciones son: Asturias, Bilbao, Zaragoza, Cataluña, Madrid, Castilla La Mancha, Andalucía, Bruselas, Centroamérica y Sede Central de Madrid.

Los proyectos se realizan principalmente en América Central, Sudamérica y África, aunque también hay labores realizadas en Asia.

La delegación asturiana lleva desde 2005 trabajando en Honduras y fue a partir del año 2007 cuando se empezó a trabajar en Siguatepeque realizándose dos proyectos de abastecimiento de agua potable: *“Abastecimiento público de agua potable a la colonia Noé Cruz Villeda”* del Municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua, Honduras, y *“Agua y saneamiento para los barrios El Pedregal y Colinas del municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua, Honduras”*.

Con estos proyectos, Geólogos del Mundo entró en el municipio de Siguatepeque, y a medida que fue realizándolos se observó una necesidad importante de realizar un estudio hidrogeológico al observar el evidente riesgo que corre el acuífero que abastece a un 90 % de la población del municipio (Chavarría, 2007).

1.2 DATOS GEOGRÁFICOS

1.2.1 Situación geográfica

El trabajo se realiza en la República de Honduras, situada en Centroamérica. Se caracteriza por ser un país eminentemente montañoso con una superficie de 112.492 Km² (SERNA, 2000). Tiene frontera al Norte con Guatemala, al Sur con Nicaragua, al Este con el Mar Caribe, y al Oeste con El Salvador y el Océano Pacífico.

Como se mencionaba anteriormente, más del 65 % del territorio hondureño es montañoso, con una altura promedio de 1000 metros sobre el nivel del mar. La Cordillera Centroamericana divide al territorio entre las cordilleras Oriental, Occidental y Central. Los valles más importantes se encuentran localizados en las zonas norte y sur del país. También existen algunos valles en la zona central, como Comayagua y Catacamas.

Cuenta con una población de 7,3 millones de habitantes que ha ido creciendo y desplazándose de los núcleos rurales a los núcleos urbanos. Así, en el año 2000 había una población de 5,9 millones de habitantes, donde el 60,58 % era rural (SERNA, 2000) y para el año 2005, ya se contaba con unos 7 millones de habitantes donde el 53 % suponía población en área rural (Ardón Mejía, 2005). Esto incide directamente en la necesidad de hacer el estudio porque dicho incremento poblacional se está observando igualmente en el municipio de Siguatepeque.

Este municipio se encuentra en el departamento de Comayagua y posee una posición estratégica dentro del país, ya que está a mitad de camino entre las dos ciudades más importantes de Honduras, la capital Tegucigalpa y la ciudad industrial San Pedro Sula, distando a 114 km. de la primera y 139 km. de la segunda.

Geográficamente se ubica según las coordenadas 14° 36' de latitud norte y 87° 50' de longitud oeste, teniendo su municipio una extensión territorial de 606,5 km². Sus límites son: al norte con los municipios de Meámbar, Santa Cruz de Yojoa, y Taulabé. Al sur con los municipios de Jesús de Otoro y Comayagua, al este con el municipio del Rosario y al oeste con los municipios de Jesús de Otoro y San José de Comayagua.

El Municipio de Siguatepeque, cuenta con unos 77.000 habitantes que se dedican a actividades principalmente agrícolas, cultivándose principalmente maíz, frijoles, el café, la caña de azúcar y frutas, teniendo una agricultura similar a la dada en todo el departamento de Comayagua (Wikipedia).

habiendo mayores precipitaciones en la costa atlántica que en la costa pacífica (Mastin M. C., 2002).

Hidrográficamente, Honduras presenta dos vertientes claramente diferenciadas, una vertiente atlántica y una vertiente pacífica teniendo entre ambas 10 cuencas hidrográficas distintas, ocho en la vertiente atlántica, que son: Chamelecón, Ulúa, Aguán, Sico, Plátano, Patuca, Sistema de drenaje de la Cordillera Nombre de Dios y la Laguna de Catarasca. En la vertiente del Pacífico hay dos cuencas que son: Cuenca del Río Choluteca y Cuenca del Río Nacaome. A parte de las cuencas de estas dos vertientes existen otras que son compartidas por otros países, como El Salvador, Guatemala o Nicaragua; así, la cuenca del Río Motagua es compartida con Guatemala, la cuenca del Río Lempa y Guascorán con El Salvador y la cuenca Segovia con Nicaragua. (Rivera, 2000).

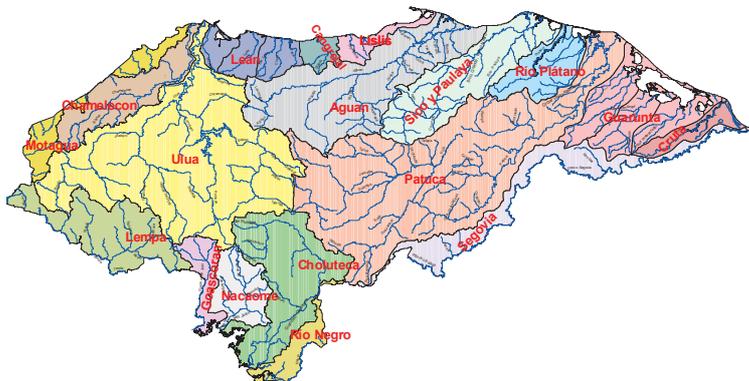
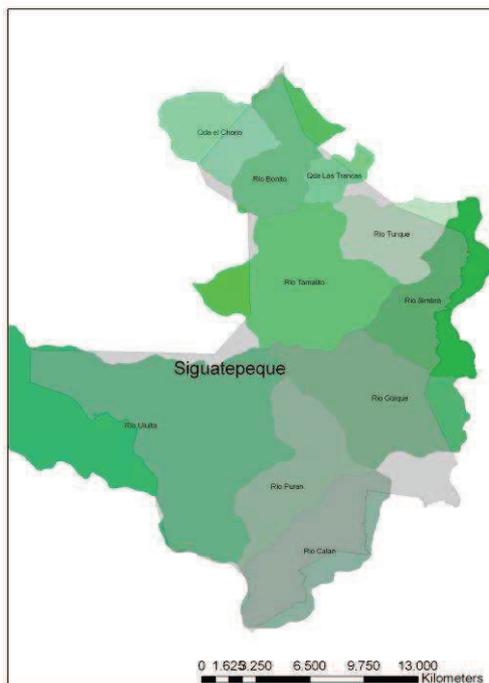


Imagen 1.3: Diferentes cuencas hidrográficas de Honduras. En la Imagen, se representan algunas subcuencas, como las presentes en el Sistema de Drenaje de la Cordillera

Nombre de Dios, donde están Lean, Cangrejal y Lislis.

Siguatpeque se encuentra en la zona elevada del país, por lo que su clima es templado, registrándose una precipitación media para los últimos cinco años de 1.091 mm./año (Chavarría, 2007) y una temperatura media de unos 21,1 °C (Escoto, X. et. al., 2001)



Hidrográficamente Siguatepeque cae dentro de la cuenca del Ulúa en la vertiente atlántica. Dentro del municipio a su vez se reconocen diez cuencas hidrográficas siendo las cuencas del Río Calan y Río Papan formando en conjunto la del Río Selguapa, Río Uluíta, Río Guirga, Río Simbra, Río Tamalito, Río Turque, Quebrada Las Trancas, Río Bonito y Quebrada el Chorlo, donde la más importante de todas es la primera mencionada. A estas cuencas se les asocia una red secundaria con pequeñas microcuencas.

Imagen 1.4: Representación de las distintas microcuencas que hay en el municipio de Siguatepeque. Sobreimpreso se muestra el contorno municipal mostrando que hay microcuencas que vierten agua hacia otros municipios, como es la microcuenca del Río Uluíta que dreña en parte hacia Jesús de Otoro o la Quebrada El Chorlo que en parte dreña agua de San José de Comayagua.

1.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA

1.3.1 Tectónica y estructura geológica

La geología de Siguatepeque debe entenderse en un marco global dentro de la geología de Honduras, y el entorno tectónico en el que este país está enmarcado.

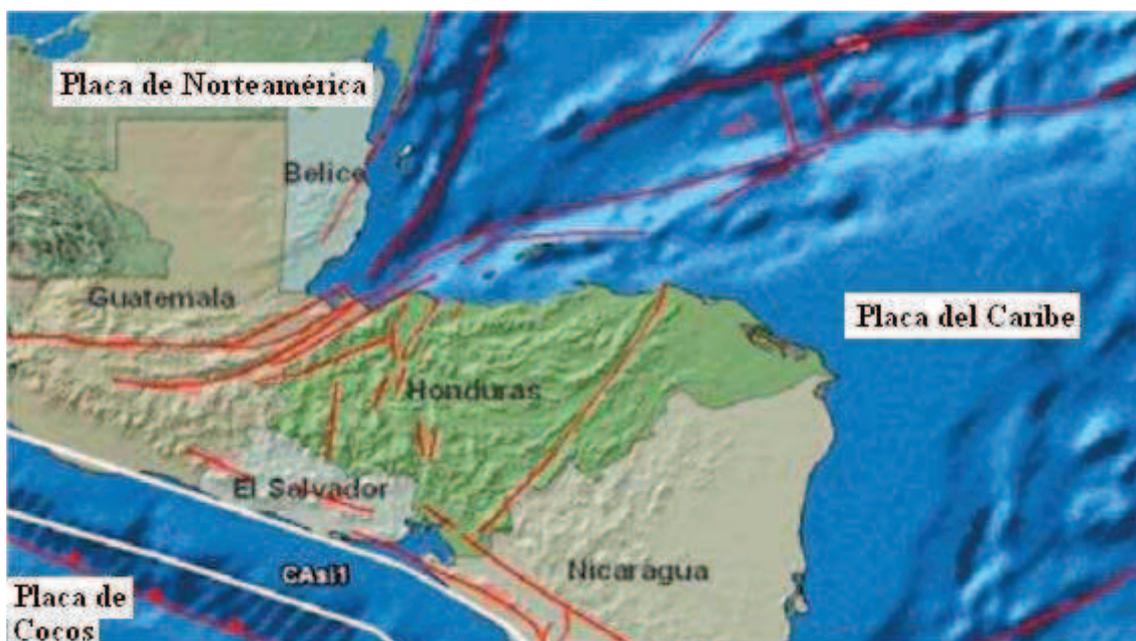


Imagen 1.5: Entorno tectónico en el que se encuentra Honduras. Modificado de Escobar Figueroa et. al. 2008 Fig. 4.6

Honduras se encuentra en la Placa del Caribe y bastante cerca de los límites que esta placa tiene con la Placa de Norteamérica al Norte y la Placa de Cocos al Suroeste.

El límite existente con la Placa de Cocos es una zona de subducción donde la placa oceánica de Cocos subduce por debajo de la Placa del Caribe dando lugar al arco volcánico que se puede ver en El Salvador, Nicaragua o Panamá. Esta zona de subducción se continúa al norte limitando la Placa de Cocos con la Placa Norteamericana, dando lugar al vulcanismo guatemalteco y mejicano.

La zona de subducción por debajo de Honduras tiene una inclinación de entre 60 y 80 grados dando lugar a una fuerte sismicidad que se reconoce hasta los 200 Km de profundidad (Escobar Figueroa et.al. 2008) y un alto vulcanismo en el frente de la placa caribeña. Por ello, este vulcanismo está activo en El Salvador y no en Honduras.

El límite existente con la Placa de Norteamérica son una serie de fallas transcurrentes o de desgarre que conforman la Falla Potochic-Motagua, Falla de Swan y Fosa de Las Caimán.

La falla de Motagua da lugar al valle del Río Motagua formando la cuenca del mismo nombre que da la frontera entre Honduras y Guatemala.

Es en este sistema de fallas transcurrentes que forman el límite de la placa tectónica del Caribe con la de Norteamérica en la que se dan el mayor número de terremotos que afectan a Honduras, como el ocurrido el 28 de Mayo del año 2009 y que causó numerosos destrozos, sobre todo en vías de comunicación.

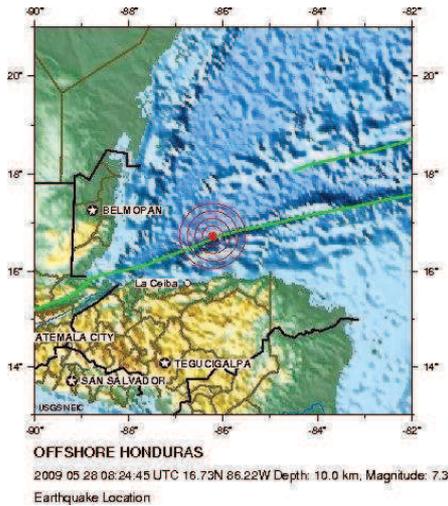


Imagen 1.6: Localización del terremoto ocurrido el día 28 de Mayo del año 2009. Fuente: http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2009/eq_090528_heak/neic_heak_1.html

[ml](#)

El movimiento relativo de la Placa de Norteamérica con la Placa del Caribe hace que toda la deformación sea absorbida en la Falla de Motagua, dando lugar a las principales estructuras geológicas activas que se encuentran en territorio hondureño.

El territorio hondureño se divide en tres sectores distintos en función de su actividad estructural, que se identifican como Zona 1 o área de actividad en el límite de placas, Zona 2 o área de la meseta de América Central y Zona 3 o área de rifts inactivos (Rogers, 2003).



Imagen 1.7: Mapa de Honduras mostrándose en color rojo los límites fronterizos del país con Nicaragua al Este, El Salvador al Suroeste y Guatemala al Oeste y en negro de modo orientativo, las tres zonas propuestas por Rogers, 2003.

La zona 2 muestra una parte occidental con fallas normales afectando a materiales anteriores al Jurásico que hacen de basamento, seguidos de sedimentos carbonatados del Cretácico ligeramente plegados y finalmente depósitos volcánicos del Mioceno. En su parte oriental los materiales presentes son los mismos salvo la presencia de los depósitos volcánicos del Mioceno. En esta parte, la altura media está entre los 700 y 1000 metros sobre el nivel del mar.

La zona 3 representa un estado avanzado de la zona dos oriental. Y es que, tanto la zona dos oriental como la zona 3 representan zonas tectónicamente inactivas que se justifican con la presencia de ríos con sección típica bien definida en forma cóncava y relieves bien erosionados en sus partes altas (Rogers, 2003).

La zona 1 es la que cae dentro de nuestra zona de estudio, donde se encuentra Siguatepeque, y está caracterizada por la presencia de tectónica activa por medio de fallas normales que dan una serie de grabens y horst. Éstos dan lugar a grandes valles de Honduras, como son el Valle del Sula, el Valle de Comayagua y el Valle de Jesús de Otoro, y es en esta zona de fallas normales donde se acomoda toda la deformación tectónica sufrida en la Falla de Motagua como consecuencia del movimiento relativo de la Placa de Norteamérica con la Placa del Caribe.

Las rocas que se presentan en esta zona son un basamento pre-Jurásico, que está poco aflorante en la zona, seguido de una secuencia carbonatada del Cretácico plegada sobre la que se sitúa finalmente un importante depósito de materiales volcánicos del Mioceno; estos débilmente deformados.

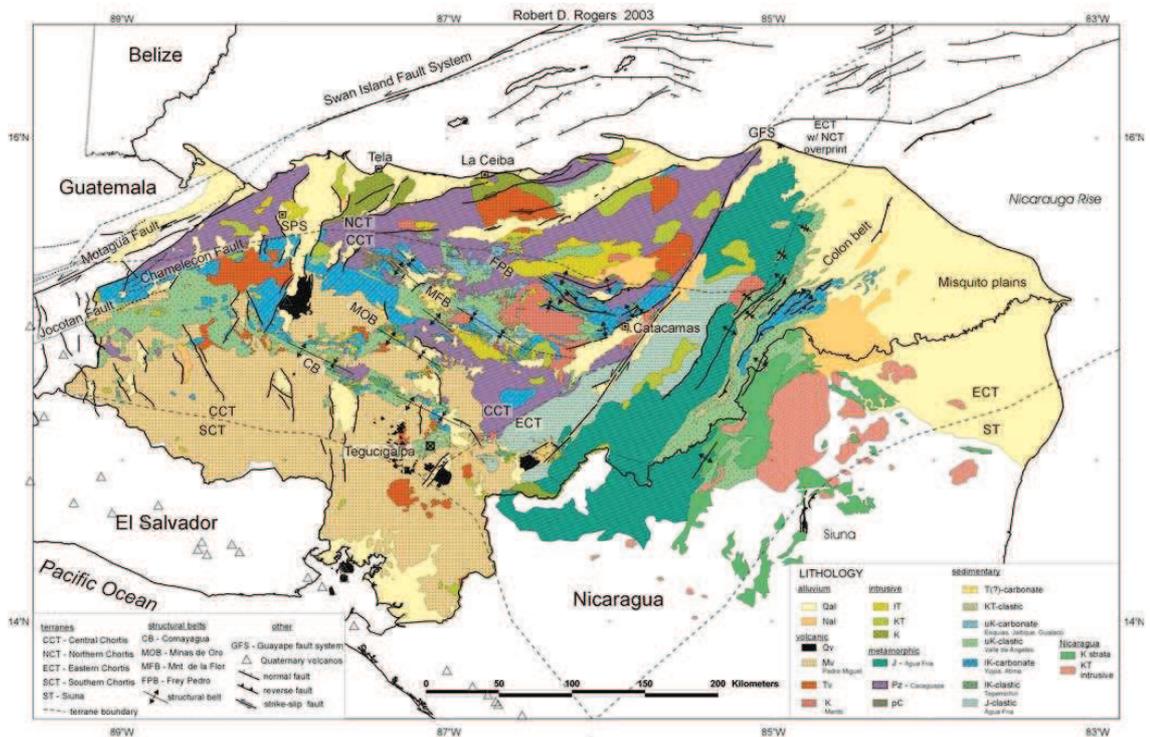


Imagen 1.8: Mapa geológico de Honduras mostrando los distintos materiales presentes, así como las estructuras tectónicas más importantes.

En el mapa geológico de la imagen 1.8 se pueden ver las fallas normales que dan lugar a los grandes grabens. Si uno se sitúa en Siguatepeque verá que se encuentra entre dos graben importantes como son el de Comayagua y el de Jesús de Otoro, tal como se muestra en la imagen 1.9. Por lo tanto, a grandes rasgos, el altiplano de Siguatepeque es un horst situado entre dos grandes graben, lo que da lugar a que los cauces fluviales en el municipio estén poco desarrollados, y no se cuente con cursos verdaderamente importantes como pueden ser el Río Umuya que pasa por Comayagua o el Río Ulúa (Río Grande de Otoro) que pasa por Jesús de Otoro.

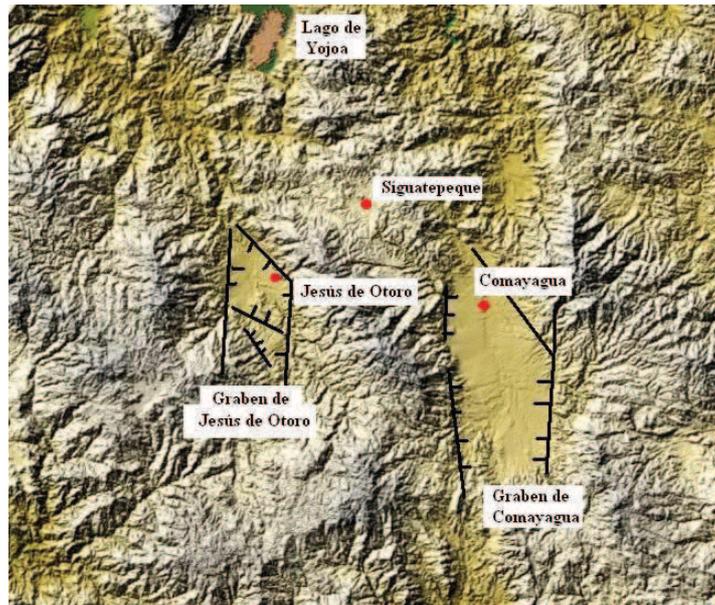


Imagen 1.9: Situación tectónica de los Valles de Otoro y Comayagua con respecto a Siguatepeque. Obsérvese como Siguatepeque se encuentra en una zona elevada entre los dos grandes valles.

La situación tectónica de Siguatepeque controla por tanto la disponibilidad de agua en el municipio, ya que los pequeños cursos fluviales van a condicionar la presencia de agua superficial, y el estado de fracturación de las rocas y tipo de rocas condicionarán la presencia de agua subterránea.

1.3.2. Estratigrafía

Las rocas presentes en el Municipio de Siguatepeque se pueden ver en su hoja geológica, observándose que mayoritariamente son materiales volcánicos del Mioceno, aunque también hay presencia de rocas del Cretácico. En términos generales, el municipio de Siguatepeque está representado por tres grupos importantes de rocas. El Grupo Valle de Ángeles que se sitúa en el sector norte del municipio, la Formación Matagalpa que se sitúa en pequeños afloramientos en el sector norte del mapa sirviendo de paso estratigráfico al siguiente grupo de rocas, el Grupo Padre Miguel, el cual ocupa la mayor parte del territorio del Municipio de Siguatepeque.

La estratigrafía se describe a continuación según fue descrita por Donald Curran 1981.

Grupo Valle de Ángeles (Cretácico Superior)

- Valle de Ángeles Inferior (Kva. En Rojo en el Mapa) → Conglomerado masivo de color café claro a gris rojizo con guijarros de cuarzo y arenisca feldespática de color café grisáceo. Algunas limolitas café rojizas ricas en feldespato.

- Miembro Jatique (Kj. Azul oscuro en el mapa) → Caliza masiva pobremente estratificada de color azul grisáceo a gris carbón. Poco fosilífera, pero contiene fragmentos de conchas de Pelecípodos y *Graphaea*. Los 30

metros superiores de la unidad están bien estratificados con láminas de 1 a 2 milímetros de espesor. En fractura fresca desprende olor de petróleo.

- Valle de Ángeles Superior (KTva. Rojo claro en el mapa) → Arenisca cuarcítica de grano fino, lodolita calcárea desmoronadiza de color marrón a café rojizo, y limolita en bloques intemperizados de color café rojizo.

Formación Matagalpa (Paleoceno)

- Coladas andesíticas de grano fino, intemperizada en bloques de color púrpura rojizo a gris purpurino.

Grupo Padre Miguel (Mioceno)

- Miembro Ocote Arrancado (To. Amarillo en el mapa) → Gruesa secuencia de ignimbritas félsicas de color rojo, café y gris, constituidas de fenocristles de biotita, cuarzo, sandina y plagioclasa, feno-andesitas gris púrpura de plagioclasa.

- Miembro Guique (Tg. Rosado en el mapa) → Principalmente piroclásticos retrabajados en agua. Arenisca con gránulos de pómez con capas de cenizas, algunas tobas depositadas por aire, y una ignimbrita delgada de color gris rojizo a gris, con biotita, plagioclasa y cuarzo. También se presentan algunos sillars.

- Basalto Terciario (Tb. Marrón en el mapa) → Basalto fenocristalino con plagioclasa y olivino (alterado). Vesicular. En algunos lugares tiene ópalo en las juntas y amígdalas de calcedonia.

- Miembro Potrerillos (Tp. Verde en el mapa) → Colada de riolita fenocristalina de color café rojizo con cuarzo, plagioclasa y sandina. Contiene capas rojas e inclusiones basálticas, así como vesículas rellenas de calcedonia. También tiene estructuras de desvitrificación de color lavanda.

- Miembro Cerro Verde (Tcv. Azul claro en el mapa) → Ignimbritas félsicas bien endurecidas de color gris rojizo a gris, y blanca por intemperismo, conteniendo fenocristles de biotita, plagioclasa, sandina? y cuarzo.

En menor medida, y estratigráficamente sobre estos materiales se depositan aluviones del Cuaternario formados por depósitos y terrazas de gravas junto con un basalto con fenocristales de plagioclasa y olivino alterado junto con ceniza.

La hoja geológica nos muestra claramente como la mayor parte del municipio de Siguatepeque, y todo su casco urbano se encuentra en el Miembro Guique del Grupo Padre Miguel. Los depósitos piroclásticos se presentan alternantes con fuertes variaciones de espesor y de cementación. Así, algunos depósitos presentan granos de cuarzo de tamaño limo poco cementados, lo que los hace fácilmente deleznable. Por el contrario, existen algunos niveles de menor espesor que en muestra de mano tienen unas características similares a los anteriores, con la diferencia de que presentan cementación de sílice, dándoles una mayor tenacidad y haciéndolos muy poco deleznable. Este contraste de niveles se reconoce poco en muestra de mano, pero en afloramiento da lugar a grandes contrastes en color de alteración y en facilidad de erosión. Por lo que sirven de niveles guía para reconocer estructuras menores como fallas.

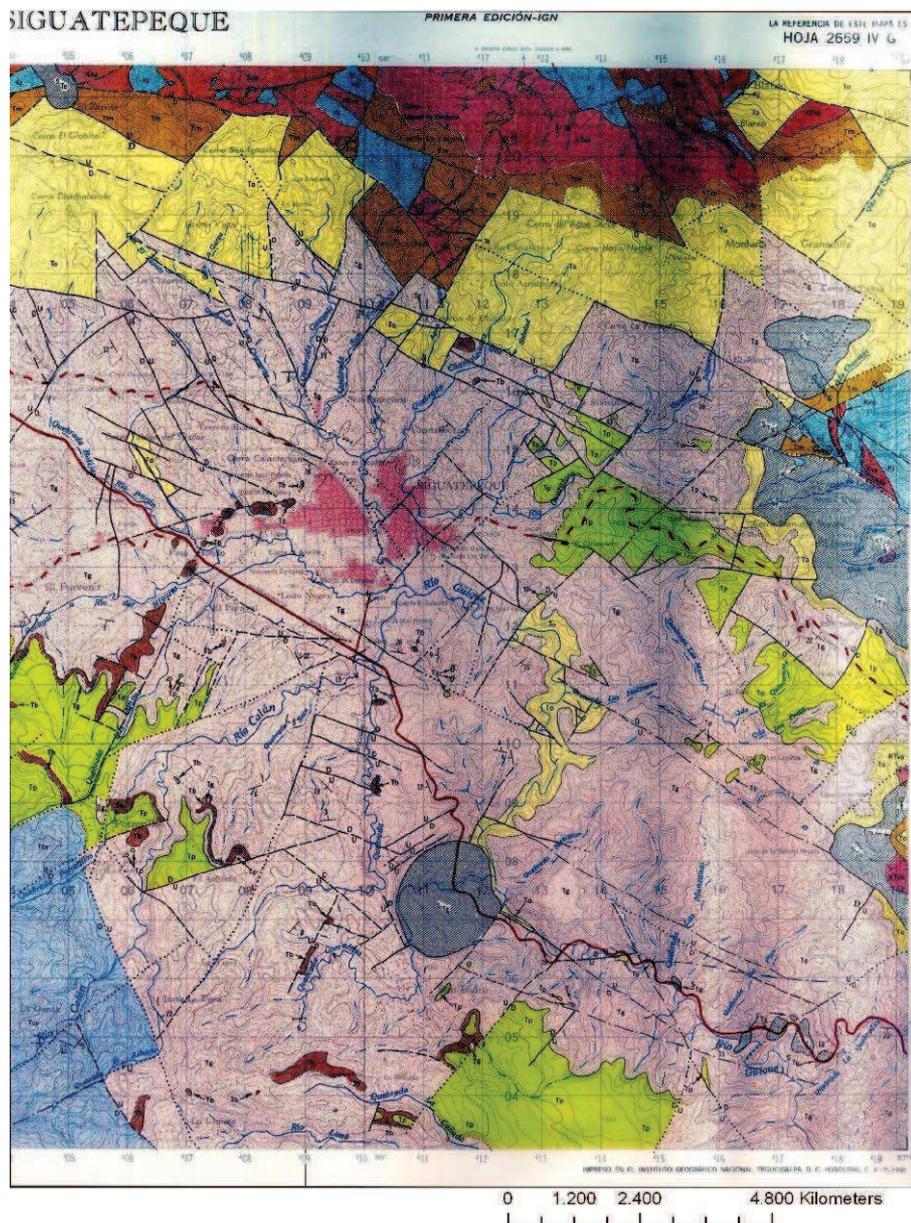


Imagen 1.10: Arriba se muestran dos imágenes de las rocas que forman el Miembro Guique en la carretera que conduce desde Siguatepeque a Comayagua en el tramo conocido como Cuesta de La Virgen, justo antes de la sucesión de curvas que hay al final de la misma. En la imagen de la izquierda puede verse la alternancia que se mencionaba y como esta marca niveles guía. En la imagen de la derecha otro afloramiento cercano al anterior mostrando lo mismo desde una perspectiva más lejana. Abajo se muestra el mapa geológico de Siguatepeque.

Si uno observa bien la imagen 1.10 superior izquierda, podrá ver una fuerte presencia de fracturas más o menos importantes en la roca. Y es que, estas rocas están fuertemente fracturadas, lo que puede constatarse en los múltiples afloramientos de rocas por cortes de la carretera del Miebros Guique que hay entre el la Aldea de El Socorro en Siguatepeque y el Municipio de Comayagua. Estas fracturas juegan un papel importante en la recarga del acuífero de Siguatepeque y en su tipología.

Del mismo modo, estas fracturas quedan patentes en la cartografía geológica, la cual muestra una importante presencia de fallas normales y de desgarre con un trazado cartográfico bastante rectilíneo. Al tener este trazado en una topografía cambiante, como lo es al norte del mapa, indica que las fracturas poseen una inclinación elevada siendo casi verticales.

Los materiales más antiguos, son los que se presentan al norte del mapa, representados por las calizas, conglomerados y areniscas del Grupo Valle de Ángeles de edad Cretácico Superior, por lo que indica que las fallas situadas en este sector del mapa han levantado estos materiales y hundido los materiales del sur, lo que podría indicar que el altiplano de Siguatepeque sea un pequeño graben dentro de la estructura mayor que formaban el Graben de Comayagua y el Graben de Jesús de Otoro (Curran, 1980).

Por tanto, la estructura tectónica de la zona está gobernada por la presencia de fracturación con escasos plegamientos que dan bajos buzamientos a los materiales, los cuales a penas llegan a los 20° en algunas zonas. Las fracturas son principalmente fallas con una importante componente normal y planos de falla casi verticales.

Como ya se ha mencionado, y se hará mayor hincapié, estas fallas condicionarán en gran medida el agua subterránea de Siguatepeque.

1.4 PROBLEMÁTICA DE LA ZONA Y ANTECEDENTES

1.4.1. Problemática del agua en Siguatepeque

Hasta primeros de Noviembre del año 2008, el abastecimiento de agua municipal de Siguatepeque estaba gestionado por el Sistema Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA). El diagnóstico municipal del sistema de abastecimiento de agua realizado por el Banco Mundial para el SANAA, con motivo del traspaso de gestión a suceder puso de manifiesto las enormes carencias en el servicio que suministraba esta entidad gubernamental. (Rodríguez, A. 2007)

Así este diagnóstico muestra para las fuentes superficiales enormes carencias en la calidad del agua producto de la mala gestión de las microcuencas donde se encuentran, resultados concordantes, como se verá, con los estudios de este proyecto. (apartado 2.5)

Una diferencia que se presenta en la información dada en este diagnóstico es el estado de la Presa de La Porra, donde el mismo dice que su estado es bueno, y esto no se ajusta a la realidad, al presentar un contrafuerte completamente descalzado que pone en riesgo la estabilidad de la estructura, tal como se mencionará más adelante.

El serio problema viene en el estado de las captaciones de agua subterránea, poniéndose de manifiesto el completo descontrol que tenía con la misma el SANAA al despreocuparse del rendimiento de los mismos, haciendo que su funcionamiento fuese malo operativamente y económicamente. Problema mencionado en el diagnóstico municipal y reconocido completamente durante el desarrollo de este proyecto.

Por lo tanto, este diagnóstico municipal puso de manifiesto una enorme problemática en gestión del agua en Siguatepeque. Pero esta no era la única problemática.

Chavaría Oseguera, A. 2007 contabilizó 225 pozos entre, artesanales y perforados, en el casco urbano de Siguatepeque, lo que ponía de manifiesto la enorme presión a la que se está sometiendo al agua subterránea, generándose un cono de descenso en el nivel piezométrico del Acuífero de Siguatepeque debido a la sobreexplotación en el sector urbano del mismo, (Trochez Oviedo, 2000). No sólo ello, sino que la mala utilización de alguno de ellos, no sólo indica que se ponga en peligro la cantidad de agua subterránea, sino la calidad. Este autor pone de manifiesto que la contaminación es sobre todo puntual debida a la mala utilización de pozos abandonados, y se hará hincapié en este estudio cuando se observe el acuífero superficial de Siguatepeque (apartado 2.3); aunque también existen componentes de contaminación difusa, debida sobre todo a la contaminación a la que se someten los cursos superficiales en el casco urbano, algo que se pondrá de manifiesto en este estudio.

Otros estudios como Rodríguez, A. 2007 o Escoto, X. et. al. 2001 ponen de manifiesto la problemática del agua en el municipio.

1.4.2 Antecedentes

Los estudios antes mencionados, así como la presencia de Geólogos del Mundo en el municipio desde Septiembre del año 2007, sirvieron de antecedente para el desarrollo de este proyecto.

Los trabajos de Chavaría coincidieron con la presencia de Geólogos del Mundo en el desarrollo de dos proyectos de abastecimiento de agua potable: en la Comunidad Noé Cruz Villeda y Barrio El Pedregal. (Perdigón Velásquez 2008), (Perdigón Velásquez 2008). Nuestra presencia sirvió para orientar a Antonio Chavaría en cuestiones geológicas y a la vez, nos dio a conocer de primera mano el trabajo que estaba realizando. Se observó por tanto la problemática con el acuífero desde el momento en que era reconocida por este ingeniero forestal.

Además de ello nos sirvió para conocer los trabajos que el Dr. Ramón Arturo Tróchez Oviedo había realizado con motivo de su tesis de postgrado, el cual ponía también de manifiesto la problemática del agua subterránea en Siguatepeque.

Justo durante nuestra primera estancia en el municipio se estaban llevando a cabo todos los procesos legales que trataban de ajustar el traspaso del acueducto del SANAA a la Municipalidad de Siguatepeque, como la serie de cabildos abiertos y reuniones de la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento (COMAS). En todo ello participó nuestra contraparte ECO-REDES la cual nos facilitó nuevamente información de primera mano de cómo iba a quedar estructurada la gestión municipal del agua.

La presencia de todos estos antecedentes hizo que Geólogos del Mundo se metiese en la problemática municipal del agua desde sus inicios, y ayudó a la elaboración del proyecto que se presenta en este documento.

1.5 OBJETIVOS

En el desarrollo del proyecto se marcaron unos objetivos claros los cuales mostrarían que el estudio y proyecto realizado sería de buena utilidad para el Municipio de Siguatepeque.

Un primer objetivo era la elaboración de un documento científico que sirva de base para la gestión municipal del agua, sobre todo para la gestión del acuífero. Es importante dejar documentación que caracterice la dinámica del agua subterránea, la dinámica de explotación de pozos de agua, calidad, etc. y que todo ello sirva para la ubicación correcta de nuevos pozos, o incluso el control de contaminantes que puedan afectar a la dotación de agua a la población. Este documento científico será la base del proyecto y estará formado por este informe así como los distintos anexos que lo acompañarán.

Otro objetivo importante del proyecto es evaluar la capacidad hídrica con la que cuenta el municipio, observando tanto la capacidad de agua subterránea como superficial, y evaluar nuevas fuentes de abastecimiento. Este objetivo se marcó viendo la necesidad de hacer más eficiente el abastecimiento de agua superficial y quitar la presión a la que se somete al acuífero. Tróchez 2000 y Chavarría 2007 ponen de manifiesto que los pozos que con diferencia extraen mayor cantidad de agua son los de abastecimiento municipal. Por ello, hacer más eficiente el abastecimiento superficial quitará gran presión al acuífero de Siguatepeque.

No sólo se pusieron como objetivos aspectos técnicos, sino que el proyecto tiene una alta carga de promoción social. Es necesario trabajar con la población para que la gestión sea efectiva. A fin de cuentas, conocer la opinión de la población, así como concienciarlos en un manejo y uso correcto de los recursos hídricos, es fundamental para que un municipio castigado con el agua como es Siguatepeque pueda disponer de agua de buena calidad, y buena cantidad en corto, medio y largo plazo.

Finalmente, el proyecto también se marcó una carga legal importante, y que este estudio sirva para la elaboración de normativas municipales que garanticen la cantidad y calidad de agua con el tiempo. Desde la formulación del mismo se observó que si no existía voluntad política en lo que concluyese el estudio, de poco serviría la realización del mismo; por ello la carga legal, sobre todo concerniente al acuífero, es verdaderamente importante en la conclusión del proyecto.

Todos estos objetivos marcan uno en general que es ayudar de modo permanente en la gestión municipal del servicio de agua, en todo aquello en lo que se pueda ayudar de un modo puntual. Reconocimiento pozos en momentos específicos, realizando consultorías de calidad de agua para el municipio, etc., todo ello ayudando a que en estos dos años de nueva gestión municipal se mejorase el servicio que se da a los usuarios.

Capítulo 2: Estudio técnico.

2.1: INTRODUCCIÓN

La parte técnica del proyecto abarcó una gran variedad de actividades, tanto actividades directas con la problemática actual del agua, como actividades indirectas que con el tiempo servirán para mejorar la calidad del servicio de agua en el municipio, sobre todo a largo plazo.

Se ha estudiado en gran medida los acuíferos que hay en la zona del casco urbano, y que ya habían sido reconocidos en estudios anteriores. Pero también se dio especial atención al agua superficial. A fin de cuentas, para mejorar las condiciones del acuífero de Siguatepeque, es necesario estudiar las fuentes de agua superficial, ya que el objetivo principal es dotar de un mejor servicio de agua a Siguatepeque, pero de un modo sostenible. Y el quitar presión al acuífero sin mejorar las fuentes superficiales irá en detrimento de la calidad del servicio suministrado.

Por ello, la parte técnica se ha enfocado en estos dos aspectos. Primero, ver el estado del agua subterránea; luego ver el estado del agua superficial. Aunque no son los únicos aspectos tocados. Se ha estudiado la calidad de agua municipal, y finalmente se ha dotado de una estación meteorológica al municipio para poder manejar con fiabilidad datos climáticos que a fin de cuentas, guardan relación con la cantidad de agua que se le va a suministrar a la población. Se empezará a desarrollar este capítulo por este apartado, pues fue el primero ejecutado.

2.2 REHABILITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

2.2.1 Inicio de los trabajos

A nuestra llegada al municipio pudimos observar que la Escuela Nacional de Ciencias Forestales contaba con una estación meteorológica en mal estado. Por ello, y viendo que para un mejor control de la capacidad hídrica de una zona, es necesario un control de los parámetros meteorológicos que controlan la precipitación, se tomó la decisión de dotar de nuevo equipamiento y nuevo emplazamiento a esta estación meteorológica.

En una primera inspección pudimos comprobar cómo muchos útiles de la estación estaban en desperfecto o en mal funcionamiento. Pero lo peor de todo es que, debido al crecimiento de la escuela, hizo que el emplazamiento de la misma ya no cubriese los estándares de ubicación de una estación.

Así, el crecimiento de árboles cercanos influía en las corrientes de aire, tanto en su intensidad como en su dirección, y la ubicación de un aparcamiento de autobuses cerca influye en la cantidad de polvo levantado, así como en condiciones de aire.

Es por tanto que la ubicación de la misma debía ser modificada.



Imagen 2.1: Ubicación antigua de la estación meteorológica mostrando un aparcamiento de autobuses contiguo a la misma y el mal estado de los geotermómetros.

2.2.2 Ubicación de la nueva estación y obras de la misma

Para buscar el nuevo emplazamiento de la estación meteorológica, se realizó una encuesta entre el personal docente de ESNACIFOR para decidir qué opción tomar (Apéndice 1). Se buscaron emplazamientos que estuviesen libres de la circulación de vehículos para no levantar polvo, que estuviesen lejos de fuentes de almacenamiento de agua como tanques abiertos o piscinas, y que no tuviesen cerca ningún obstáculo para el movimiento del viento.

Conforme a ello, se encontraron tres localizaciones distintas. Una de ellas frente al pabellón femenino de alumnas de ESNACIFOR, otra de ellas en el emplazamiento que tenía anteriormente, pero ligeramente desplazada, y finalmente, en el parque experimental San Juan.

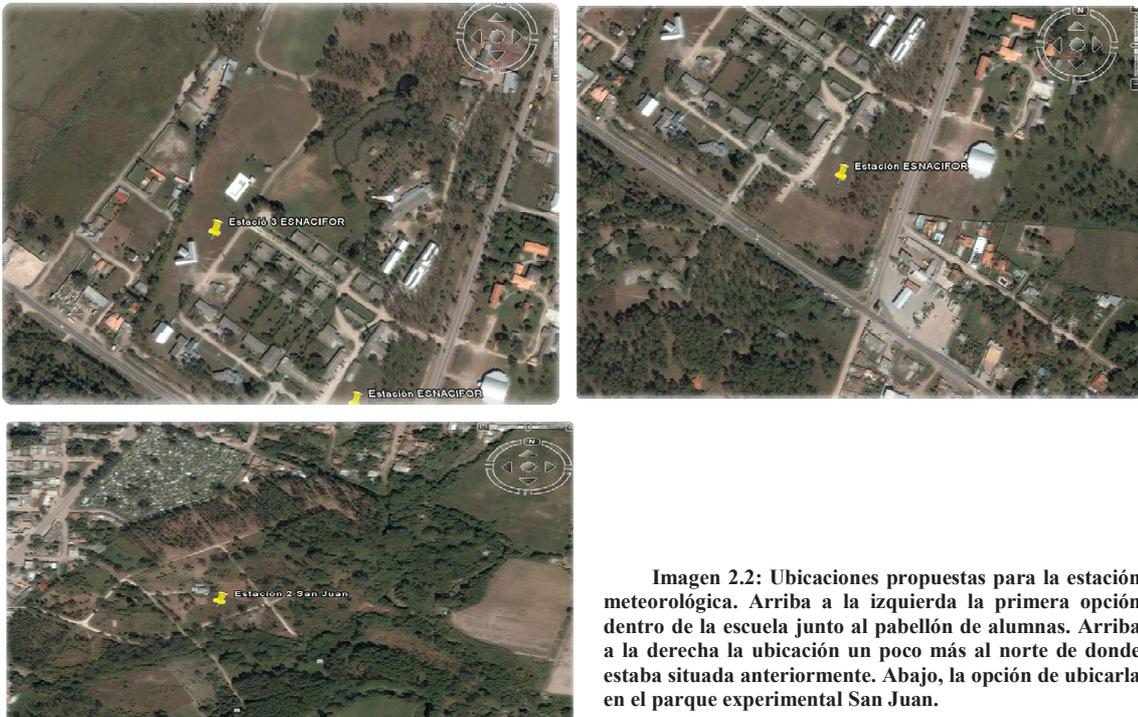


Imagen 2.2: Ubicaciones propuestas para la estación meteorológica. Arriba a la izquierda la primera opción dentro de la escuela junto al pabellón de alumnas. Arriba a la derecha la ubicación un poco más al norte de donde estaba situada anteriormente. Abajo, la opción de ubicarla en el parque experimental San Juan.

Tras realizar la encuesta, se decidió por mayoría ubicarla cerca del pabellón femenino.

Las obras de construcción comenzaron al poco tiempo de decidir donde ubicarla con un estudio topográfico. Es necesario que las estaciones meteorológicas se orienten con respecto a los vientos dominantes en la zona, por ello, fue necesario un previo estudio topográfico que buscara la orientación idónea para la estación en Siguatepeque, que por la dirección dominante de los vientos era orientada 20 ° al Este. El trabajo topográfico ubicó las esquinas de la estación meteorológica, así como sus dimensiones.

A continuación se procedió con los trabajos de construcción, que consistieron con una limpieza de la zona, y la excavación de la zanja donde iría sujeta la pared. En el fondo de la zanja se situó una pequeña losa de cimentación y emparejamiento de cemento y varilla de hierro.

La pared se profundizó diez centímetros y fue levantada otros diez centímetros sobre el suelo con bloques de cemento (bobedilla). Se terminó levantando la pared con malla ciclón y tubos de HG para malla. Con esta misma tubería se realizó la pared que da cierre al predio.

Además de ello, se construyó un camino de cemento que da acceso a la estación y se decoró con diversas plantas para darle mayor vistosidad.



Imagen 2.3: Aspecto de la estación meteorológica una vez terminadas las obras.

2.2.3 Elección del nuevo instrumental a instalar

Además de reubicar la estación con el instrumental que ya tenían, en vistas del mal estado que presentaban algunos de los instrumentos, se decidió dotar de nuevo y moderno instrumental para hacer más fiables los datos obtenidos. El instrumental con el que contaban era analógico, y la toma de datos se realizaba por varios miembros docentes de la escuela, así como los vigilantes en horas nocturnas. El inconveniente era que cuando llovía, o por despiste de los encargados de tomar datos, muchos dejaban de registrarse.

Se decidió por tanto dotar de instrumental automático y digital a la estación que diese y registrase información continua sin necesidad de ser registrado de modo manual.

Se realizaron diversas cotizaciones de instrumental en diversos proveedores buscando siempre una buena relación en la precisión del instrumental y el precio ofrecido.

Las empresas cotizadas fueron Importadora de Equipo de Precisión S.A. (IMEPRE), Representaciones Handal y La Casa del Ingeniero. De todas las opciones, las dos primeras eran las que peor relación ofrecían, ya que en unos casos su precio era excesivo, y en otros la precisión no era lo que se buscaba. Por ello, al final se decidió adquirir la oferta dada por La Casa del Ingeniero, que consistía en un buen instrumental que ofrecía gran variabilidad de parámetros a medir, así como buena precisión en la medida de los mismos. Y no sólo ello, sino que su configuración permite añadir más instrumentales en un futuro en caso de que se considere oportuno.



Imagen 2.4: Izquierda, parte del instrumental adquirido antes de ser colocado en el predio de la estación meteorológica. A la derecha, el equipo instalado en la estación meteorológica. En la imagen aparece nuestro promotor social Noé Mercado con la consola de control en las manos donde se registran todos los parámetros.

Finalmente, el municipio cuenta con un instrumental fiable, digital y con recibo de información a distancia por medio de la consola de control el cual dota al municipio de información meteorológica precisa con la que poder investigar a futuro la disponibilidad de agua; pudiéndose controlar parámetros como la precipitación, evaporación, etc. que a futuro digan la cantidad de agua con la que podrá contar el municipio. Además, la Escuela Nacional de Ciencias Forestales cuenta con personal capaz de interpretar los datos que esta estación dé y poder enmarcarlos en la administración del agua en el municipio.

2.2.4. Nombramiento de la estación e inauguración

Cuando la misma estaba terminada se buscó darle un nombre a la misma y programar la inauguración de ella.

Para el nombre se barajaron pocas opciones, ya que convenció desde el principio uno de los propuestos, darle el nombre del principal meteorólogo que ha tenido Honduras. Por ello, se decidió llamar a la estación “Estación Meteorológica D. Edgardo Zúniga Andrade.

Para la inauguración se decidió que esta persona acudiese, por lo que se iniciaron las gestiones para poder desplazar a esta persona junto con su esposa y su hija desde su lugar de residencia en Tegucigalpa hasta Siguatepeque. Hubo pequeños problemas debido a su avanzada edad, pero al final se consiguió contar con su presencia en la inauguración.

Por ello, el 22 de Agosto de 2009 se procedió a inaugurar la estación meteorológica con la presencia de D. Edgardo Zúniga Andrade y su familia. Además, acudieron

diversas autoridades de ESNACIFOR así como el Alcalde Municipal el Prof. Guillermo Martínez Suazo y parte de su Corporación Municipal.

Miembros de Geólogos del Mundo y ASIDE, como diverso personal de ESNACIFOR completaron los asistentes a la inauguración.



Imagen 2.5: Izquierda. Diversas autoridades antes del descubrimiento de la placa de la estación meteorológica. De izquierda a derecha: Francisco del Río Sánchez, Técnico de la ONGd Geólogos del Mundo, Juan Francisco Vásquez, Subdirector Técnico de ASIDE, Guillermo Martínez Suazo, Alcalde Municipal de Siguatepeque, Gabriel Barahona, Subdirector de ESNACIFOR, Asdrúbal Calderón, Director de ESNACIFOR y D. Edgardo Zúniga Andrade, Meteorólogo hondureño y persona homenajeada durante el evento.

Se puede obtener mayor información del proceso de rehabilitación de la estación meteorológica en la Apéndice 1.

2.3 ESTUDIO DEL ACUÍFERO SUPERIOR DE SIGUATEPEQUE EN SU SECTOR OESTE

2.3.1 Introducción

En algunos lugares del casco urbano de Siguatepeque se ha observado la presencia de un acuífero libre el cual hasta cierto punto, ha tenido, y sigue teniendo algún tipo de utilidad.

Y es que, antes del proyecto Cuatro Ciudades que desarrolló el SANAA mucha gente se abastecía de agua por medio de pozos artesanales que explotaban agua de este acuífero.

Cuando el SANAA empezó a dotar de agua a las viviendas estos pozos se fueron abandonando, y en el peor de los casos, se les empezó a dar un mal uso a los mismos. Estos se utilizaron como letrinas, basureros o incluso estercoleros lo que pone de manifiesto el riesgo que tiene el acuífero superficial.

2.3.2 Desarrollo del trabajo y resultados

La metodología de trabajo seguida fue consultar en Chavarría 2007 el listado de pozos superficiales en el municipio y una vez identificarlos, ir a reconocerlos en el campo.

En el reconocimiento de campo, se identificaron los pozos que tenían algún tipo de utilización, así como tomar una serie de muestras de agua que nos indicasen el grado de contaminación del agua subterránea de este acuífero superficial.

Los resultados obtenidos fueron verdaderamente malos. La mayoría de los pozos tenían un aprovechamiento completamente inadecuado, lo que quedó reflejado en los análisis de agua, los cuales dieron una fortísima contaminación bacteriológica. Así, se puede comprobar como en varias muestras la presencia de coliformes fecales es enorme, al igual que la presencia de *Escherichia coli*. Sólo puede indicar una cosa, y es que estos pozos se están utilizando como letrinas, como basureros o como estercoleros incluso.

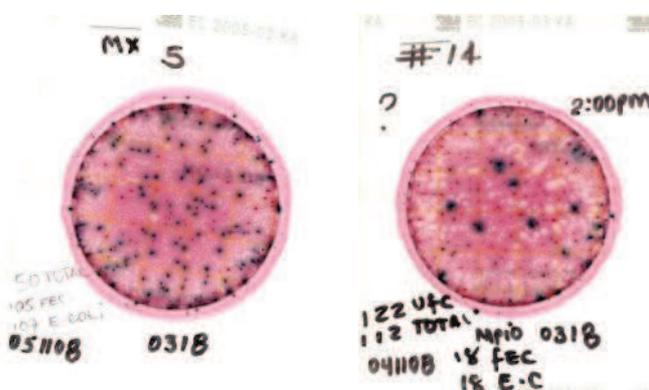


Imagen 2.6: Análisis bacteriológicos realizados en el agua obtenida de un pozo malacate en el Barrio Zaragoza (MX5) y otro en el Barrio El Carmen (#14). Se puede observar la gran presencia de contaminación en las muestras.

Al medirse los niveles de agua, se pudo comprobar el estado de la misma en este acuífero, y el movimiento natural que tiene. Se observó que el nivel freático está muy elevado, lo que influirá en fuertes periodos de lluvia haciendo que el nivel esté por encima de la superficie topográfica.

Además, el acuífero drena principalmente en los cauces fluviales del casco urbano, lo que es relativamente preocupante, ya que toda la contaminación que este acuífero tiene termina en el agua superficial, que como se verá más adelante, puede afectar de modo directo a los pozos del acuífero profundo que se aprovecha para abastecimiento municipal.

A la hora de realizar el estudio se desarrolló un documento técnico que se entregó a la Unidad de Medio Ambiente de Siguatepeque para que tomase las medidas que considerase oportunas (Apéndice 2). Aunque se aconseja el desarrollo de una normativa que regule la utilización de pozos y abandono de los mismos. Esta normativa deberá también aplicarse a letrinas, pues a fin de cuentas son parecidas a pozos y evitará que la gente siga contaminando el agua subterránea con desechos fecales.



Imagen 2.7: Dos muestras de la Lic. Maite Rentero Tribaldos recogiendo muestras en dos pozos del Barrio Zaragoza.

2.4 ESTUDIO DEL ACUÍFERO DE SIGUATEPEQUE Y SU APROVECHAMIENTO

2.4.1 Introducción

La parte principal del proyecto se centró en conocer las características del acuífero de Siguatepeque en su sector urbano. Algo bastante importante, pues hasta hace bien poco, era el sustento principal de agua para el municipio, llegando a aportar durante la administración del SANAA el 90 % del total del agua suministrada (Chavarría, 2007). Por esa presión es por lo que se prestó especial interés al acuífero más profundo del municipio.

La explotación del mismo es principalmente por medio de pozos municipales los cuales son los que más presión meten al acuífero. La mayoría de los pozos inventariados por Chavarría 2007 son de uso privado, bien por particulares, o bien en negocios hosteleros, gasolineras o carwash (lavaderos de coches). Ello hace que su uso es muy distinto al que se les da a los pozos municipales. Estos pozos privados tienen caudales de extracción muy variables así como tiempos de extracción igual de variables, por lo que la presión que meten al acuífero es menor. Por ello, el volumen de extracción de estos pozos es mucho menor al volumen que extraen los pozos municipales.

Los pozos municipales en un principio eran San Miguel I, San Miguel II, San Juan I, Alcaravanes I y Alcaravanes II, produciendo unos caudales en torno a los 8 a 12 l/s (128 a 190 Gal/min.). En 1992 comenzó el Proyecto Cuatro Ciudades dejando de usarse todos los pozos antes mencionados excepto el Pozo San Miguel II, que sigue en uso hoy en día.

Con la clausura de estos pozos se perforaron nuevos que están principalmente en uso hoy en día, como son: Pozo ESNACIFOR, Pozo San Antonio, Pozo San Miguel III, Pozo San Francisco, Pozo Zaragoza, Pozo La Fresera, Pozo San Juan, Pozo SANAA, Pozo Macaruya y Pozo Alcaravanes III.

Recientemente se clausuró el pozo San Miguel III, y en el mismo predio se perforó el Pozo San Miguel IV. Además de perforó el Pozo San Pablo, el cual actualmente se encuentra en desuso.

Por tanto, el abastecimiento de agua municipal actualmente es por medio de 12 pozos, que enumerados son: Pozo Zaragoza, Pozo SANAA, Pozo La Fresera, Pozo ESNACIFOR, Pozo Alcaravanes III, Pozo Macaruya, Pozo San Miguel II, Pozo San Miguel IV y Pozo San Francisco. Estos pozos son los que han servido de base para el estudio del acuífero de Siguatepeque por medio de dos estudios distintos. Un aforo de buena parte de pozos municipales y una campaña de Geofísica por medio de Sondeos Eléctricos Verticales por el método de Schlumberger que se pudiese correlacionar con los datos facilitados por los aforos.



Imagen 2.8: Representación de la ubicación de los pozos aforados durante este estudio en fotografías de satélite de GoogleEarth. Arriba se puede ver una panorámica general de Siguatepeque con dos cuadros 1 y 2 donde se representarán a mayor detalle los pozos aforados. Centro a la izquierda se puede ver ampliado el cuadro 1 donde se muestra la ubicación de 5 pozos aforados. Centro a la derecha se puede ver ampliado el cuadro 2 donde se muestra la ubicación de 4 pozos aforados. Finalmente, abajo se muestra la ubicación del Pozo San Francisco en una vista general de Siguatepeque. Debido a la lejanía de este pozo con respecto a los anteriores hubo que situarlo en una imagen a parte.

Los pozos aforados en este estudio fueron por orden cronológico: Pozo ESNACIFOR, Pozo La Fresera, Pozo Alcaravanes III, Pozo San Antonio, Pozo Las Flores, Pozo San Miguel IV, Pozo Altos de Fátima, Pozo La Curtiembre, Pozo Zaragoza y Pozo San Francisco. De todos estos pozos, el Pozo Las Flores y el Pozo Altos de Fátima son pozos pertenecientes a las Juntas Administradoras de Agua del Barrio Las Flores y el Barrio Altos de Fátima respectivamente.

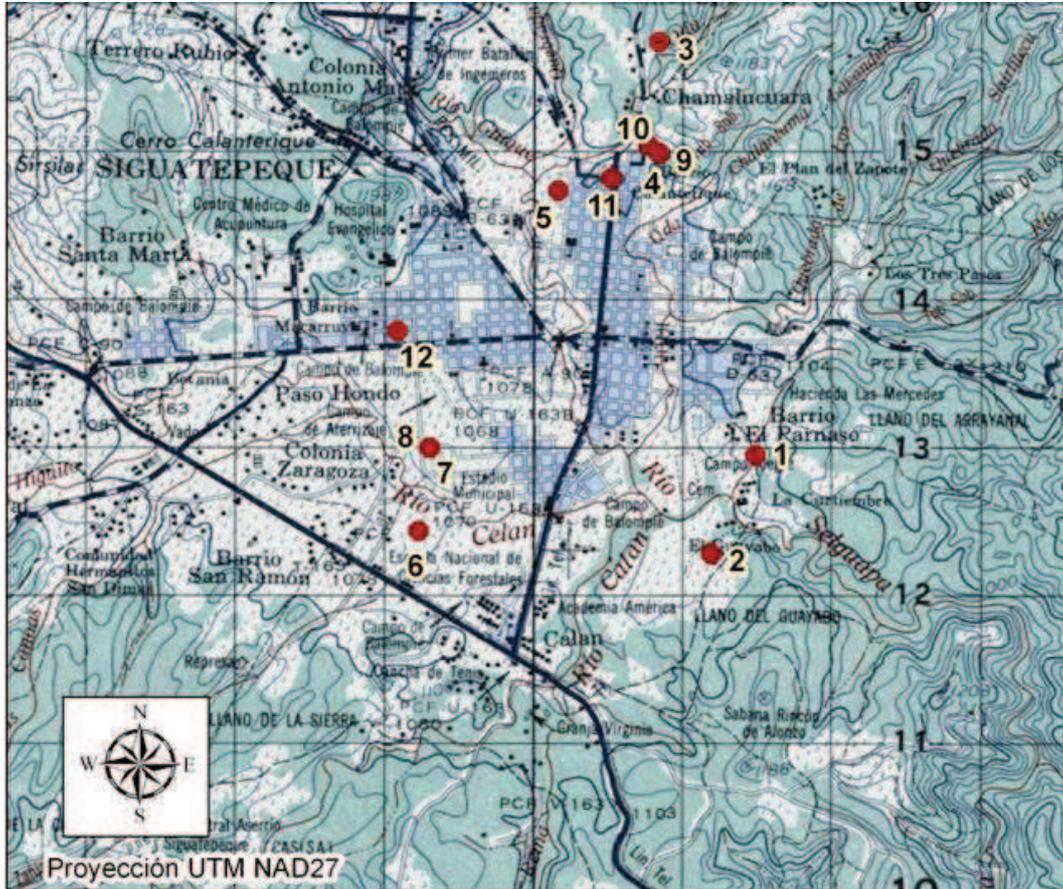


Imagen 2.9: Plano de ubicación de los distintos Sondos Eléctricos Verticales realizados en este estudio

Los resultados de los aforos realizados así como el informe de la campaña eléctrica se pueden encontrar en la Apéndice 3.

2.4.2. Dinámica del agua en el Acuífero de Siguatepeque

Un aspecto importante a conocer para evaluar la sobreexplotación de un acuífero es la disposición natural del nivel del agua en el mismo. En el acuífero de Siguatepeque se reconocen dos niveles distintos: Un nivel freático que es el nivel en profundidad al que se corta el agua, y un nivel piezométrico, que es el nivel hasta el que asciende el agua en los pozos como resultado de la presión a la que se encuentra el agua.

El nivel freático varía en función de donde nos encontremos, pudiendo observarse que en el sector norte del área municipal, el acuífero tiene el agua en torno a los 80 metros de profundidad, tal como pudimos comprobar durante la perforación de los Pozos de Las Flores y el Pozo de Altos de Fátima.

Aunque se han perdido los datos de las perforaciones de los pozos, por comentarios de un ingeniero que trabajó durante la perforación de los mismos, nos indicó que en el sector sur del casco urbano, donde se encuentran los pozos de La Fresera y Zaragoza, la profundidad a la que se encuentra el agua es a los 103 metros aproximadamente.

Un caso aparte de la ubicación del nivel freático se da en el Pozo San Francisco. Este pozo, fue perforado por el SANAA en cooperación con el Patronato del Barrio San Francisco, y gracias a miembros del mismo tuvimos acceso al registro de la perforación, así como la ubicación de las rejillas en el pozo. Estas nos muestran que el nivel freático en este pozo está casi superficial, aunque esto puede deberse a que los primeros metros de la perforación de este pozo está en un aluvión cuaternario de la Quebrada San Francisco, y dicho aluvión puede aportar agua subterránea desde la parte superior del pozo.

Lo importante era establecer el nivel piezométrico de los pozos, los que nos darían el flujo de agua subterránea en el acuífero.

Por estudios previos pudimos saber que la dinámica del agua es hacia el Río Selguapa.

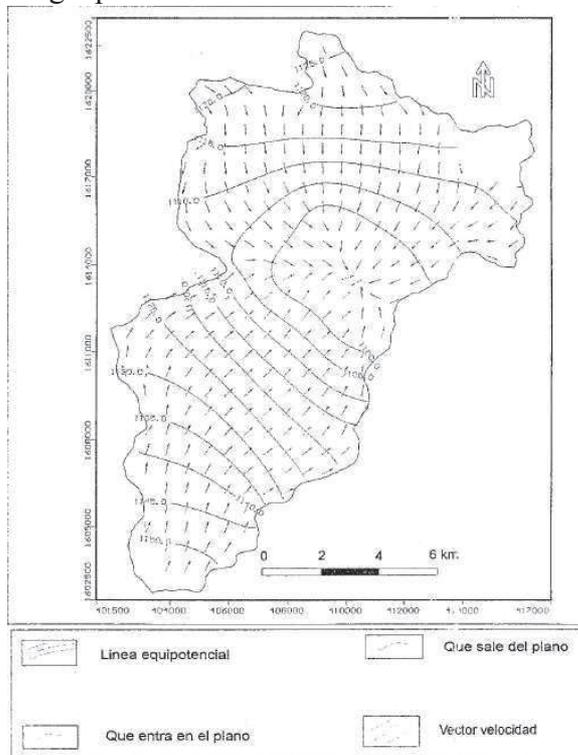


Imagen 2.10: Modelo de flujo natural del agua subterránea según Tróchez 2000. Extraído de Tróchez 2000, Fig. 28.

En la imagen 2.10 se observa el Acuífero de Siguatepeque en su totalidad, situándose el sector urbano en la zona de descarga del acuífero donde convergen todos los vectores de velocidad. Puede observarse que el flujo del agua es por tanto hacia la zona donde se encuentra el Río Selguapa (Río Calan según otros autores) el cual se dirige hacia Comayagua.

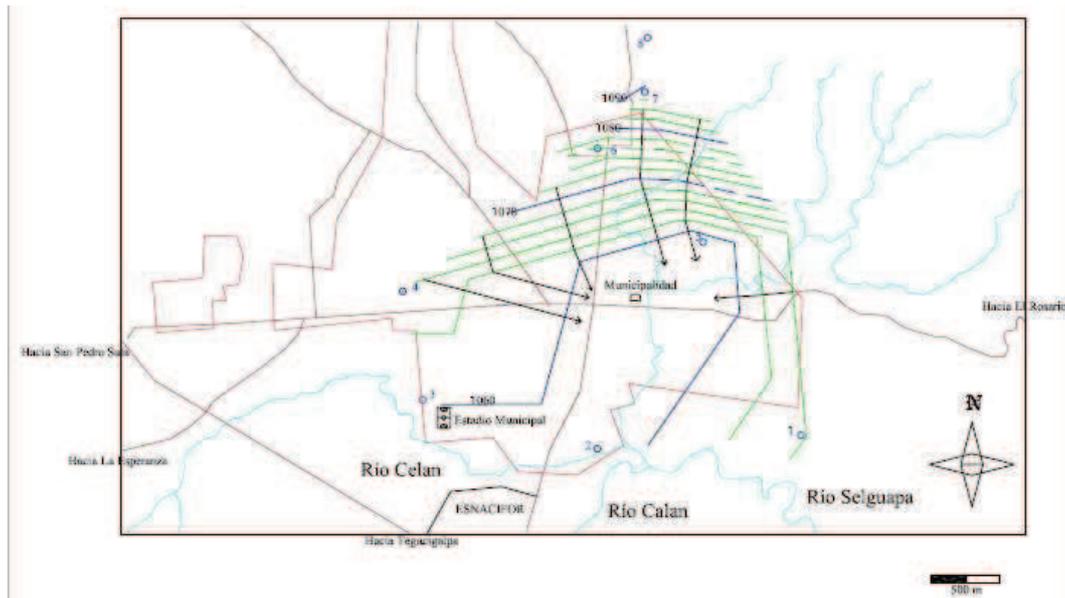


Imagen 2.11: Modelo de flujo del agua subterránea obtenido en este estudio.

En la imagen 2.11 se muestra el resultado de los estudios de este trabajo para el acuífero de Siguatepeque en su sector urbano. Puede observarse que la dinámica del agua subterránea es similar a la obtenida en Tróchez 2000, pudiendo estar los datos obtenidos influenciados por alguna explotación que afectase a las medidas y que un estuviese bajo nuestro control; aunque durante la toma de datos se tomaron todas las precauciones al respecto.

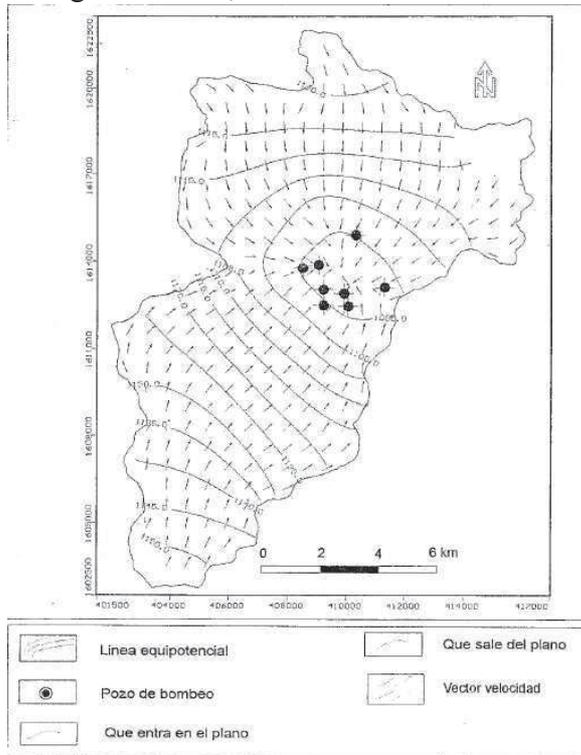
Los datos de los niveles de agua en los pozos, referidos con respecto al nivel del mar se muestran en la tabla 2.1, datos con los que se realizó el modelo de flujo.

Pozo	Nivel a superficie (m)	Altura topográfica (msnm)	nivel referenciado (msnm)
Alcaravanes III	24,82	1088	1063,18
Altos de Fátima	28,5	1116	1087,5
La Curtiembre	23,21	1087	1063,79
La Fresera	26,853	1087	1060,147
Las Flores	17,83	1128	1110,17
Parque San Juan	16,27	1075	1058,73
San Antonio	31,2	1089	1057,8
San Miguel IV	31,2	1107	1075,8
Zaragoza	20,89	1087	1066,11

Tabla 2.1: Niveles de agua medidos en este estudio en diversos pozos de Siguatepeque, así como la altura topográfica a la que se encuentran los pozos y por tanto, el nivel piezométrico referido con respecto al nivel del mar. En la tabla no se incluyen los datos del Pozo San Francisco, pues existen sospechas de que recibe agua del acuífero que hay en los materiales aluviales del cuaternario y daría un valor erróneo para el Acuífero de Siguatepeque. El pozo identificado como Parque San Juan es el que también se identifica como Pozo ESNACIFOR.

Es por tanto que el flujo de agua subterránea es hacia el sector sur del casco urbano, descargando el acuífero en el Río Selguapa, drenando por tanto hacia Comayagua.

Éste es un aspecto importante, ya que es en este sector de descarga donde se encuentran la mayoría de los pozos municipales de agua; y son los que mayor cantidad de agua extraen, como son el Pozo La Fresera, el Pozo Zaragoza o el Pozo La Curtiembre. Esta ubicación en la zona de descarga del acuífero hace que cuando uno observa un modelo de flujo influenciado por la explotación de pozos a penas varíe del modelo obtenido en régimen natural.



Cuando se compara la Imagen 2.10 con la Imagen 2.12 puede verse que la modificación del flujo no es enorme, registrándose descarga hacia el Río Selguapa, y hacia los pozos de Explotación. Por ello, debe considerarse un posible error en el modelo obtenido en este estudio como consecuencia de algún pozo en explotación que se escapase de nuestro control. Aunque a favor hay que decir que durante el aforo de los pozos se procuró que el resto de pozos municipales cercanos al pozo aforado no estuviesen en funcionamiento, algo no conseguido con

el aforo del Pozo San Miguel IV, ya que durante su aforo estaba en explotación el Pozo San Miguel II situado a unos 120 metros al oeste.

Imagen 2.12: Modelo de flujo para el Acuífero de Siguatepeque en régimen de explotación según Tróchez 2000. Extraído de Tróchez 2000 Fig. 25.

La dinámica del agua subterránea nos muestra que hay que prestar especial atención a la ubicación futura de industria, agricultura perforación de pozos, pues en cualquier lugar del municipio, o del sector urbano donde se ubiquen podrá afectar en especial medida al agua subterránea, ya que todas las líneas de flujo se dirigen hacia el sector de explotación.

Contaminación introducida en el acuífero hará que en un determinado tiempo esta llegue a los usuarios.

Del mismo modo que hay que cuidar el abandono de pozos, pues cualquier pozo profundo mal abandonado generará un importante foco de contaminación para el agua subterránea, y esta contaminación terminará en el agua servida a los usuarios.

2.4.3 Características del Acuífero de Siguatepeque

Como ya se ha dejado ver al hablar del nivel freático del acuífero de Siguatepeque, y atendiendo a la geología del municipio, el Acuífero de Siguatepeque se encuentra en los niveles de tobas del Miembro Guique.

Estos materiales, así como los suelos desarrollados en los mismos forman una importante componente en la recarga del acuífero. El municipio fue dividido en tres sectores distintos en función del tipo de suelo. Zona I situada al norte con suelos derivados de ignimbritas, una Zona II con suelos derivados de tobas y una Zona III con suelos derivados de riolitas e ignimbritas riolíticas.

En base a estas divisiones y con los datos de los usos de los suelos se calculó la recarga del Acuífero de Siguatepeque (Tróchez 2000).



ZONA	USO DEL SUELO	ÁREA, km ²	RECARGA	
			mm	m ³ /año
I	Bosque	22.51	99.47	2 239 069.7
	Matorral	2.93	162.55	476 271.5
	Cultivo	5.85	205.31	1 201 063.5
	Sub Total	31.29	125.2	3 916 404.7
II	Bosque	39.15	17.83	700 002.0
	Matorral	8.73	25.38	221 567.4
	Cultivo	26.65	79.04	2 10 6 416.0
	Área Urbanizada Permeable	4.5	174.57	785 565.0
	Área Urbanizada Impermeable	4.5	0.0	0.0
	Sub Total	83.53	45.7	3 813 550.4
III	Bosque	17.57	99.47	1 747 687.9
	Matorral	8.89	111.35	989 901.5
	Cultivo	2.52	153.18	386 013.6
	Sub Total	28.98	107.3	3 123 603.0
Total		143.8		10 853 558.1

Imagen 2.13: Zonas del acuífero de la cuenca de Siguatepeque en función del tipo de suelo y su capacidad de infiltración, así como sus valores de infiltración potencial de los mismos según Tróchez 2000.

Se puede ver que las zonas de mayor infiltración son las zonas I y III. La Zona II adquiere valores similares a las otras dos zonas por lo que es importante pero debido a su superficie.

Si se compara que tipo de suelo da mayor recarga al acuífero en relación con su superficie es el suelo de uso agrícola, ya que en el suelo dedicado a bosque o a matorral, parte del agua infiltrada es consumida por las raíces para sustento vegetal.

Importante este dato a la hora de gestionar el uso de los suelos en el municipio, ya que como veremos, el suelo dedicado a cultivos, aunque a priori tiene ventajas en la recarga del acuífero, muestra desventajas en otros aspectos.

No sólo están estas áreas de recarga, sino que los cauces fluviales del municipio tienen una especial importancia en la dinámica del acuífero. En este estudio hemos podido comprobar cómo el Río Celan sirve de recarga para el acuífero en la zona del Parque Experimental San Juan, aunque puede ser debido a regímenes de explotación. Cuando se hable de la calidad del agua se podrá observar cómo esta recarga afecta de modo negativo al acuífero de Siguatepeque. (apartado 2.7)

Por tanto, las quebradas sirven tanto de recarga como de descarga del acuífero (Tróchez 2000), por lo que habrá que mostrar especial atención a las mismas, pues lo que se haga con estas quebradas influirá en el agua subterránea.

Tal como se ha podido comprobar en este estudio, así como lo atestiguaban los antecedentes al mismo, el acuífero de Siguatepeque es de carácter semiconfinado con una importante componente de fracturación.

Y es que, gracias a los estudios geofísicos realizados en el municipio, pudimos comprobar cómo en dos sondeos eléctricos verticales cercanos salían valores de litologías en profundidad bien distintos.

Vertical Electrical Sounding Electrostratigraphy - SEV 1 Curtiembre				
Layer n.	Depth (m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm*m)	Probable Rock Type
1	2.0	2.0	24870528.0	Roca altamente resistiva
2	16.0	14.0	1.0	Toba arcillosa
3	25.0	9.0	1.2	Toba limo-arcillosa
4	32.0	7.0	1.0	Toba arcillosa
5	40.0	8.0	1440.0	Toba compacta
6	85.0	25.0	1.2	Toba limo-arcillosa
7	80.0	15.0	1.0	Toba arcillosa
8	Infinito	45	5000.0	Roca compacta

Vertical Electrical Sounding Electrostratigraphy - SEV 2 Curtiembre				
Layer n.	Depth (m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm*m)	Probable Rock Type
1	2.0	2.0	5103.0	Toba compacta
2	5.0	3.0	5000.0	Toba compacta
3	6.5	1.5	2812.0	Toba altamente resistiva
4	8.0	1.5	2939.0	Toba altamente resistiva
5	10.0	2.0	1.0	Toba arcillosa
6	25.0	15.0	5000.0	Toba compacta
7	32.0	7.0	2812.0	Toba altamente resistiva
8	Infinito	218	2939.0	Toba altamente resistiva

Vertical Electrical Sounding Electrostratigraphy - SEV 6 Saragoza				
Layer n.	Depth (m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm*m)	Probable Rock Type
1	2.0	2.0	1.0	Toba arcillosa
2	Infinito	198	5000.0	Toba muy compacta

Vertical Electrical Sounding Electrostratigraphy - SEV 7 Fresera				
Layer n.	Depth (m)	Thickness (m)	Resistivity (Ohm*m)	Probable Rock Type
1	2.0	2.0	7511.0	Toba muy compacta
2	3.0	1.0	1.0	Toba arcillosa
3	25.0	22.0	5000.0	Toba muy compacta
4	32.0	7.0	2812.0	Toba altamente resistiva
5	40.0	8.0	2939.0	Toba altamente resistiva
6	100.0	60.0	1.0	Toba arcillosa
7	125.0	25.0	1.2	Toba limo-arcillosa
8	150.0	25.0	1.0	Toba arcillosa
9	Infinito	50	5000.0	Roca compacta

Tabla 2.2: Arriba, comparación entre dos Sondeos Eléctricos Verticales realizados en el sector de La Curtiembre. (SEV 1 y 2 en el estudio geofísico incluido en el Apéndice 3). Abajo, comparación de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados en las cercanías del Pozo Zaragoza (izquierda) y La Fresera (derecha). (SEV 6 y 7 en el estudio geofísico incluido en el Apéndice 3)

Como se muestra en la Tabla 2.2, los sondeos realizados en la zona de La Curtiembre (Arriba izquierda y derecha), no muestran una buena correspondencia en los datos. Ambos sondeos distan unos 100 metros y están realizados a ambos lados del Río Selguapa (Imagen 2.9). El SEV 1, ubicado al lado del Pozo La Curtiembre muestra unos materiales poco compactos que se pueden corresponder con los materiales del Miembro Guique en el Grupo Padre Miguel. Sin embargo, los materiales del SEV 2 muestran una mayor compactidad que se pueden corresponder con los materiales del Miembro Ocote Arrancado del Grupo Padre Miguel. Es decir, el Río Selguapa, o en las inmediaciones del mismo iría una falla que levantaría el bloque Sureste donde se encuentra el SEV 2 y nos pone a la misma altura topográfica materiales del Miembro Ocote Arrancado, que es infrayacente con respecto a los materiales del Miembro Guique.

Algo similar se puede observar en la comparación de los SEV 6 y 7, los cuales se encuentran a ambos lados del Río Celan (Imagen 2.9). La diferencia entre ambos es palpable, por lo que se puede decir que por este río en las inmediaciones del mismo existe una falla que me levanta los materiales del Sur (SEV 6) que representarían rocas del Miembro Ocote Arrancado.

Por tanto, la geofísica nos muestra que las fracturas en el terreno, juegan un papel importante en el acuífero. La recarga o descarga del mismo en las quebradas, tal como mostraba Tróchez 2000, adquieren explicación con estos resultados de la geofísica, así como otros aspectos que se verán más adelante.

Los resultados obtenidos en los aforos nos han permitido ver que el acuífero de Siguatpeque, por sus condiciones naturales, es un mal acuífero. Los valores de transmisividad del mismo nunca llegaron a los 100 m²/día y en ocasiones bajaron de 10 m²/día, por lo que la clasificación de mal acuífero se ajusta bien a los valores obtenidos en los aforos.

El espesor total del acuífero no se ha podido conocer ni en este estudio, ni tampoco en los que sirvieron de antecedentes, por lo que no se ha podido calcular la permeabilidad del mismo.

En el aforo del Pozo La Curtiembre se dispuso de un piezómetro situado a 11 metros del punto de bombeo, el cual nos permitió calcular el coeficiente de almacenamiento del acuífero en la zona, el cual adquirió un valor de $4,33 \times 10^{-3}$. Este valor tan bajo nos indica que estamos ante un acuífero confinado o semiconfinado, al menos en la zona del Pozo La Curtiembre.

Estos valores tan malos en los parámetros característicos de los acuíferos son los responsables de que los pozos municipales tengan caudales máximos de explotación tan bajos, aun cuando se cuenten con grandes profundidades de perforación. Así, para un pozo como La Fresera, el cual es el mejor pozo municipal, se tenga una profundidad de 150 metros y el caudal máximo de extracción sea en torno a los 16,4 litros/seg. (260 Gal/min.).

La Tabla 2.3 muestra la relación entre profundidad, transmisividad y caudal máximo de extracción para los pozos aforados.

	Transmisividad (m ² /día)	Profundidad (metros)	Caudal máximo (l/s)
Pozo ESNACIFOR	8,092	135,9	8,2
Pozo La Fresera	67,39	150	16,4
Pozo Alcaravanes III	24,935	140	8,2
Pozo San Antonio	4,32	107	4,1
Pozo Las Flores	3	127	5,55
Pozo San Miguel IV	9,07	137	4
Pozo Altos de Fátima	78,25	150	No calculado
Pozo La Curtiembre	50	158,5	16
Pozo Zaragoza	17	143	11
Pozo San Francisco	15,89	61	4,22

Tabla 2.3: Relación existente entre la Transmisividad, profundidad de pozo y caudales máximos extraíbles para los mismos en los distintos pozos aforados en el municipio de Siguatepeque.

La anterior tabla muestra lo que se viene diciendo. Observando el Pozo San Antonio, vemos que para un pozo de 107 metros de profundidad, con la bomba situada a 91,5 metros de profundidad, el caudal máximo de extracción es de 4,1 litros por segundo, aún cuando el diámetro de ademe del pozo es de 8 pulgadas.

Esta misma relación se muestra en el resto de pozos, donde existen grandes profundidades, con bombas situadas también a buena profundidad (La Fresera: 82,3 m., Alcaravanes III: 76 m., Las Flores: 72,6 m., San Miguel IV: 91,5 m., La Curtiembre: 73,15 m., Zaragoza: 103 m., San Francisco: 48 m.) indicándonos por lo tanto que el acuífero de Siguatepeque es un acuífero malo, tal como habíamos mostrado con anterioridad.

Es algo perfectamente normal dadas las características geológicas de la zona. El acuífero de Siguatepeque está emplazado en los materiales del Miembro Guique del Grupo Padre Miguel, donde las areniscas del mismo, así como los niveles de piroclastos dan lugar a porosidad intergranular no muy elevada por donde circula el agua. En ocasiones la fracturación afectará en mayor o menor medida a la roca que conforma el acuífero dándole una segunda porosidad superpuesta que hará que la circulación del agua sea mejor, dando lugar a la gran heterogeneidad que se muestra por tanto en los valores obtenidos en los aforos; sobre todo si se atiende a los caudales máximos de extracción entre los pozos.

2.4.4 Conclusiones para el Acuífero de Siguatepeque

El Acuífero de Siguatepeque es de carácter semiconfinado, tal como muestran los resultados de coeficiente de almacenamiento calculados en el Pozo La Curtiembre, y otros antecedentes a este estudio. Presenta una importante componente fracturada tal como se pudo ver con la geofísica, aunque no es la única porosidad que tiene; al estar enmarcado dentro del Miembro Guique la porosidad natural existente en los miembros de arenisca y piroclastos le dan una componente granular a la porosidad del acuífero.

Estas características de porosidad le dan una gran heterogeneidad en cuestión de los caudales máximos de explotación de los pozos o en los valores de transmisividad.

La dinámica del agua hace que el drenaje sea hacia el Río Selguapa tal como se muestra en éste y otros estudios, dinámica que es en parte modificada por los procesos de explotación de los pozos municipales.

Todos estos datos hacen complicada la perforación de pozos en el municipio, siendo necesario un estudio exhaustivo si no se quiere fallar en la perforación. En principio, habrá que buscar lugares en los que afloren materiales del Miembro Guique, ya que pozos perforados en otros materiales han resultado salir sin producción, tal como ocurrió con el primer pozo de Las Flores (Murillo Álvarez 2009) o en otras experiencias que pudimos observar en nuestra estancia en el municipio. Además, habrá que buscar que haya una importante fracturación en la zona, la cual puede estar asociada al curso de quebradas, y ubicar pozos en las cercanías de las fracturas, a ser posible, cerca de la zona de descarga del acuífero. Será necesario además hacer un estudio minucioso del nivel piezométrico en la zona, que nos de información de cómo puede estar el acuífero en profundidad.

Los datos de la dinámica del agua subterránea deberán servir para gestionar los usos del suelo, y prestar especial atención a la ubicación de industrias que puedan dañar el agua subterránea. Cabe mencionar que la contaminación de acuíferos es, por norma general, muy complicada de eliminar, una vez éste está contaminado, debido principalmente a la lenta velocidad de flujo que tiene el agua subterránea.

Pero no sólo ello, sino que la relación que existe entre los cursos de agua superficial y el agua subterránea, hace que sea necesaria la vigilancia de la calidad de esta agua, pues puede dar lugar a que los contaminantes del agua superficial terminen infiltrándose en el acuífero y repercutiendo en la calidad de agua servida a los usuarios. En el apartado dedicado a la calidad de agua se hará especial mención a esto último dicho. (apartado 2.7)

2.4.5 Situación de los equipos de bombeo y accesos a los pozos

Conjuntamente con la realización de los aforos se aprovechó para evaluar la situación de los equipos de bombeo, y cómo estos habían sido entregados a Aguas de Siguatepeque.

Pudimos comprobar como en la mayoría de los casos, alguna parte de los instrumentales estaba parcialmente dañado, o completamente dañado. Tal fue el caso

del instrumental de bombeo del pozo La Fresera, del cual salió la bomba completamente dañada, con los impulsores desprendidos.

No sólo fue este caso. En la mayoría de las ocasiones se necesitaron realizar trabajos de acondicionamiento en el cableado de conexión eléctrica y en los cables de los controles de nivel, los cuales mostraban, en parte, derivaciones de electricidad, lo que hacía peligrar el funcionamiento de los equipos de bombeo.



Imagen 2.14: Muestras de distintos equipos de bombeo en pozos del acueducto de Aguas Siguatepeque. A la izquierda se muestra la bomba y motor del Pozo Alcaravanes III, en el centro la bomba del Pozo La Curtiembre y a la derecha la bomba y el motor del Pozo San Francisco.

Los aforos que realizamos no sólo sirvieron para lo que ya se ha mencionado. En ocasiones, pudimos comprobar como la colocación de los equipos de bombeo no eran los idóneos en los pozos, sino que podían ser levantados varios metros. Este levantamiento influye en la potencia del motor a instalar, por lo que también influirá en el consumo eléctrico de los pozos.

La colocación de la bomba debe realizarse en base a criterios de perforación del pozo, teniendo en consideración donde se colocan las rejillas del pozo, para hacer que la bomba no esté ubicada a la altura de éstas. Pero también se coloca en función del caudal que se quiere extraer, y hacia donde se quiere enviar. Con estos parámetros se calcula la potencia de los motores por medio de la expresión:

$$P = (Q \cdot CDT) / (0,7 \cdot \% \text{ de rendimiento})$$

Donde P es la potencia, Q es el caudal que se quiere extraer del pozo en litros por segundo, CDT es la carga dinámica total que debe salvar el agua (diferencia de cota entre la bomba y el lugar de impulsión del agua), 0,7 es una constante, y % de rendimiento es el rendimiento máximo que se quiere dar al motor, que se suele situar entre el 70 y 75 %. Estos rendimientos vienen estipulados en tablas facilitadas por los fabricantes de motores eléctricos sumergibles.

El valor de P habrá que sumarle un 10 % del mismo para sacar la potencia nominal de la bomba, y a continuación en base a ese valor se saca la potencia comercial, adquiriéndose siempre la potencia comercial inmediatamente superior al valor de la potencia nominal.

Con estos cálculos pudimos observar que el Pozo San Antonio estaba equipado con un motor de 40 H.P. cuando en realidad sólo necesitaba, y utilizaba 15 H.P., por lo que

se decidió cambiar el motor del mismo, con el consiguiente ahorro de energía y el ahorro de dinero en la factura eléctrica.

Algo que generó determinados problemas para realizar los aforos fue la condición en la que estaban los accesos a los pozos, los cuales en determinadas ocasiones, impidieron el acceso del camión grúa al pozo y fue necesaria la ayuda de otro camión que hiciese de soporte.

En el pozo de La Fresera pudimos observar que, al encontrarse en una carretera importante dentro del municipio, pero que no está pavimentada, cuando se procedía a arreglar con una motoniveladora, ésta dejaba un escalón de acceso al pozo que hacía complicado el acceso del camión grúa al mismo.

En otras ocasiones observamos que el camino era completamente de tierra, y cuando llovía se formaba una enorme cantidad de barro que impedía o dificultaba en exceso la entrada de un camión de tracción sencilla, tal como ocurrió durante el aforo del Pozo ESNACIFOR.

Finalmente, el peor acceso que hubo fue al Pozo San Francisco. En este caso, hay una fuerte pendiente en el camino que da acceso al pozo, y con pequeñas lluvias hace imposible el acceso de vehículos al pozo. Para acceder al mismo hubo que recurrir a una segunda grúa que ayudase a la primera a acceder al pozo.



Imagen 2.15: Arriba izquierda, acceso al Pozo La Fresera durante la realización de los estudios. Se puede observar que hay una pequeña rampa de tierra que se improvisó el mismo día en el que llegó el camión. Arriba derecha, acceso al pozo San Francisco. Se puede ver que la grúa que se iba a usar para extraer el equipo de bombeo es remolcada por un cable debido a que estaba atascada en el barro que hay en la rampa. Al fondo de la imagen se puede ver el pozo aforado. Abajo se puede ver la segunda grúa que se utilizó para remolcar el camión que extrajo la bomba.

Es por tanto absolutamente necesario acondicionar los accesos a los pozos para que los distintos vehículos que en algún momento tengan que hacer alguna labor puedan llegar sin problemas al predio del pozo.

Finalmente, un problema que se encontró a la hora de realizar los aforos fue la inexistencia en ocasiones de canales de desagüe o la mala ubicación de los mismos. Tal

fue el caso del Pozo Alcaravanes III, que disponía de un canal de desagüe en el lado opuesto del predio del pozo, y cuando se salía de este predio, no existía cuneta ni ninguna estructura hábil para evacuar el agua. Hubo por tanto que ingeniarse una conducción para llevar el agua al lado opuesto de la calle y que circulase por la cuneta que sí existía en este lado.

Algo parecido nos encontramos en el Pozo La Curtiembre, en el cual la cuneta de desagüe estaba al otro lado del predio, pero en este caso con la caseta de control por el medio. Aún así, fue fácil excavar un canal para llevar el agua del aforo hasta el canal existente.

Un caso particular lo encontramos en el Pozo San Antonio, el cual está ubicado dentro de un estadio de fútbol. Por fuera del estadio existe un canal de desagüe que tiene unas dimensiones muy buenas. Para evacuar el agua hasta el mismo consideramos oportuno perforar el muro del estadio y sacar el agua hasta el canal.



Imagen 2.16: Arriba se puede observar el desagüe que hubo que “fabricar” para evacuar el agua en el Pozo Alcaravanes III. Como puede verse a la derecha, hubo algunos inconvenientes a la hora de hacer que el agua se encauzase por donde debía. Abajo a la izquierda se puede ver el canal que hubo que excavar en el Pozo La Curtiembre. La parte del canal que va frente al Voluntario Benigno Mariño es el que hubo que excavar para unirlo al canal que ya existía, que se encuentra a la izquierda de Benigno. Abajo a la derecha se observa la perforación que hubo que hacer en el muro del estadio de fútbol que se sitúa en el Barrio San Antonio para poder evacuar el agua durante el aforo del Pozo San Antonio. Como puede verse, varios niños del lugar aprovecharon la ocasión para disfrutar del agua que salía.

Estos canales de desagüe ya han quedado acondicionados en los pozos aforados, por tanto, cuando sea necesario otro aforo, u otra limpieza en estos pozos ya habrá modo de evacuar el agua.

2.5 ESTUDIO DE LAS MICROCUENCAS UTILIZADAS COMO ABASTECIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL

2.5.1 Introducción

Los trabajos técnicos realizados en Siguatepeque no debían atender únicamente a las aguas subterráneas. Trabajos necesarios a realizar para quitar presión al acuífero de Siguatepeque son la evaluación de las fuentes de agua superficial del municipio, y se empezaron evaluando las tomas de agua que tiene por el momento Aguas de Siguatepeque.

Estas tomas son heredadas del acueducto que transfirió el SANAA y se encuentran en tres microcuencas distintas: Microcuenca de Chamalucua con la Toma de Chamalucua, Microcuenca de Guaratoro con la Toma de Guaratoro, ambas en la Sierra de Calanterique y Microcuenca de Calan con la Toma de La Porra y la Toma de El Tablón en la Sierra de Montecillos. La ubicación de las mismas se puede ver en la imagen 2.26.



Imagen 2.17: Muestra de las cuatro tomas de agua superficial con las que cuenta el acueducto de Siguatepeque. Arriba a la izquierda la Presa de La Porra, arriba a la derecha la Presa de El Tablón, abajo a la izquierda la Presa de Guaratoro y abajo a la derecha la Presa de Chamalucua.

2.5.2 Microcuenca de Chamalucuará

La microcuenca de Chamalucuará se encuentra en unas condiciones un tanto malas. Esto ha sido detectado en estudios anteriores (Rodríguez, A. 2007) donde se comenta que la quebrada, debido a varios factores se seca en verano, dando caudales de 12,62 litros por segundo en invierno. En este estudio además se ponen de manifiesto las principales afecciones que tiene la microcuenca, como son las actividades agrícolas, la población, y las actividades animales, afecciones que hemos podido demostrar en este estudio.

Las características de la Presa de Chamalucuará son las siguientes (Rodríguez, A. 2007):

- **Tipo de captación:** Presa con vertedero y caja.
- **Año de construcción:** 1988.
- **Capacidad de la captación:** 8.00 m³.
- **Materiales de construcción:** Mampostería.
- **Dimensiones: Largo:** 6.60 mts. **Alto:** 1.00 mt.
- **Estado Físico:** Bueno
- **Obras de protección:** Ninguna, libre acceso.
- **Tuberías y accesorios de salida y limpieza:** de salida HG de 6" Ø con válvula de control aterrada, de limpieza 2 niples con tapón de copa HG de 6".
- **Referencias geográficas:** N 14° 37.511' W 87° 48.958'
- **Elevación:** 1202 msnm.
- **Problemas identificados:** No cuenta con desarenador.

A la toma llegan dos quebradas distintas, y aunque está en buenas condiciones, presenta frecuentes episodios de colmatación debido a los sedimentos que arrastran las lluvias. Este problema se hace más grave debido a la deforestación fuerte que presenta esta microcuenca, lo que hace que el lavado del suelo por escorrentía superficial sea mayor, y por tanto, a cada lluvia importante, llega también una importante cantidad de sedimentos a la presa. Es por tanto necesaria una constante vigilancia para el dragado de la misma, sobre todo después de importantes periodos de lluvia. Ya que el dejarla sin dragar puede hacer que se atasque la toma de agua.

Por tanto, un problema grave de la misma es la fuerte deforestación que tiene; para lo cual ya se han empezado a tomar medidas formando un convenio entre varios actores para la vigilancia y reforestación de la microcuenca.

También se midió la calidad de agua de esta microcuenca midiendo parámetros bacteriológicos. Se pudo observar una fuerte presencia de contaminación por coliformes totales y también por fecales, detectándose muestras de *Escherichia coli*, lo que indica que hay presencia de mala letrización en la zona. También se pudo observar que existen numerosas pistas por donde circulan caballerizas de leñadores, y estas pistas cruzan las quebradas cerca de las tomas de agua, detectándose zonas con fuerte concentración de excrementos de animales, lo que justifica también la presencia de contaminación fecal.

No hay que dejar pasar por alto que la toma de agua está completamente desprotegida, por lo que es un lugar donde el ganado suelto que hay en la zona puede ir a tomar agua, tal como pudimos comprobar, aportando también contaminantes al agua.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	93 UFC/ 1ml	9 UFC/1 ml	2 UFC/1ml	2 UFC/1ml	24 hrs.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	104 UFC/ 1ml	11 UFC/1 ml	1 UFC/1ml	1 UFC/1ml	24 hrs.

Tabla 2.4: Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en dos puntos de la Microcuenca de Chamalucuará. Arriba se muestra un análisis realizado en las cercanías de una plantación de maíz, abajo se muestra un análisis realizado en la presa.

Las condiciones de la cerrada son buenas, salvo por los problemas de colmatación que tiene; pero no existe la posibilidad de aumentar la capacidad de la misma, ya que requeriría de una obra bastante grande al no existir puntos del terreno donde situar los anclajes de la cerrada.



Imagen 2.18: Muestra de la deforestación que hay en la microcuenca. Esta deforestación en ocasiones es aprovechada para el desarrollo de cultivos como el que se muestra en esta imagen.

La situación de esta microcuenca es tan grave con respecto a la deforestación que ya se han tomado fuertes medidas para vigilar esta actividad. Para ello, se organizó una reunión entre varias instituciones que operan en el municipio, donde Geólogos del Mundo acudió como oyente. De esta reunión se ha firmado un convenio entre la

Municipalidad de Siguatepeque, la Secretaría de Estado en el Despacho de Defensa Nacional y ESNACIFOR para proteger la microcuenca. A cada uno de los actores le corresponden estas actividades:

- La Municipalidad de Siguatepeque será responsable de: 1) Liderar el proceso de manejo de la microcuenca Chamalucua. 2) Fortalecer la asociación de propietarios privados de bosque, 3) firmar convenios con los propietarios de terrenos dentro de la micro cuenca para el establecimiento del campamento militar y las actividades de protección 4) Iniciar el proceso de declaratoria de la micro cuenca 5) Asignar el 2% del presupuesto municipal del año 2010 para actividades de manejo ambiental municipal, 6) Instalación de la infraestructura del campamento militar y apoyo logístico para el personal del campamento.

- El Ministerio de Defensa, a través del Primer Batallón de Ingeniería de Combate, será responsable del empleo de 5 miembros de su unidad, los cuales se encargarán de proteger, reportar y presentar evidencias en contra de los infractores del ambiente, dentro del límite de la microcuenca Quebrada Chamalucua. El Ministerio de Defensa se reserva el derecho de retirar el personal en caso de crisis o emergencia Nacional.

- La ESNACIFOR: 1) Apoyará técnicamente a la Municipalidad en el proceso de declaratoria de la Microcuenca. 2) Desarrollará actividades modulares orientadas al manejo de la microcuenca. 3) Acompañará a la municipalidad en el proceso de elaboración de perfiles de proyectos para la gestión de fondos para el manejo de Chamalucua.

Extraído del Convenio Para la Administración y Manejo de la Microcuenca de Chamalucua

En un principio se había propuesto incluir a la Distrital de Educación de Siguatepeque pero se observó que las actividades que se les había adjudicado ya estaban siendo ejecutadas por esta institución, como eran generar planes de reforestación o educación ambiental. Por tanto, como la Distrital de Educación ya incluía estas actividades en su programa de estudio no se consideró necesario incluirlas en el convenio, quedando este sólo firmado entre las instituciones mencionadas arriba.

Con este convenio se pretende poner fin a las actividades de deforestación que tanto han afectado a esta microcuenca. Y es que, como se ha mostrado, la deforestación afecta a todos los aspectos de la Microcuenca de Chamalucua; desde su conservación de suelos, evitando la erosión por escorrentía superficial, detectada en este estudio, hasta la presencia de agua superficial, evitando la evaporación y favoreciendo la retención de agua en la microcuenca.

2.5.3 Microcuenca de Guaratoro

Esta microcuenca presenta problemas bien distintos a los detectados en Chamalucua. En la anterior el principal problema era la deforestación; en ésta, aunque se ha detectado deforestación, no es verdaderamente importante.

El grave problema detectado aquí son las plantaciones agrícolas que aportan contaminantes al agua.

Nuevamente, en estudios anteriores, se pone de manifiesto que las principales afecciones que tiene la microcuenca son las actividades poblacionales, los cultivos y la actividad de animales. Aunque en este estudio no hemos detectado actividad animal que perjudicase la calidad del agua.

La producción de la misma en invierno es de 17,08 litros por segundo, no existiendo registro en verano.

Las características de la toma son las siguientes: (Rodríguez, A. 2007)

- **Tipo de captación:** Presa con caja sumergida.
- **Capacidad de la captación:** 240.00 m³ aproximadamente.
- **Materiales de construcción:** Mampostería.
- **Dimensiones:** Largo: 17.00 mts. Alto: 1.30 mt.
- **Estado Físico:** Bueno.
- **Construida en:** 1946.
- **Obras de protección:** Ninguna.
- **Tuberías y accesorios de salida y limpieza:** De salida Asbesto-Cemento de 6" Ø, Sin válvula de control de limpieza HG de 6" con válvula aterrada.
- **Referencias geográficas:** N 14° 36.197' W 87° 48.206'
- **Elevación:** 1226 msnm.
- **Problemas identificados:** Expuesta a cualquier tipo de daño y/o contaminación, accesorios de operación perdidos, área de almacenamiento llena de algas y musgos.

Se realizaron numerosos análisis bacteriológicos y fisicoquímicos al agua para detectar su calidad y se detectó en todos los puntos medidos una importante contaminación bacteriológica. La no existencia de excrementos por caballerizas, como ocurría con Chamalucura, hace pensar que los focos de contaminación se deban a procesos de malas letrinizaciones en los distintos asentamientos humanos que hay en la microcuenca.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	153 UFC/ 1ml	10 UFC/1 ml	5 UFC/1ml	5 UFC/1ml	24 hrs.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	125 UFC/ 1ml	16 UFC/1 ml	3 UFC/1ml	3 UFC/1ml	24 hrs.

Tabla 2.5: Análisis bacteriológicos realizados en la Microcuenca de Guaratoro. Arriba se puede ver el análisis realizado en el agua de la presa. Abajo se puede ver el análisis realizado en el agua de una de las quebradas de la microcuenca.

Pero la peor contaminación observada es la fisicoquímica. Se observaron fuertes variaciones en la concentración de hierro y nitratos en todos los análisis realizados. Para el hierro no se ha encontrado una explicación posible, pudiendo deberse a vertidos humanos en la microcuenca no localizados o procesos naturales. Sería necesario realizar un estudio a fondo con respecto al hierro para detectar su foco, ya que en ocasiones presenta concentraciones cuatro veces superiores a las máximas permitidas por la Norma de Calidad de Agua de Honduras.

El caso del nitrato es ligeramente diferente, ya que este variaba en función de que estuviésemos cerca o lejos de alguna plantación. Por lo que es perfectamente posible que la contaminación por nitratos se deba a la presencia de plantaciones de maíz y plátano en la zona donde usen agroquímicos con contenido en nitrato.

De hecho, durante los análisis realizados, la concentración de nitrato se disparó cuando se hacía cerca de una plantación.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.			
ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
pH	6.5-8.5		7.4
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	145.5 ppm
Nitritos	0	1.0	0.05 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.87 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	2 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	200 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	24 °C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.08 ppm

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.			
ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
pH	6.5-8.5		7.3
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	57.5 ppm
Nitritos	0	1.0	0.00 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	1.18 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	0 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	190 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	21 °C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.00 ppm

Tabla 2.6: Análisis de agua físico-químicos realizados en las proximidades de una plantación (izquierda) y en un punto de la quebrada sin plantación cerca (derecha). Los valores de los nitratos siempre salieron próximos a 50 ppm salvo en el análisis mostrado a la izquierda. Ello nos permite concluir cual es el foco de contaminación.

Se puede ver, por tanto, la relación existente entre las plantaciones y la concentración de nitratos en el agua. No encontrándose relación para la concentración de hierro en el agua.

Es preocupante la calidad fisicoquímica del agua. Pero se cuenta con la ventaja de que el agua que viene de la Microcuenca de Guaratoro pasa por la Planta de Tratamiento de Guaratoro. Por ello, se realizó un análisis fisicoquímico a la entrada de la planta de tratamiento, y a la salida de la misma para comparar la calidad de agua entrante con la calidad de agua saliente, obteniéndose estos resultados.

ANÁLISIS QUÍMICO				
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible	Resultado
Aluminio	mg/L	-	0.2	0.068
Fluoruro	mg/L	-	0.7	0.136
Fosfatos	mg/L	-	-	0.83
Hierro	mg/L	-	0.3	0.76
Nitratos NO3	mg/L	25	50	12.6
Nitritos NO2	mg/L	-	0.1	0.031
Amonio	mg/L	0.05	0.5	0.02
Manganeso	mg/L	0.01	0.5	0.2
Sulfatos	mg/L	25	250	2
Sulfuro	mg/L	-	0.05	0.12

ANÁLISIS QUÍMICO				
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible	Resultado
Aluminio	mg/L	-	0.2	0.188
Fluoruro	mg/L	-	0.7	0.06
Fosfatos	mg/L	-	-	0.06
Hierro	mg/L	-	0.3	0.00
Nitratos NO3	mg/L	25	50	5.1
Nitritos NO2	mg/L	-	0.1	0.010
Amonio	mg/L	0.05	0.5	0.01
Manganeso	mg/L	0.01	0.5	0.0
Sulfatos	mg/L	25	250	8
Sulfuro	mg/L	-	0.05	0.01

Tabla 2.7: Comparativa entre el agua entrante a la planta de Guaratoro (izquierda) y el agua saliente de la misma (derecha).

Puede verse como la concentración de hierro que entra a la planta de tratamiento es de 0,76 ppm., superior a la concentración que teníamos en la toma, que estaba en torno a los 0,5 ppm. Esto puede deberse a la adquisición de hierro en las tuberías de conducción de agua desde la presa hasta la planta. Aún así, los valores de hierro y de nitratos que eran preocupantes en la microcuenca, se vuelven en valores permitidos por la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras, una vez pasada la planta de tratamiento.

Por otro lado, el estado de la presa es bueno, no detectándose problemas de colmatación, lo que dice que la deforestación no es tan grave como en el caso de Chamalucuará. Además de ello, el emplazamiento de la cerrada es bueno como para aumentarla en altura en torno a dos metros más en caso de que se considere necesario.



Imagen 2.19: Margen derecho de la presa de Guaratoro. Puede observarse cómo esta misma puede ser levantada unos dos metros más ya que hay roca donde situar los anclajes.

2.5.4 Microcuenca de Calan. Sector La Porra

Como se había mencionado anteriormente, la Microcuenca de Calan cuenta con dos obras de captación distintas. En este apartado se mostrarán los resultados para la toma de La Porra.

Los antecedentes para esta toma son similares a los anteriores mostrados para Chamalucuará y para Guaratoro, que existe afeción por cultivos, actividad humana y también actividad de animales. Lo observado en este estudio es que existe una fuerte

presencia de cultivos, como son de café, plátano y maíz y además presencia de una pequeña piscifactoría.



Imagen 2.20: A la izquierda se puede ver un asentamiento humano el cual contaba con un pequeño cultivo de café. Además, se pudo observar cómo este asentamiento contaba también con una pequeña piscifactoría.

Las características de la toma de La Porra son las siguientes: (Rodríguez, A. 2007)

- **Tipo de captación:** Presa con caja sumergida.
- **Capacidad de la captación:** 850.00 m³ aproximadamente.
- **Materiales de construcción:** Concreto Reforzado.
- **Dimensiones:** Largo: 20.00 mts. Alto: 3.50 mt.
- **Estado Físico:** Bueno.
- **Construida en:** 2001.
- **Obras de protección:** Ninguna.
- **Tuberías y accesorios de salida y limpieza:** De salida HFD de 10" Ø, Con válvula de control. De limpieza HG de 8" Con válvula de control.
- **Referencias geográficas:** N 14° 31.615' W 87° 52.588'
- **Elevación:** 1441 msnm.
- **Problemas identificados:** No tiene desarenador, existe fuerte arrastre de sedimentos que están ocasionando problemas para poner en marcha la Planta Potabilizadora Jaime Rosenthal Oliva recién inaugurada.

A diferencia de los casos anteriores, en esta presa sí que se detectaron importantes desperfectos, aunque el diagnóstico de 2007 no los menciona. Y es que, la presa cuenta con dos contrafuertes de sustentación y el situado en el margen izquierdo de la toma

está completamente descalzado, lo que hace peligrar la estabilidad de la misma. Existen otros descalces menores en la presa, así como una fisura en un estribo que hace que pierda agua.

Aún así, la presa puede aumentar en tamaño, una vez solventados estos problemas, pues cuenta con roca sobre la que sustentan los estribos de la presa.



Imagen 2.21: Imagen de la presa de La Porra (izquierda) con detalle del contrafuerte del margen izquierdo de la presa (derecha). Se puede ver como este contrafuerte está completamente descalzado.

Las observaciones de campo nos han mostrado que existe una fuerte actividad agrícola en la zona, tal como se pudo ver en la imagen 2.20. Esta actividad hace que la calidad del agua se vea resentida con respecto a parámetros fisicoquímicos.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
pH	6.5-8.5		7.1
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₄ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitritos	25 ppm	50 ppm	52.6 ppm
Nitritos	0	1.0	0.04 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.21 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	1 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	120 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	25°C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.01 ppm

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
pH	6.5-8.5		8.2
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₄ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitritos	25 ppm	50 ppm	154.6 ppm
Nitritos	0	1.0	0.012 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.19 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	0 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	90 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	22°C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.001 ppm

Tabla 2.8: Muestra de la calidad fisicoquímica del agua del Sector de La Porra en la Microcuenca de Calan. A la izquierda se muestra el análisis realizado en la quebrada aguas arriba de la toma, a la derecha se muestra el análisis realizado en la presa.

Como se puede observar, hay una importante presencia de nitratos, sobre todo en la toma de agua, donde la concentración es más de tres veces superior al máximo permitido. Ello puede ser indicativo de la enorme presencia de cultivos que hay en la zona, los cuales si usan agroquímicos pueden aportar este tipo de contaminantes. Por tanto, el problema fisicoquímico es el mismo que se había detectado en la Microcuenca de Guaratoro.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS Escherichia coli	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	17 UFC/1ml	6 UFC/1ml	0 UFC/1ml	0 UFC/1ml	24 hrs.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS Escherichia coli	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	29 UFC/1ml	16 UFC/1ml	0 UFC/1ml	0 UFC/1ml	24 hrs.

Tabla 2.9: Análisis bacteriológico realizado en el Sector de La Porra de la Microcuenca de Calan.

Los análisis bacteriológicos realizados muestran algo verdaderamente bueno, y es que no se detectó contaminación fecal de ningún tipo, encontrándose sólo colonias mesófilas y coliformes totales, los cuales pueden tener perfecta explicación por origen natural. Por tanto indica que las actividades poblacionales realizadas en esta microcuenca cumplen con la calidad exigida, y que la piscifactoría que se encontró aguas arriba no influye en la calidad bacteriológica del agua.

Es decir, el problema principal del Sector de La Porra en esta microcuenca está en la fuerte contaminación fisicoquímica y además en la estabilidad de la presa de captación, la cual cuenta con graves desperfectos que afectan principalmente a su estabilidad.

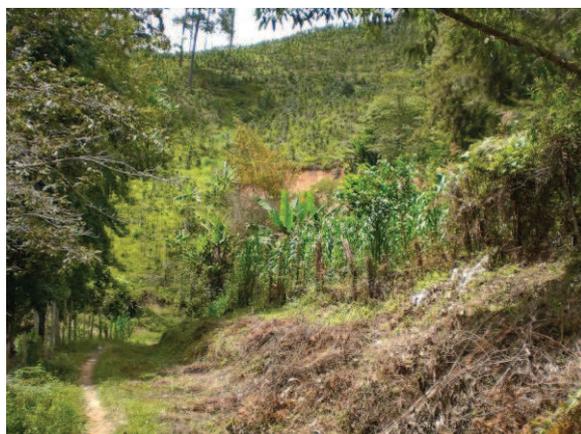


Imagen 2.22: Muestra de una de las plantaciones de maíz que hay en el Sector de La Porra.

2.5.5 Microcuenca de Calan. Sector El Tablón

Esta toma se encuentra en la Quebrada llamada El Achioté, aguas abajo del mismo. El caudal que aporta esta fuente es superior a 60 litros por segundo en invierno; en verano no se tiene registro del mismo. Los focos de contaminación detectados en Rodríguez, A. 2007 son los mencionados en las otras microcuencas: cultivos, actividad poblacional y animales.

Las características de la toma son las siguientes: (Rodríguez, A. 2007)

- **Tipo de captación:** Presa con caja sumergida.
- **Capacidad de la captación:** 650.00 m³ aproximadamente.
- **Materiales de construcción:** Concreto Reforzado.
- **Dimensiones:** Largo: 16.00 mts. Alto: 5.00 mt.
- **Estado Físico:** Bueno, presenta una fuga en uno de sus extremos por lo que no rebosa por el vertedero.
- **Construida en:** 2002-2003.
- **Obras de protección:** Ninguna.
- **Tuberías y accesorios de salida y limpieza:** De salida HFD de 12" Ø, Con válvula de control. De limpieza PVC de 12" Con válvula de control.
- **Referencias geográficas:** N 14° 30.924' W 87° 52.055'
- **Elevación:** 1503 msnm.
- **Problemas identificados:** Similares a la obra de toma La Porra.

Al igual que la Presa de La Porra, esta tiene también problemas de estabilidad ya detectados en los antecedentes. Se puede ver cómo esta presa también tiene estribos descalzados, lo que hace peligrar su estabilidad.



Imagen 2.23: Muestra de la presa de El Tablón a la izquierda. Se puede ver una fotografía a la derecha donde se muestra el estribo descalzado de la presa. Existe una pequeña fuga de agua por la zona ya detectada en los antecedentes.

Además de estas afecciones estructurales, existe una problemática grave con la colmatación de la cerrada. Ya en la imagen 2.23 de la izquierda puede verse en la esquina superior derecha cómo los sedimentos sobresalen de la presa, probablemente durante crecidas que se depositaron en la zona. Pero una muestra del espejo de agua muestra que en gran parte del mismo se observa la gran colmatación que sufre esta cerrada.



Imagen 2.24: Muestra detallada de la colmatación que tiene esta cerrada. Se puede ver cómo una buena parte del espejo de agua se encuentra colmatada de sedimentos.

Nuevamente aparecen problemas con cultivos. En esta ocasión nos encontramos con la microcuenca que más cultivos tiene, empleándose grandes áreas de ésta para tal fin, y nuevamente se ve reflejado en la concentración de nitratos en el agua.

Al igual que en casos anteriores nos encontramos con valores altos de nitratos en el agua, en esta ocasión ligeramente superiores a los máximos recomendados en la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
Ph	6.5-8.5		7.8
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	52.4 ppm
Nitritos	0	1.0	0.002 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.11 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	0 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	90 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	23°C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.1 ppm

RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS-FISICOS.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
Ph	6.5-8.5		7.7
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	54.1 ppm
Nitritos	0	1.0	0.000 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.01 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	0 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	140 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	25°C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.00 ppm

Tabla 2.10: Análisis fisicoquímicos realizados en la quebrada de El Achote (izquierda) y en la presa de El Tablón (derecha).

Al igual que en el sector anterior, la calidad de agua con respecto a parámetros bacteriológicos es buena, detectándose únicamente coliformes totales y colonias mesófilas, lo que indica que no existen procesos de mala letrinización o vertidos de excrementos a la quebrada.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS Escherichia coli	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	16 UFC/1ml	6 UFC/1ml	0 UFC/1ml	0 UFC/1ml	24 hrs.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS Escherichia coli	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	20 UFC/1ml	10 UFC/1ml	0 UFC/1ml	0 UFC/1ml	24 hrs.

Tabla 2.11: Análisis bacteriológicos realizados en el Sector de El Tablón. Arriba análisis realizado en la Quebrada de El Achote. Abajo análisis realizado en la Presa de El Tablón.



Imagen 2.25: Muestra de las grandes superficies empleadas para cultivos en el Sector de El Tablón en la Microcuenca de Calan.

2.5.6 Conclusiones para las tomas de agua utilizadas por Aguas de Siguatepeque

Una carencia general de todas las tomas de agua existentes, salvo la de Guaratoro, es la inexistencia de desarenadores de agua en las mismas, lo que hace que no exista un primer filtrado. Por lo que es absolutamente necesaria la construcción de estos para así mejorar la calidad de agua. Y máxime cuando en tormentas la turbiedad del agua aumenta a tal punto que las plantas de tratamiento no pueden tratar el agua, o los procesos de cloración se hacen ineficaces.

Como se ha venido mostrando la gran afección que sufren las microcuencas de Siguatepeque son los procesos de deforestación, hasta tal punto que se hayan tenido que tomar medidas drásticas en la Microcuenca de Chamalucuará. Medidas similares deberían tomarse en el resto de microcuencas, pues una consecuencia de detener a los leñadores en Chamalucuará, con vigilancia del ejército, es que estos se desplacen a otras microcuencas. Por ello se considera necesaria la implementación de planes de vigilancia de las otras microcuencas para garantizar la conservación de las mismas.

Se ha detallado que otra afección que se observó en las microcuencas se debe a la calidad fisicoquímica del agua en todos los casos, y a la calidad bacteriológica en la Microcuenca de Chamalucuará y la Microcuenca de Guaratoro. Es por tanto necesario tomar medidas rápidas, ya que afecta en gran medida a la calidad de agua consumida; aunque se ha podido demostrar que la planta de Guaratoro trata los contaminantes fisicoquímicos y los elimina en el proceso de potabilización, esta comprobación no se ha podido realizar en la Planta Jaime Rosenthal Oliva que trata el agua de Calan, ya que cuando se hicieron los análisis, la planta no estaba funcionando debido a problemas eléctricos en la zona.

Se debe de trabajar con la población en cuestión de promoción social para enseñarles procesos de letrinización adecuados, y las consecuencias que tiene el verter los desechos humanos directos a las quebradas.

Además de lo mencionado, es necesario realizar labores de acondicionamiento de las presas, en algunos casos dragando los sedimentos acumulados para aumentar su

espejo, como se observó en todas las tomas salvo Guaratoro y La Porra. Pero en otros casos son necesarias obras de acondicionamiento de las cerradas, ya que algunas presentan graves desperfectos, como se pudo observar en las dos tomas de Calan, donde se pueden ver que presentan descalsos en los estribos que sustentan las presas. Estas obras pueden venir acompañadas de aumento en altura en algunas de las tomas, como se ha mostrado en las tomas de Calan o en Guaratoro, no así en la presa de Chamalucuará.

En definitiva, son labores que requieren varias vías de actuación, pero principalmente deben empezar con las negociaciones para la adquisición de las microcuencas, encontrando solución para los problemas de deforestación y contaminación química. También se deben realizar labores de educación y promoción social con respecto al tratamiento de los desechos humanos.

Para más información al respecto, se incluye un informe detallado de este estudio en el apéndice 4.

2.6 ESTUDIO DE POSIBLES MICROCUENCAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL

2.6.1 Introducción

El crecimiento poblacional de Siguatepeque es ligeramente superior al crecimiento que se da en el resto del territorio nacional, estando en el orden del 3,5 %. Su situación geográfica hace que cada vez haya una mayor emigración de la gente hacia el municipio, ya que es una ciudad muy bien comunicada con los principales núcleos urbanos del país. La ciudad dista 118 Km. de la capital Tegucigalpa y 134 Km. de la principal ciudad industrial del país, San Pedro Sula. Y está comunicada con ellas por carretera completamente pavimentada y que a fecha actual se encuentra en remodelación, haciendo que las comunicaciones sean más fluidas en un futuro. No sólo ello, sino que la comunicación con La Esperanza o Santa Bárbara, dos núcleos urbanos importantes del país sea también por carretera pavimentada con la primera y casi pavimentada con la segunda.

Su clima hace también que tenga un atractivo urbano para la gente, el cual se comentó en la sección 1.2.2.

Todos estos factores hacen que el incremento poblacional del municipio sea grande todos los años, reflejándose en una presión cada vez mayor en los recursos de la zona. Y entre estos recursos está el agua.

Un objetivo principal de este estudio es la eliminación de la presión a la que se somete el agua subterránea, sobre todo en el entorno del casco urbano, por tanto, se hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua superficial que vengán a complementar las ya existentes y que se comentaron en la sección anterior. De no hacerlo, en un futuro será necesaria someter a fuerte presión al Acuífero de Siguatepeque, pues las fuentes superficiales que ya se están aprovechando se hacen al 100 %, principalmente porque las plantas de tratamiento no dan para mayor capacidad, o porque los problemas de deforestación hacen que los caudales en verano caigan drásticamente.

Con este objetivo se realizó el siguiente estudio, que consistió en la búsqueda y evaluación de nuevas fuentes de abastecimiento de agua para el municipio. Se siguieron varios criterios de evaluación como fueron:

- Estudio socioeconómico de las microcuencas identificadas como posibles fuentes de abastecimiento.
- Estudio de calidad de agua en algunas de las microcuencas evaluadas, donde se pensaba que podía existir algún foco potencial de contaminación.
- Estudio de caudales en invierno y verano para ver el potencial hídrico de las microcuencas evaluadas.

Con esta pauta de trabajo se identificaron varias microcuencas que deberían cumplir estos requisitos: Caudal óptimo en invierno y verano y suficiente altura topográfica y ubicación geográfica para llevar el agua por gravedad hacia el casco urbano. Por lo tanto, para seleccionar que tipos de quebradas se visitarían, se realizó una pequeña encuesta poblacional a diferentes personas y autoridades municipales para que nos recomendaran qué quebradas creían ellos que podían ser buenas suministradoras de agua para el municipio.

Basándonos en este estudio se identificaron las siguientes quebradas para ser estudiadas: Quebrada de Molineros, Quebrada de El Rincón, Nacimiento de Aguacaliente y Quebrada cerca de Zapote, Quebrada de La Reina, Quebrada de El Achiote en su sector alto y Río Cumes.

Un informe completo de esta actividad se puede ver en el apéndice 4.

Las quebradas analizadas en este estudio, así como las fuentes de agua utilizadas en la actualidad por el municipio se muestran en la imagen 2.26.

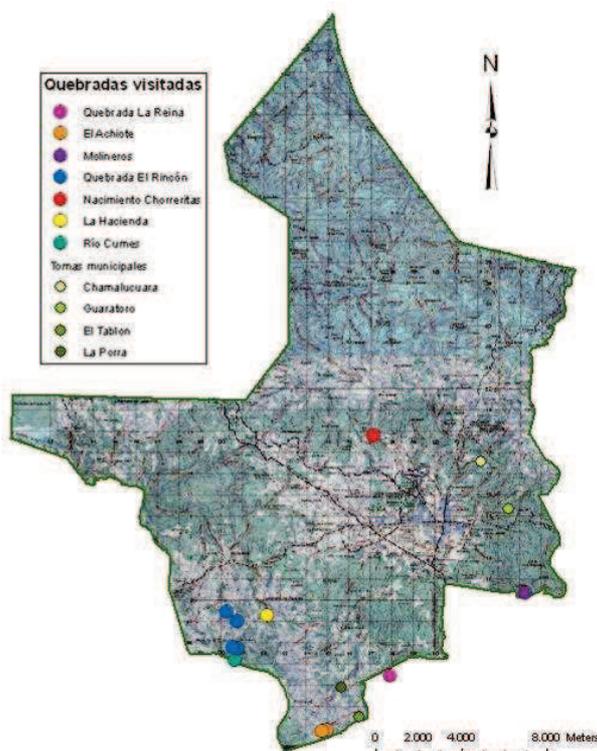


Imagen 2.26: Mapa político del municipio de Siguatepeque mostrando la ubicación de las fuentes de agua superficial utilizadas hasta el momento por el municipio, así como aquellas que se evaluaron para ver la viabilidad a futuro como fuente de agua superficial.

2.6.2 Microcuenca de Molineros

En esta microcuenca se reconocen varias quebradas, como son Quebrada de Las Moras, Quebrada de Los Pozos y la Quebrada de Quiscamote, que confluyen para dar la Quebrada de Molineros. Se ubica en el sector sureste del Municipio de Siguatepeque y sector Oeste del Municipio de El Rosario, emplazándose principalmente en el Bosque de ESNACIFOR, aunque su parte alta se encuentra en terrenos privados.

En la misma se reconocen problemas de deforestación, pues se sitúa al sur del Barrio El Parnazo y la gente de dicho barrio se vienen a esta microcuenca a por leña.



Imagen 2.27: Demarcación geográfica de la Microcuenca de Molineros.

Durante nuestra visita se observó la existencia de un punto idóneo para realizar la cerrada, en caso de ser necesaria hacerla, ya que se presentaban paredes verticales de más de 5 metros de altura debido a un encañonamiento del cauce en tobas del Miembro Guique. Se calculó la altura topográfica de esta zona dando lugar a una elevación de 1127 msnm, pero debido a que la altura topográfica máxima del casco urbano es de 1080 msnm se debería ubicar más arriba debido a la necesidad de ubicar una planta de tratamiento y un tanque de agua. Por ello se considera oportuno situar la cerrada en las cotas más altas del cañón visitado.



Imagen 2.28: A la izquierda se puede observar una pequeña cascada justo al inicio del cañón que se forma en la Quebrada Molineros. A la derecha una situación ligeramente aguas arriba de la cascada de la izquierda donde se realizaron medidas del caudal de agua y toma de muestras para análisis.

Durante la visita, se realizaron medidas de caudal por el método del flotador. Esta medida fue en estación lluviosa, y tras unas copiosas lluvias los días antes, por lo que el resultado salió de 600 litros por segundo. Ya en las imágenes anteriores se puede observar que la quebrada lleva un buen caudal, pero una visita realizada justo antes de las lluvias nos había mostrado que la quebrada lleva menos agua que la que aparentó durante la medida de caudales. Todo ello unido al método utilizado indica que el caudal de invierno de esta quebrada es ligeramente inferior, pudiendo situarse en torno a los

400, 500 litros por segundo. Aún así, el caudal parecía óptimo para una utilización de esta quebrada como fuente de abastecimiento urbano.

Por el contrario, las medidas tomadas durante la estación seca nos mostraron que esta quebrada funciona prácticamente en invierno y en verano se seca. Tras un importante periodo de escasez de lluvias en el municipio, se volvió a aforar, dando un caudal máximo de 3,4 litros por segundo, lo que nos llevó a descartar por completo esta fuente para abastecimiento de agua municipal, al ser principalmente una quebrada de invierno.



Imagen 2.29: Comparativa entre una misma zona de la Quebrada de Molineros en dos fechas distintas. A la izquierda se muestra la imagen 2.28 derecha con la situación de la quebrada en Septiembre de 2009, mientras que a la derecha se muestra la misma zona en Marzo de 2010.

Este factor ya hace que la quebrada no sea buena para abastecimiento de agua municipal. Pero los análisis fisicoquímicos realizados durante la primera etapa de estudio nos dieron resultados malos.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
Ph	6.5-8.5		7.0
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₄ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	144.0 ppm
Nitrosos	0	1.0	0.020 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	1.73 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	6 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	120 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	INC	24 °C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.10 ppm

Tabla 2.12: Análisis fisicoquímico para el agua de la Quebrada de Molineros.

El análisis de agua nos muestra una fuerte afección fisicoquímica por hierro y por nitratos, al igual que sucedía con la Quebrada de Guaratoro. Al igual que en el caso anterior, los nitratos posiblemente se deban al uso de agroquímicos en los cultivos en la parte alta de la microcuenca, pero nuevamente, no se ha encontrado una fuente antrópica para el hierro, y tampoco una explicación natural. Aunque por consulta con el Dr. Fredis Romero de ESNACIFOR, este nos comentó que en la zona se habían reconocido nódulos de hierro en algunos suelos.

De todas maneras, la presencia tan elevada de estos contaminantes hace absolutamente necesaria la construcción de una planta de tratamiento de agua, y dicha inversión no es justificable para una quebrada que va a funcionar únicamente en el periodo invernal. Por ello no se recomienda la utilización de la misma como fuente de abastecimiento urbano.

2.6.3 Microcuenca de El Rincón

Esta microcuenca se encuentra emplazada en la Sierra de Montecillos en la Cuenca del Río Uluita, al oeste de la Cuenca de Calan. (Ver imagen 1.4). Se accede a la misma por la carretera hacia La Esperanza a la altura de la Aldea El Rincón, pudiendo acceder por varios puntos de la misma, aunque a la parte baja de la misma es mejor acceder por donde están emplazados los tanques de agua de esta aldea.

Actualmente esta microcuenca se encuentra en utilización, obteniendo agua de la misma la Comunidad de Villa Alicia y la Aldea El Rincón. Por ello, se realizaron diversas medidas de caudales en la misma. Una primera medida de caudal aguas arriba de las tomas de agua, una segunda medida en las tomas de agua, una tercera media aguas abajo de las tomas de agua y finalmente una cuarta media en la parte media de la microcuenca donde se emplazaba la antigua toma de agua de El Rincón.



Imagen 2.30: Ubicación geográfica de los puntos en los que se realizaron las medidas de caudales en la microcuenca de El Rincón.

Los resultados obtenidos fueron buenos durante la primera medida de caudales realizada en Octubre de 2009, justo en un periodo de altas lluvias. Así, los caudales medidos aguas arriba de las tomas de agua nos dieron un valor de 38,7 litros por segundo, un caudal verdaderamente bueno para el punto en el que se midió. Y es que aguas abajo, justo donde se sitúan las tomas de agua para El Rincón y Villa Alicia se produce la confluencia de dos quebradas, las cuales a la hora de aforarlas nos dieron un caudal de 201 litros por segundo, algo completamente coherente con los valores obtenidos ligeramente aguas debajo de las tomas, el cual nos dio un total de 205,48 litros por segundo.

Finalmente, en la parte media de la microcuenca se realizó otra medida, justo donde se sitúa la antigua toma de El Rincón, dando un caudal máximo de 704,3 litros por

segundo, algo verdaderamente bueno como para ser aprovechado para abastecimiento municipal.



Imagen 2.31: Izquierda. Cascada situada aguas arriba de las Tomas de El Rincón y Villa Alicia donde se realizó la medida del caudal. Derecha. Punto aguas debajo de las tomas mencionadas donde se realizó la medición del caudal.

Para asegurarnos de que esta zona sea buena para abastecimiento municipal, se repitieron las medidas en estación seca, justo en el mes de mayo. Aunque decir cabe, que habían caído algunas lluvias ligeramente importantes días antes de la medición de caudales.

Aún así, los valores obtenidos fueron buenos, ya que aguas arriba de las tomas de agua de El Rincón y Villa Alicia nos dio un caudal de 19,3 litros por segundo.

Recordar cabe que justo en las tomas de El Rincón y Villa Alicia existe la confluencia de dos quebradas distintas. En la quebrada de la derecha nos salió un caudal de 43 litros por segundo y en la de la izquierda un caudal de 9,6 litros por segundo. A este segundo caudal hay que añadir una pequeña objeción, y es que el método utilizado para medir el caudal fue con corrientómetro, y la velocidad que se midió en el cauce fue de 0,05 metros por segundo, justo el umbral mínimo de medición del aparato utilizado, por lo que este valor de 9,6 litros por segundo puede ser muy inferior.

Aguas abajo de las tomas de agua se volvió a medir el caudal, como en la medición de invierno, dándonos un valor de 35,7 litros por segundo.

El último punto de medición se realizó en la antigua toma de El Rincón dando un caudal de 35,87 litros por segundo.

Al final de este apartado se muestra el cálculo de caudales realizado tanto en invierno como en verano, yendo desde la imagen 2.33 a la imagen 2.41.

Aunque los caudales medidos en verano sean muy inferiores a los obtenidos en invierno, esta microcuenca presenta unas buenas condiciones para ser aprovechada para abastecimiento de agua municipal. Además, su elevación topográfica superior a los 1200 metros de altitud nos indica que es buena para conducir el agua por gravedad hasta un tanque de almacenamiento, y finalmente conducirla por gravedad a los usuarios del municipio.



Imagen 2.32: Imagen del último punto de medición de caudales durante la época de invierno.

A continuación se muestra en detalle los cálculos realizados para el cálculo de caudales en esta microcuenca.

Caudales medidos en invierno

Cauce en la pasarela de madera aguas abajo de las tomas

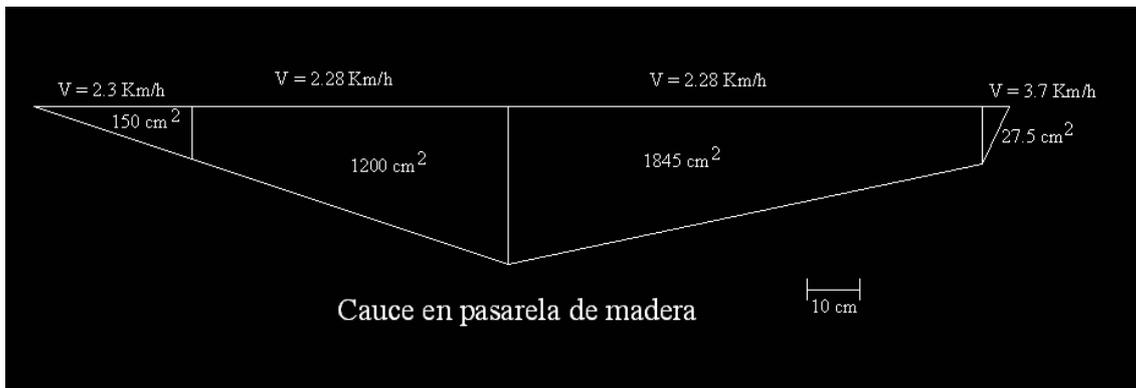


Imagen 2.33: Muestra esquemática de las medidas obtenidas en el cauce por el que pasaba la pasarela de madera. La línea superior del dibujo representa la lámina de agua.

El primer punto donde se paró fue cerca del inicio de la propiedad del Sr. D'elia, en un punto donde había una pasarela hecha de madera para pasar el cauce. La imagen del mismo se muestra arriba con los cálculos de la sección de distintas zonas del cauce y la velocidad, obtenida con un corrientómetro. Los datos son:

Sección	Velocidad	Caudal
0,015 m ² ;	55.200 m/día	828 m ³ /día
0,12 m ²	54.720 m/día	6.566,4 m ³ /día
0,1845 m ²	54.720 m/día	10.095,84 m ³ /día
0.00275 m ²	88.800 m/día	244,2 m ³ /día

Caudal m³/día	Caudal l/s
828 m ³ /día	9,58 l/s
6.566,4 m ³ /día	76 l/s
10.095,84 m ³ /día	116,85 l/s
244,2 m ³ /día	2,83 l/s

Caudal total: 205,48 l/s

Coordenadas UTM WGS 84:

E 0409258
N 16113239
Z 1454 m.

Cauce en la toma de El Rincón y Villa Alicia

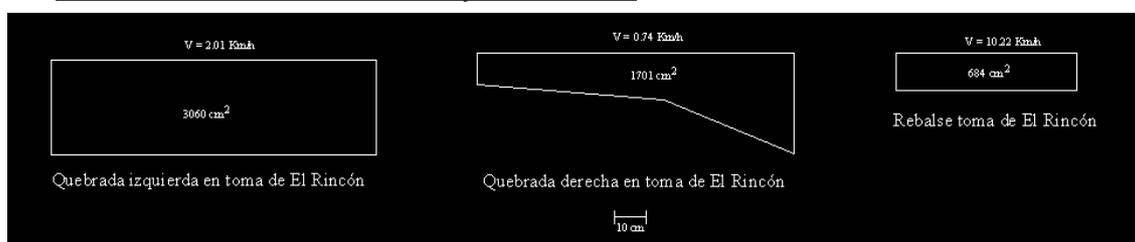


Imagen 2.34: Muestra esquemática de las medidas obtenidas en la toma de agua de la Comunidad El Rincón. La línea superior de los dibujos representa la lámina de agua.

Ligeramente aguas arriba del punto anterior está la actual toma de agua de El Rincón. A dicha toma de agua llegan dos quebradas, por lo que se han hecho medidas en ambas quebradas, así como en el rebalse de la toma de El Rincón. Se muestran en la imagen 2. Los datos son los siguientes:

Sección	Velocidad	Caudal
0,306 m ²	48.240 m/día	14.761,44 m ³ /día
0,1701 m ²	17.760 m/día	3.036,96 m ³ /día
0,0684 m ²	245.280 m/día	16.777,152 m ³ /día

Caudal m³/día	Caudal l/s
14.761,44 m ³ /día	170,85 l/s
3.036,96 m ³ /día	35,15 l/s
16.777,152 m ³ /día	194,18 l/s

De todos estos valores, el que más se aproxima a la realidad de la zona son los dos primeros, ya que el último es un rebalse de una represa, y el caudal estará sobredimensionado. Por ello, la quebrada izquierda da un valor de 170,85 l/s, mientras que la quebrada de la derecha da un valor de 35,15 l/s. En total las dos dan un caudal de 201 l/s, que se ajusta bastante al dato obtenido en el anterior punto de observación.

Coordenadas UTM WGS 84:

E 0400860
N 1608152
Z 1502 m.

Cauce después de la cascada. Aguas arriba de las tomas

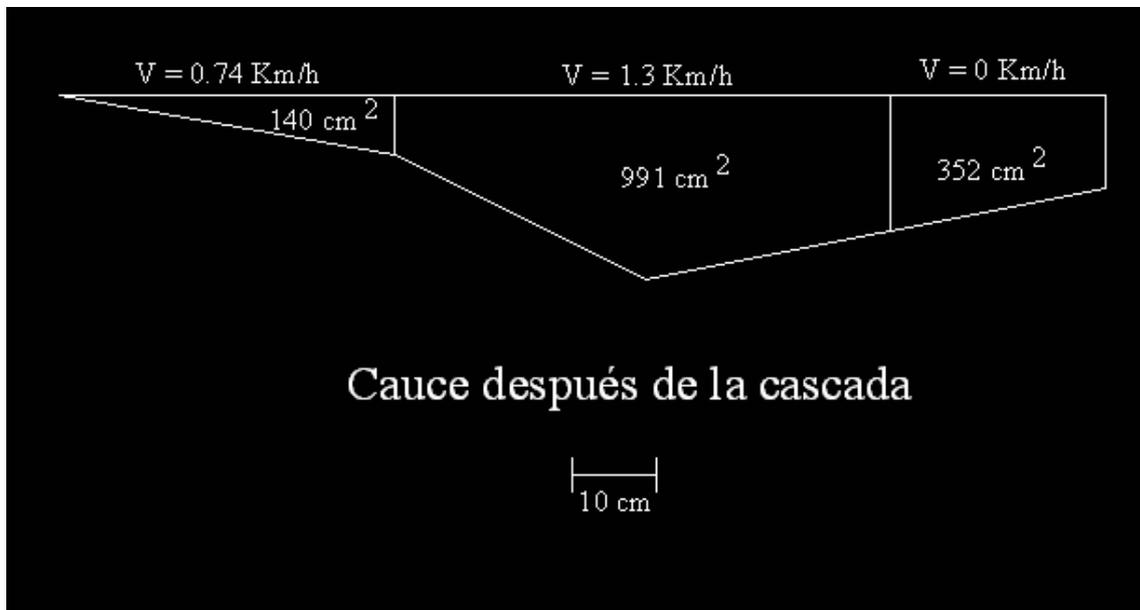


Imagen 2.35: Muestra esquemática de las medidas obtenidas en la toma de agua de la cascada. La línea superior del dibujo representa la lámina de agua.

Todavía aguas más arriba de la toma de El Rincón, tomamos una serie de medidas en una zona próxima a una cascada, perteneciente a una de las quebradas que llegan a la toma de El Rincón. La imagen 3 muestra de un modo esquemático los datos tomados en el campo. Estos son los siguientes:

Sección	Velocidad	Caudal
0,014 m ²	17.760 m/día	248,64 m ³ /día
0,0991 m ²	31.200 m/día	3.091,92 m ³ /día
0,0352 m ²	0 m/día	0 m ³ /día

Caudal
m³/día
 248,64 m³/día
 3.091,92 m³/día
 0 m³/día

Caudal
l/s
 2,88 l/s
 35,786 l/s
 0 l/s

Caudal total: 38,666 l/s

Cauce en la antigua toma de El Rincón

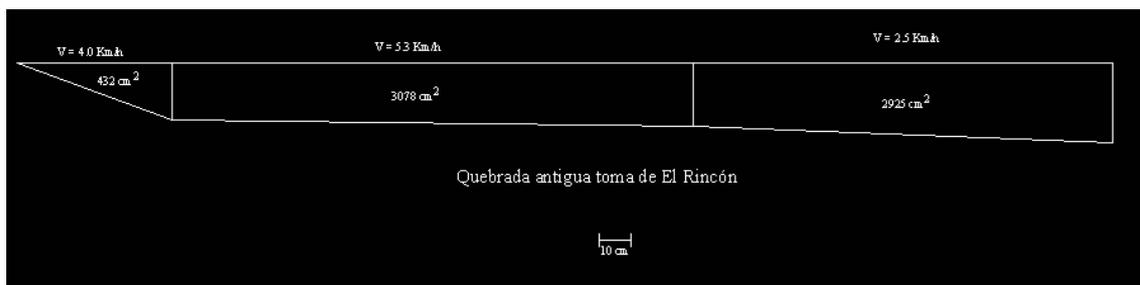


Imagen 2.36: Muestra esquemática de las medidas obtenidas en la antigua toma de agua de la Comunidad El Rincón. La línea superior de los dibujos representa la lámina de agua.

Esta zona de muestreo ha sido interesante, ya que el caudal que obtengamos va a estar situado aguas abajo de la toma de El Rincón y de la toma de Aguas del Padre y Villa Alicia. Por lo que este caudal es el caudal ecológico dejado por estas dos tomas. En la imagen 4 se muestra la sección del cauce así como la velocidad medida con corrientómetro.

Sección	Velocidad	Caudal
0,0432 m ²	96.000 m/día	4.147,2 m ³ /día
0,3078 m ²	127.200 m/día	39.152,16 m ³ /día
0,2925 m ²	60.000 m/día	17.550 m ³ /día

Caudal	Caudal
m ³ /día	l/s
4.147,2 m ³ /día	48 l/s
39.152,16 m ³ /día	453,15 l/s
17.550 m ³ /día	203,125 l/s

Caudal total: 704,275 l/s

Coordenadas UTM WGS 84:

E 0400241
N 1609836
Z 1286 m.

Cálculo de caudales en verano

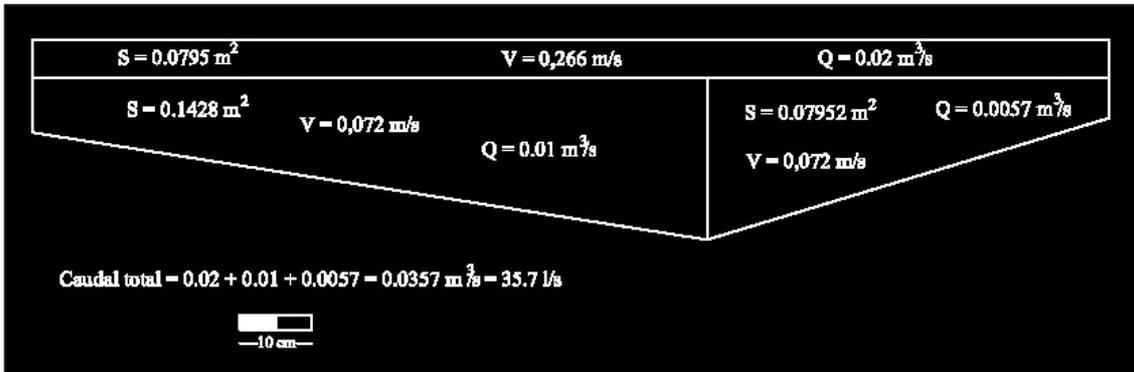


Imagen 2.37: Cálculo de caudales aguas debajo de las tomas de El Rincón y Villa Alicia.

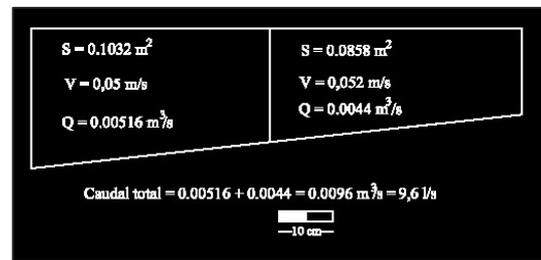
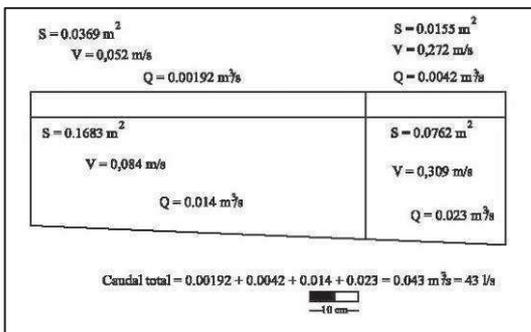


Imagen 2.38: Cálculo de caudales en la toma de El Rincón y Villa Alicia. A la izquierda se muestra la quebrada principal que abastece esta toma que es la que llega por la derecha. A la derecha se muestra la otra quebrada de llegada, la cual presentó problemas con el rango de medición del corrientómetro.

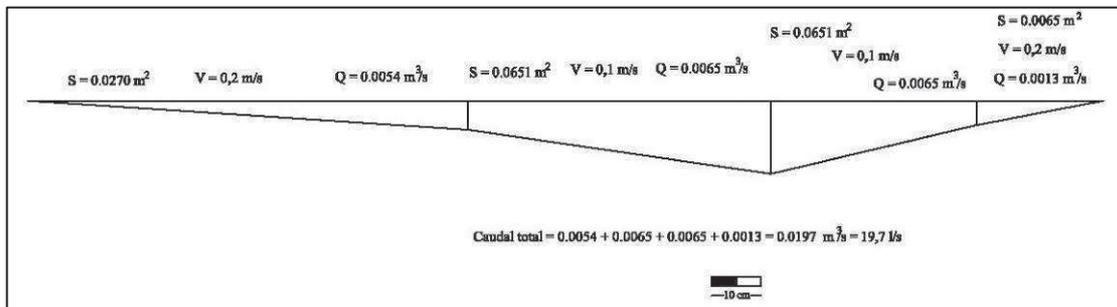
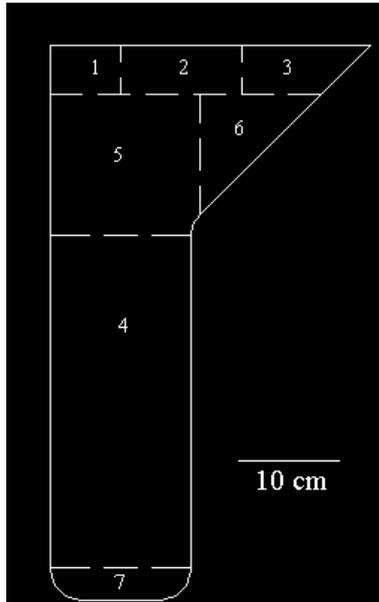


Imagen 2.39: Cálculo de caudales aguas arriba de las tomas de El Rincón y Villa Alicia.

Cálculo de caudales en la antigua toma de El Rincón

Se muestra la sección del punto de muestreo. Aunque la quebrada era mucho más ancha de lo que se muestra en la imagen, existía un represamiento del agua, la cual se evacuaba por una estructura como la presentada en el esquema. Para medir el caudal se dividió en 7 secciones distintas. El caudal es:



$S_1 = 0,0035 \text{ m}^2$	$V_1 = 0,55 \text{ m/s}$
$S_2 = 0,0060 \text{ m}^2$	$V_2 = 0,66 \text{ m/s}$
$S_3 = 0,0052 \text{ m}^2$	$V_3 = 0,39 \text{ m/s}$
$S_4 = 0,0471 \text{ m}^2$	$V_4 = 0,16 \text{ m/s}$
$S_5 = 0,0211 \text{ m}^2$	$V_5 = 0,56 \text{ m/s}$
$S_6 = 0,0073 \text{ m}^2$	$V_6 = 0,63 \text{ m/s}$
$S_7 = 0,0034 \text{ m}^2$	$V_7 = 0,005 \text{ m/s}$

$Q_1 = 0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_1 = 1,925 \text{ l/s}$
$Q_2 = 0,0040 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_2 = 3,960 \text{ l/s}$
$Q_3 = 0,0020 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_3 = 2,028 \text{ l/s}$
$Q_4 = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_4 = 7,536 \text{ l/s}$
$Q_5 = 0,0118 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_5 = 11,81 \text{ l/s}$
$Q_6 = 0,0073 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_6 = 7,643 \text{ l/s}$

$Q_t = 0,0345 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_t = 34,5 \text{ l/s}$
-------------------------------------	--------------------------

Imagen 2.40: Cálculo de caudales en la antigua toma de El Rincón.

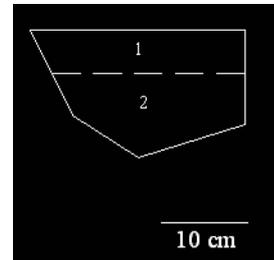
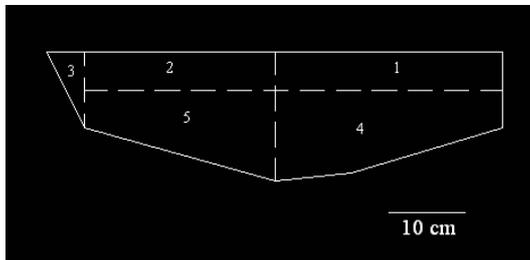


Imagen 2.41: Cálculo de caudales en la antigua toma de El Rincón ligeramente aguas abajo de la medición anterior.

$S_1 = 150 \text{ cm}^2$	$V_1 = 0,38 \text{ m/s}$	$Q_1 = 0,0057 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_1 = 5,70 \text{ l/s}$
$S_2 = 125 \text{ cm}^2$	$V_2 = 0,58 \text{ m/s}$	$Q_2 = 0,0073 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_2 = 7,30 \text{ l/s}$
$S_3 = 20 \text{ cm}^2$	$V_3 = 0,29 \text{ m/s}$	$Q_3 = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_3 = 0,60 \text{ l/s}$
$S_4 = 275 \text{ cm}^2$	$V_4 = 0,29 \text{ m/s}$	$Q_4 = 0,0080 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_4 = 8,00 \text{ l/s}$
$S_5 = 212,5 \text{ cm}^2$	$V_5 = 0,57 \text{ m/s}$	$Q_5 = 0,0121 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_5 = 12,1 \text{ l/s}$

$Q_t = 0,0337 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_t = 33,6 \text{ l/s}$
-------------------------------------	--------------------------

$S_1 = 118,75 \text{ cm}^2$	$V_1 = 0,120 \text{ m/s}$
$S_2 = 162,50 \text{ cm}^2$	$V_2 = 0,052 \text{ m/s}$

$Q_1 = 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_1 = 1,425 \text{ l/s}$
$Q_2 = 0,0008 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_2 = 0,845 \text{ l/s}$

$Q_t = 0,0022 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_t = 2,27 \text{ l/s}$
-------------------------------------	--------------------------

$$Q_T = 0,0359 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_T = 35,87 \text{ l/s}$$

2.6.4 Quebrada de La Reina

Una posible candidata para abastecimiento de agua superficial fue la Quebrada de la Reina, la cual fue identificada como posible fuente de abastecimiento para la Colonia Canadá. Esta quebrada se sitúa en la Sierra de Montecillos, en la Cuenca de Calan y se procedió a su visita en su parte alta.



Imagen 2.42: Situación geográfica de la Quebrada de La Reina.

La visita fue corta, ya que pronto se descartó como posible fuente de abastecimiento municipal. Aunque su elevación topográfica era buena, situándose a 1400 metros de altura, se pudo observar que aún estando en época de lluvia, el caudal que llevaba era excesivamente bajo, el cual no hizo falta ni medir, ya que era inferior a los 5 litros por segundo. No sólo ello, sino que existían importantes focos de contaminación como letrinas vertiendo excrementos directos a la quebrada. Por ello, con la primera inspección se decidió descartarla como fuente de abastecimiento.



Imagen 2.43: Izquierda, muestra del caudal que llevaba la Quebrada de La Reina durante la visita realizada en Octubre. Derecha, salida de una letrina perteneciente a una vivienda cercana a la quebrada la cual vierte aguas negras directas a la quebrada.

2.6.5 Nacimiento de Agua Caliente y Quebrada de Zapote

Esta quebrada se sitúa en la Sierra de Calanterique justo al norte del casco urbano. Su emplazamiento es por tanto en la cuenca del Río Tamalito. La posible fuente de aprovechamiento está formada por un nacimiento, un par de ojos de agua y la Quebrada de Zapote, la cual es denominada Quebrada de Agua Fría por la gente del lugar.

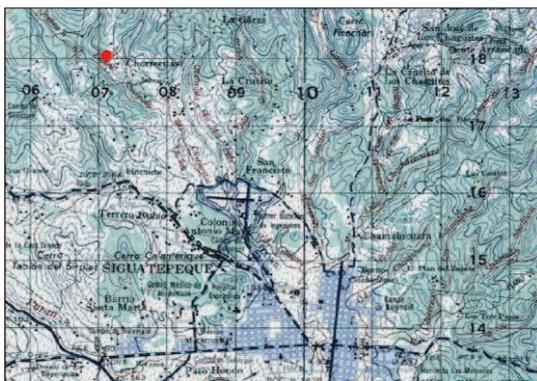


Imagen 2.44: Situación geográfica de la Quebrada de Agua Fría (de Zapote) en el mapa político de Siguatepeque.

Los aforos realizados en invierno en este punto dieron unos resultados de 1,15 litros por segundo para los ojos de agua y de 170 litros por segundo para la quebrada, siendo medido este caudal con el método del flotador. Por lo tanto, este valor estará ligeramente sobredimensionado, pudiendo situarse el valor real en torno a los 100 litros por segundo. Aún así, a priori es un caudal bueno para ser aprovechado como fuente de abastecimiento municipal.

Para comprobar esta cualidad, se decidió realizar una medición de caudales en estación seca, aforándose el Nacimiento de Agua Caliente, dando un valor de 3 litros por segundo. Por tanto, la quebrada llevaría un caudal bastante superior, lo que hace pensar que pueda ser utilizado como fuente de abastecimiento municipal. Más considerando que la altura topográfica de la misma es cercana a los 1200 msnm.

Pero existe una problemática con esta quebrada, y es que es fuente única de abastecimiento de agua para muchas comunidades que hay cerca de la misma. Por lo que su puesta en utilización para abastecer al casco urbano haría que estos habitantes viesan mermado su abastecimiento de agua. Sí que sería interesante el mejorarla como fuente de abastecimiento comunal para esta gente, haciendo alguna estructura que permitiese el abastecimiento de agua con mayor calidad.



Imagen 2.45: Izquierda, nacimiento de Chorreritas durante la época de invierno. Derecha, mismo nacimiento durante la época de verano.

Además de estos estudios, se realizaron análisis fisicoquímicos al agua de la quebrada y el nacimiento en invierno para ver la concentración de determinados componentes.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	62 UFC/ 1ml	7 UFC/1 ml	3 UFC/1ml	3 UFC/1ml	24 hrs.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
Ph	6.5-8.5		7.7
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	44.8 ppm
Nitritos	0	1.0	0.04 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	0.32 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	1 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	380 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	23 °C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.010 ppm

Tabla 2.13: Análisis bacteriológico (arriba) y fisicoquímico (abajo) para el agua del nacimiento de Agua Caliente.

La tabla 2.13 muestra una importante contaminación bacteriológica para el agua del nacimiento, detectándose colonias fecales y sobre todo *Escherichia coli*, lo que le da un alto riesgo de consumo humano. La calidad fisicoquímica es ligeramente mala, ya que posee el hierro un poco por encima de la norma técnica de calidad de agua.

No debemos olvidarnos de que este nacimiento sirve de fuente de abastecimiento de agua para una buena población cercana al mismo y que como ellos mismos han dicho, esta agua la utilizan para tomar, por lo que existe una fuente potencial de infecciones

gastrointestinales en esta zona. Se debería por tanto acondicionar esta fuente para su abastecimiento tal como se recomendó más arriba.

CANTIDAD DE AGUA FILTRADA	TOTAL COLONIA MESOFILAS	COLONIAS COLIFORMES TOTALES	COLONIAS COLIFORMES FECALES	COLONIAS <i>Escherichia coli</i>	TEMPERATURA Y TIEMPO INCUBACION.
1 ml	246 UFC/ 1ml	25 UFC/1 ml	7 UFC/1ml	4 UFC/1ml	24 hrs.

ANALISIS	*VALORES NORMALES	*VALORES MAXIMOS ADMISIBLES	RESULTADOS
Ph	6.5-8.5		7.6
Dureza (CaCO ₃)	0 ppm	400 ppm	X
NH ₃ -N	0 ppm	20 ppm	X
Nitratos	25 ppm	50 ppm	3.4 ppm
Nitritos	0	1.0	0.001 ppm
Hierro (Fe)	0	0.3 ppm	1.57 ppm
Sulfatos	25	250 ppm	3 ppm
Zinc	0	3 ppm	X
Cloro Total	Mayor que 0 ppm		X
Cloro Libre	0.5-1.0 ppm		X
Sólidos Disueltos	0	1000 ppm	230 ppm
Turbiedad (NTU)	1 NTU	5 NTU	X
Oxígeno Disuelto			X
Temperatura	18°C-30°C	NC	23 °C
Fluor		0.7-1.5 ppm	X
Cobre (Cu)	1.0	2.0 ppm	0.00 ppm

Tabla 2.14: Análisis bacteriológico (arriba) y fisicoquímico (abajo) para la Quebrada de Zapote (Agua Fria).

La situación no es mucho mejor para la Quebrada de Zapote, la cual sirve de abastecimiento para más población del lugar. Y es que, como se observa, existe también una fuerte contaminación fecal del agua, lo que la hace no apta para consumo humano. Además, la contaminación fisicoquímica es superior al nacimiento con contaminación por nitratos, posiblemente debidos a los cultivos que hay en la zona.

Ello acentúa más la necesidad de acondicionar una fuente de abastecimiento para esta población, y a ser posible, cerca del nacimiento de agua, que es el que mejor calidad fisicoquímica de agua tiene. Sino se toman medidas rápidamente, se tendrá un importante foco de contaminación en la zona.

A pesar de todo, se ha preguntado a gente del lugar si sufrían de enfermedades gastrointestinales periódicamente y respondieron que no eran frecuentes, aunque la persona que lo dijo, mencionó también llevar poco tiempo viviendo en la zona.

2.6.6 Quebrada de El Achote

A petición de la municipalidad, se visitó esta quebrada como posible fuente de abastecimiento para la Colonia Canadá ya para el municipio.

La visita se realizó en estación húmeda justo en época de fuertes lluvias, lo cual hizo muy complicado el acceso en vehículo a la quebrada. Aún así se pudo reconocer.

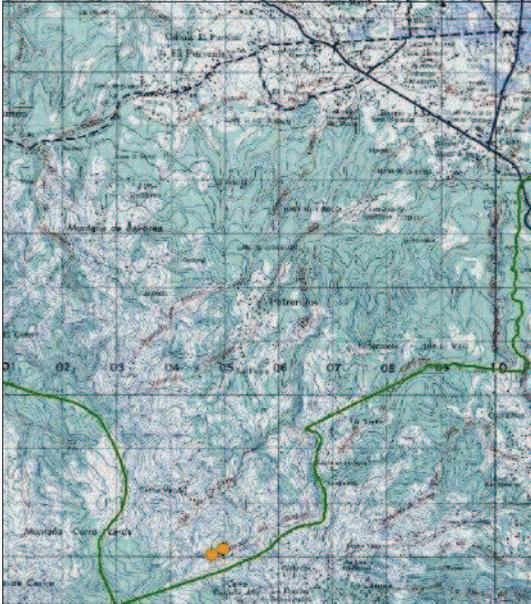


Imagen 2.46: Ubicación de los puntos visitados en la Quebrada de El Achote.

Ya de por sí, aparecieron problemas sociales a la hora de ver el aprovechamiento de la misma como fuente de agua, ya que existen numerosas tomas clandestinas, contabilizadas en más de 40, para riego de cultivos de café. Estas tomas quitan un importante caudal a la quebrada.

A pesar de ello, se midió este caudal en unos 7 u 8 litros por segundo aguas arriba de la confluencia de las dos quebradas, ascendiendo a 12 litros por segundo ligeramente aguas abajo de la confluencia de las mismas.

Cuando se trató de medir el caudal en época seca, fue imposible acceder al lugar debido al mal estado del camino. Por lo tanto, debería acudir nuevamente al punto para realizar este cálculo de caudales en periodo de estiaje y así valorar la viabilidad de un proyecto de abastecimiento en esta zona.

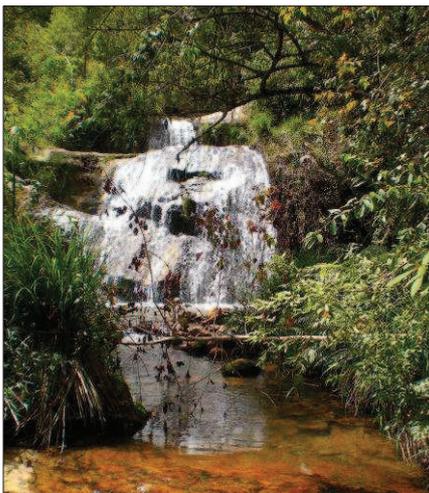


Imagen 2.47: Pequeña cascada situada en la Quebrada de El Achote.

Por tanto, esta quebrada requiere un estudio más a fondo si se quiere ver su potencial. Por ahora, sin este estudio se antoja muy bajo el caudal para aprovechamiento municipal y para la Colonia Canadá.

2.6.7 Conclusiones para el estudio de posibles fuentes superficiales de abastecimiento.

Algunos antecedentes a este proyecto, como el Diagnóstico Municipal de Agua Potable (Rodríguez, A. 2007) indican la existencia de fuentes de abastecimiento superficiales deficientes y desprotegidas, lo cual en parte es cierto. No sólo ello. Escoto, X. et. al (2001) hacen prácticamente la misma indicación diciendo que sólo la cuenca de Calan es la única que tiene potencial de aprovechamiento de agua. Tal como se ha mostrado, la Cuenca del Río Uluita con la Microcuenca de El Rincón es también una buena fuente de abastecimiento de agua.

Se ha observado que la calidad de agua de las fuentes analizadas muestra la tónica general que se ha observado en el municipio, contaminación fisicoquímica de nitratos posiblemente debida al uso de agroquímicos en cultivos. También se detectó la presencia de altos contenidos en hierro con el mismo resultado que en estudios anteriores, con un origen desconocido. Ello, por tanto, hace que sea necesaria la construcción de nuevas plantas de tratamiento de agua en caso de poner en utilización estas microcuencas.

Y es que, de las microcuencas analizadas se ha detectado que la de El Rincón es la que tiene potencial hídrico para ser utilizada como fuente de agua municipal. No sólo ella, sino que se realizó una visita sencilla al Río Cumes el cual mostró que también tiene un alto potencial de utilización, también en la Cuenca del Río Uluita.

De las otras analizadas, se encontraron algunas problemáticas que no hacían viable su utilización. Así, la Quebrada de Molineros daba buen caudal en invierno, pero en verano estaba casi seca, lo que no justificaba la construcción de toda una infraestructura para abastecimiento.

Por otro lado, el Nacimiento de Agua Caliente y la Quebrada de Zapote sirven como abastecimiento de agua para la población de la zona y utilizarla para abastecimiento municipal haría que esta gente viese mermada el agua que consumen. La calidad de agua de la misma indica que es necesario trabajar a favor de esta gente para hacer que el agua que consuman sea de calidad, ya que se ha detectado que bacteriológicamente y fisicoquímicamente sea de mala calidad.

Otras quebradas como la de La Reina se descartaron desde un principio debido a la mala calidad de agua que tenía y el bajo caudal observado.

Un caso especial es la quebrada de El Achiote la cual requiere un estudio más a fondo para ver su potencial, pero a priori se muestra como una quebrada con bajo potencial de utilización debido al bajo caudal observado en invierno y al estar emplazada en la misma quebrada de la que toma el agua la presa de El Tablón.

Por tanto, como única fuente de abastecimiento a corto plazo están las ubicadas en la Microcuenca de El Rincón. Cabe mencionar que este estudio no menciona los costes económicos de ponerla en aprovechamiento. Sólo se ha visto la viabilidad con respecto a la altura topográfica, situación socioeconómica y propiedades hídricas de las microcuencas.

Es por tanto necesario hacer un estudio económico para ver la inversión necesaria a realizar en la construcción de la toma de agua, toda la tubería de conducción, la planta de tratamiento a construir junto con el tanque de almacenamiento y la red de distribución para ver la viabilidad y financiamiento del mismo.

2.7 ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA SUMINISTRADA A LOS USUARIOS DE AGUAS DE SIGUATEPEQUE

2.7.1 Introducción

La Ley Marco de Agua de Honduras en sus artículos 3 y 30, así como en el Anexo A Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable establece como obligaciones de los prestadores del servicio de agua a dar a sus usuarios el mejor servicio de agua posible en cuestión de durabilidad y calidad. Por tanto, se consideró necesario un trabajo que vigilase la calidad de agua servida a los usuarios buscando focos de contaminación de agua a varios niveles y buscando cómo eliminarlos. Para ello, se buscó una estrategia de trabajo que se explica de modo detallado en el apéndice 5. A continuación pasamos a resumir dicha estrategia.

La estrategia consistió en ir descendiendo desde las fuentes de agua, tanto subterráneas como superficiales, hasta las llaves de los usuarios.

Así, se monitoreó la calidad de agua en las fuentes de abastecimiento, labor que se ha abordado ligeramente en el apartado 2.4 cuando se habló del acuífero de Siguatepeque y el apartado 2.5 de modo detallado cuando se habló de las fuentes de abastecimiento de agua superficial.

El siguiente paso fue evaluar la calidad de agua en los tanques de almacenamiento, con ello se constataba la labor de cloración en las plantas de tratamiento o directamente en los tanques de almacenamiento. Se compararían luego los resultados con los obtenidos en las fuentes de abastecimiento.

A continuación, se realizaría una campaña en la red de distribución para ver la calidad en la misma, y nuevamente se deberán comparar los resultados obtenidos en este apartado con los obtenidos en los anteriores.

De este modo se hará un monitoreo completo a la calidad de agua en el municipio, localizándose las distintas fuentes de contaminación y así poder corregir esta de un modo más efectivo.

Para desarrollar los resultados del mismo se consideró más ordenado el ir examinando los resultados en función de las fuentes de abastecimiento, ya que prácticamente cada fuente tiene su propia red de distribución con las conexiones debidas. En el apéndice 5 se da un extenso informe de la calidad de agua municipal, por lo que a continuación se procederá a resumir los resultados del mismo.

2.7.2 Situación del acueducto de Siguatepeque

Para comprender el desarrollo del estudio de calidad de agua, es necesario comprender primero cómo está estructurado, en términos generales, el acueducto de Siguatepeque.

Actualmente, la principal entrada de agua al acueducto es por medio de las tomas superficiales de Calan, las cuales envían agua hasta la planta de tratamiento Jaime Rosenthal Oliva. Acto seguido se envía el agua al Tanque de Calan el cual tiene una capacidad de 757,54 m³ (200.000 Galones). Esta agua luego es inyectada directamente a la red o principalmente enviada a los tanques de Calanterique, con capacidad de 568,2 m³ (150.000 Galones) y Santa Martha, con capacidad de 378,8 m³ (100.000 Galones). Debido a la topografía del municipio y ubicación de estos tanques, el Tanque de Calanterique bombea agua la Tanque Altos de Calanterique, con capacidad de 37,88 m³ (10.000 Galones) y el Tanque Santa Martha bombea al Tanque Altos de Santa Martha, con capacidad de 37,88 m³ (10.000 Galones).

Estos tanques distribuyen agua según se indica en la imagen 2.48.

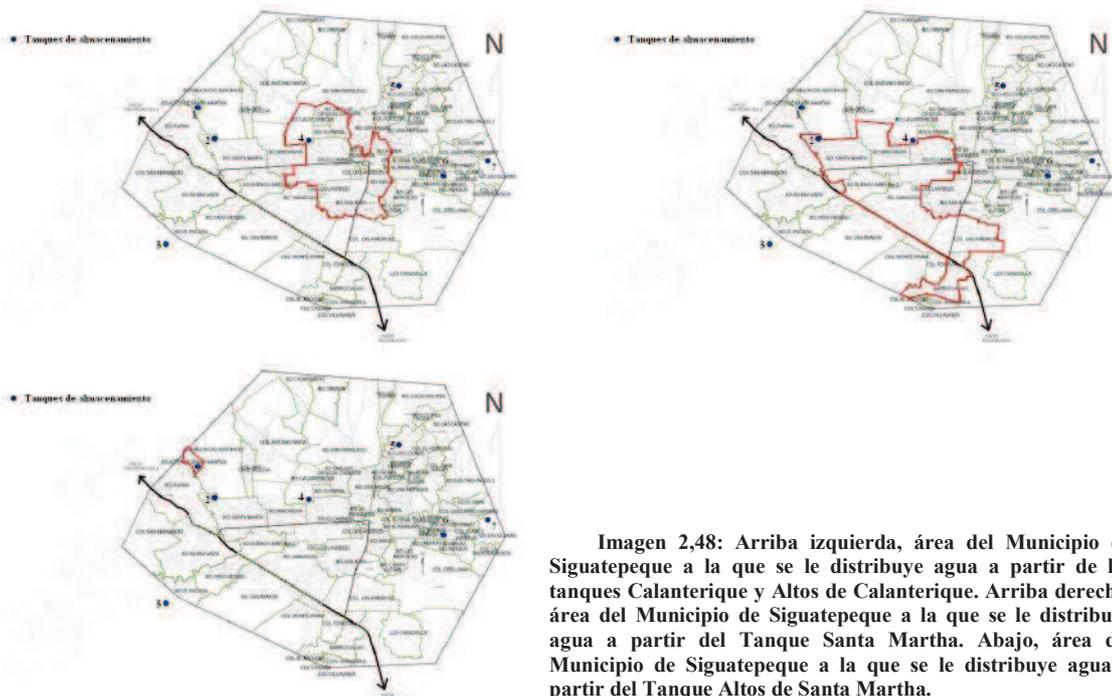


Imagen 2.48: Arriba izquierda, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir de los tanques Calanterique y Altos de Calanterique. Arriba derecha, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque Santa Martha. Abajo, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque Altos de Santa Martha.

La segunda fuente principal de agua del municipio es la toma de Guaratoro, la cual envía agua a la Planta de Tratamiento de Guaratoro. Acto seguido, el agua es enviada al Tanque de Guaratoro, con una capacidad de 246,2 m³ (65.000 Galones). El agua de este tanque es enviada a la red de distribución y también al Tanque de El Parnazo, con capacidad de 378,8 m³ (100.000 Galones).

Estos tanques distribuyen agua según se indica en la imagen 2.49.

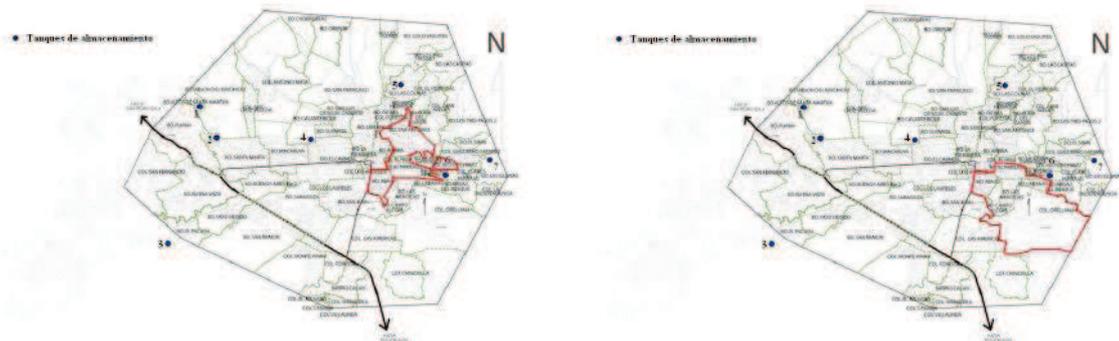


Imagen 2.49: Izquierda, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque Guaratoro. Derecha, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque El Parnazo.

La tercera fuente principal de agua es la proveniente de la fuente de Chamalucuará, la cual envía agua a los tanques de Colinas, con una capacidad de 94,7 m³ (25.000 Galones). Como se puede ver, esta agua superficial no pasa por planta de tratamiento, lo que repercutirá en gran medida en la calidad de agua.

Estos tanques distribuyen el agua según se muestra en la imagen 2.50

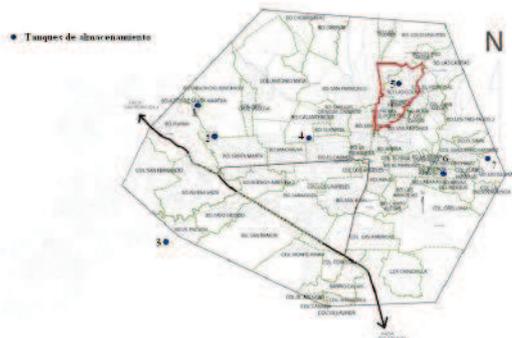


Imagen 2.50: Área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque de Colinas.

La situación de los pozos es un tanto distinta a la de las fuentes de abastecimiento, ya que pocos de ellos envían agua a la red de distribución. Así, los pozos de La Fresera, San Juan, SANAA y Zaragoza envían agua al Tanque de Calanterique, por lo que su distribución viene mostrada en la imagen 2.48. Aunque hay que decir que los pozos Zaragoza y San Juan tienen la posibilidad de bombear agua directa a la red en caso de extrema emergencia. El pozo de Macaruya y Alcaravanes III envían agua al Tanque de Santa Martha, por lo que su distribución viene mostrada en la misma imagen. El Pozo La Curtiembre envía agua al Tanque de El Parnazo, por tanto su distribución viene mostrada en la imagen 2.49 derecha.

El resto de pozos ya envían agua directa a la red de distribución, siendo los Pozos San Miguel II, San Miguel IV, San Antonio, ESNACIFOR y San Francisco. De todos estos, el Pozo San Antonio distribuye a una pequeña parte del Barrio San Antonio. El resto de pozos tienen una distribución según se indica en la Imagen 2.51.

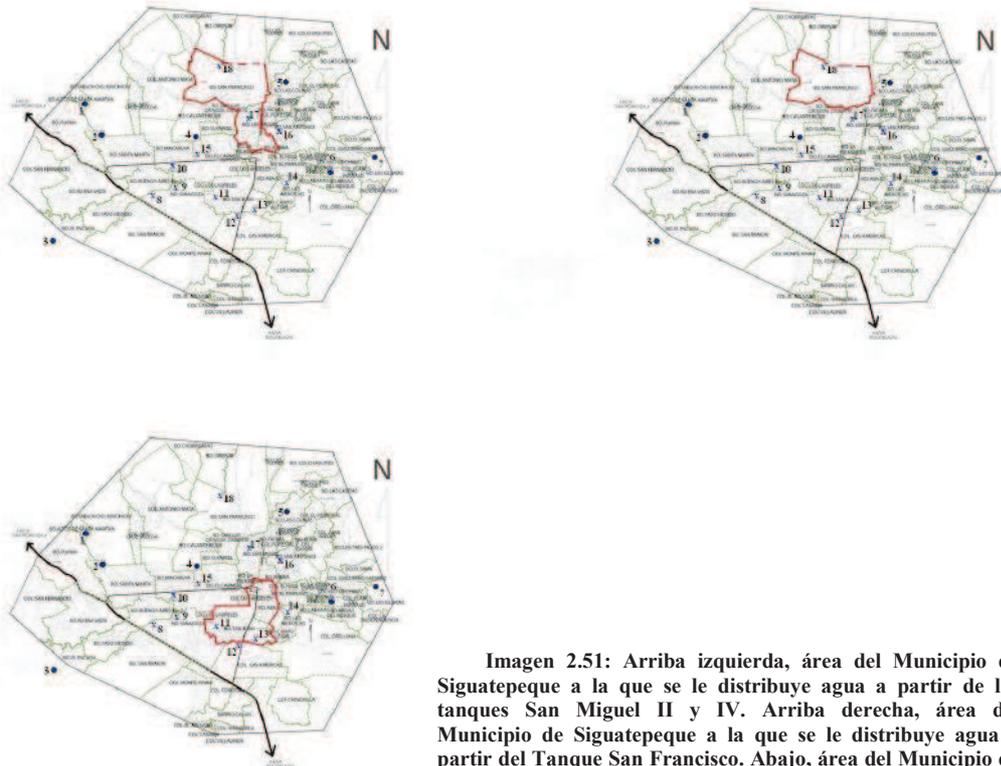


Imagen 2.51: Arriba izquierda, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir de los tanques San Miguel II y IV. Arriba derecha, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque San Francisco. Abajo, área del Municipio de Siguatepeque a la que se le distribuye agua a partir del Tanque ESNACIFOR.

Existe una amplia explicación de las características de estos sectores en Rodríguez, A. 2007, donde explica las características de las distintas líneas de conducción. Para tener una mayor visualización, en el apéndice 5 se muestra un cuadro con la distribución de las distintas fuentes de agua a los distintos barrios de Siguatepeque.

Conociendo esta red de distribución y cómo está estructurada, se pasará a comentar los resultados del análisis de calidad de agua para cada uno de los grandes sectores que se acaban de describir.

2.7.3 Sector de Calan

En los apartados 2.5.4 y 2.5.5 se observó que la calidad de agua en la Microcuenca de Calan presenta problemas de calidad fisicoquímica y bacteriológica.

Estos problemas desaparecen cuando se pasa por la planta de tratamiento Jaime Rosenthal Oliva (Imagen 50 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5).

El agua directa del Tanque Calan llega al Barrio San Juan, y cuando se estaba enviando al mismo se realizaron análisis de agua en las antiguas instalaciones del SANAA. Se pudo observar cómo la calidad bacteriológica del agua era mala cuando no se realizaban labores en la planta Jaime Rosenthal Oliva, pero que esta mejoraba en gran medida cuando sí se ponía en funcionamiento (imagen 4 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5).

Parte del agua de este sector se envía a dos tanques de almacenamiento, el Tanque de Calanterique y el Tanque de Santa Martha. Se analizó la calidad

bacteriológica de agua en los mismos y se observó que no existe ningún tipo de contaminación (Imagen 4 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5).

Por tanto, sólo hacía falta verificar la calidad de agua en la red de distribución.

Para la salida de agua del Tanque Calanterique se observa lo siguiente.

el tanque está libre de contaminación y buena parte de los sectores que reciben agua de éste también están libres de ella.

En algunas ocasiones, como el caso del Barrio El Centro, o barrio San Miguel aparecen contaminantes que pueden deberse a motivos externos al acueducto en estos sectores, pero debe verificarse esta hipótesis. En otros casos, como son los del Barrio El Carmen y Barrio San Luís de Aguas Calientes, se muestra una importante contaminación la cual es absolutamente necesario buscar la fuente y eliminarla. Con la salvedad de que existe sólo una única muestra para cada barrio, lo cual impide extraer conclusiones de si el foco está en la red o en los puntos de muestreo.

En términos generales, el agua suministrada desde el tanque Calanterique es de buena calidad, salvo en algunos sectores de la red que habrá que controlar.

Además, se muestran varios análisis en un mismo punto pero en distintas fechas y se observan resultados dispares, tal como el mostrado en el Barrio La Primavera. (Imagen 6 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5). Ello puede ser indicativo de que no se está clorando de un modo continuo, o que sólo se hace cuando la planta está funcionando, algo que debe evitarse, pues la coloración se puede hacer de modo manual. Tampoco puede descartarse la posibilidad de que el foco de contaminación estuviese en el punto de muestreo.

Para la salida de agua del Tanque Santa Martha se observa lo siguiente.

Hemos podido observar cómo los distintos sectores que reciben agua de este tanque se encuentran libres de contaminación, lo que indica una serie de sectores que no presentan focos dentro de ellos. Cabe sólo recordar la presencia de coliformes totales en un análisis realizado en el Barrio Santa Martha, los cuales aún quedan dentro de la norma, pero que debería ser vigilado. Otra curiosidad es la observada en el Barrio El Carmen, el cual da libre de contaminación por el contrario del análisis realizado en el mismo barrio, pero recibiendo agua del Tanque Calanterique, que salió con contaminación bacteriológica, algo que deberá ser verificado y contrastado con nuevos análisis.

En términos generales, estos sectores del acueducto presentan una calidad buena y no requieren vigilancia, pero sí control.

2.7.4 Sector de Guaratoro

Anteriormente, en el apartado 2.5.3 se pudo comprobar como la calidad de agua en la Microcuenca de Guaratoro es verdaderamente mala, ya que se presenta una gran cantidad de contaminación bacteriológica y fisicoquímica, la cual se ha detallado en este apartado anterior.

Ante la situación de calidad que se da en la microcuenca, se decidió monitorear la misma en la planta para ver si la contaminación era completamente eliminada, y se pudo

demostrar que así se hacía, tal como ya se ha visto. Por tanto, sólo faltaba controlar la calidad de agua en el sector del acueducto que recibe agua del Tanque de Guaratoro.

Y se ha podido observar cómo los sectores que reciben agua de este tanque tampoco presentan contaminación (Imagen 25 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5). Aunque los análisis se realizaron en el Barrio El Parnazo y el Barrio San Antonio, los cuales reciben agua también de los pozos La Curtiembre y San Antonio respectivamente, por lo que haría falta verificar si no hay interferencia entre ambas aguas a la hora de realizar los análisis.

El sector de Guaratoro envía agua también al Tanque El Parnazo, por lo que habrá que verificar la calidad del mismo, tanque que también recibe agua de el Pozo La Curtiembre.

Vemos cómo en una muestra del tanque realizada el 25 de Octubre nos muestra la presencia de dos colonias de coliformes totales, algo aparentemente preocupante (Imagen 26 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5). Pero el resto de análisis realizados muestran la inexistencia de bacterias en la red de distribución para este tanque, en todos sus sectores. Además de ello, está la existencia de un antecedente, que es el análisis realizado por Geólogos del Mundo en Enero de 2009 en agua de este mismo tanque, indicando que no existe contaminación por bacterias en el mismo (Imágenes 27 a 30 del informe de calidad de agua incluido en Apéndice 5).

Por tanto, la presencia de estas dos colonias de coliformes totales puede deberse a un caso puntual, debido a varias causas posibles, pero en términos generales, el agua servida por este tanque es de buena calidad bacteriológica.

2.7.5 Sector de Chamalucara

De todas las fuentes de agua superficial, esta es la que menos agua aporta al acueducto, pero la que mayor problemática presenta, ya que el agua se lleva directo desde la fuente de agua hasta los tanques de almacenamiento sin pasar por planta de tratamiento. Y como se verá, repercutirá en gran medida en la calidad de agua servida en este sector.

En el apartado 2.5.2 se pudo ver como existen importantes focos de contaminación bacteriológica en la microcuenca al hacer un mal uso de la misma. Y aunque no se ha podido estudiar la calidad fisicoquímica, la presencia de cultivos en la microcuenca, y la tónica de encontrar contaminación de nitratos asociada a cultivos en otras microcuencas, nos hace pensar que pueda existir la misma relación en Chamalucara. Es decir, que el agua que llega a los tanques es de mala calidad; al contrario de lo que ocurría en las otras microcuencas utilizadas.

Y afecta en gran medida a los procesos de cloración en los tanques, ya que la cloración, cuando existe una alta turbiedad en el agua no actúa de modo eficiente.

Así, a medida que se hacen análisis los resultados son completamente dispares, así al comparar los análisis realizados en ambos tanques de almacenamiento (Imagen 32 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5) se puede ver que la cloración es

efectiva en un tanque no apareciendo contaminación por bacterias, mientras que en el otro aparecen 52 colonias de coliformes totales. Si uno observa el resto de análisis en la red de distribución (Imágenes 33 a 36 32 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5) verá resultados tan dispares como poco contenido en coliformes en algunos análisis a pasar a tener incontables colonias en otros.

Todo ello nos muestra que este sector del acueducto se encuentra en unas condiciones muy malas debido a que no existe tratamiento del agua en planta, sino que se sirve casi cruda. Por tanto es completamente recomendable la construcción de una planta de tratamiento para esta agua y mantener la constante vigilancia en los procesos de cloración en ambos tanques monitoreándola seguidamente para garantizar la mayor calidad posible a los usuarios que reciben agua de esta toma.

2.7.6 Sector del Pozo ESNACIFOR

El Pozo ESNACIFOR bombeaba agua al Barrio Abajo y Barrio San Juan como apoyo al agua recibida por los tanques Calanterique, El Parnazo y Calan. Pero tras realizar el aforo del pozo pudimos comprobar, en el análisis de agua realizado que salía con contaminación por coliformes totales (Imagen 19 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5) y otros análisis realizados por Aguas de Siguatepeque demostraron que la contaminación que aporta este pozo es aun mayor.

Para comprobar la influencia de la calidad de agua de este pozo se compararon dos análisis del mismo punto, uno de ellos con agua recibida de los tanques de Calan y El Parnazo y salió libre de contaminantes. Pero cuando se realizó el mismo análisis de agua en el mismo punto con agua proveniente del Pozo ESNACIFOR y el Tanque El Parnazo, el agua salió con fuerte contaminación.

Por este mismo motivo se decidió dejar de utilizar el Pozo ESNACIFOR. Hasta no implantar un sistema de cloración en el pozo que garantice la inyección de agua libre de contaminantes a la red, no se deberá reanudar su utilización.

Este puede ser un claro ejemplo de la conexión que existe entre el agua superficial y el agua subterránea. En el apartado 2.4.3 se hacía mención a la componente fracturada que tiene el acuífero de Siguatepeque. El Pozo ESNACIFOR se encuentra contiguo al Río Celan, que es probable que circule a favor de fracturas, y este presenta una altísima contaminación al ser prácticamente el vertedero de aguas negras de Siguatepeque. Este acto puede hacer posible que por efectos del bombeo el río se vuelva efluente y vierta aguas al pozo con sus correspondientes contaminantes. El Pozo Zaragoza también está situado en las cercanías de este río y también salió con contaminación en los análisis realizados en este estudio.

2.7.7 Sector de los Pozos San Miguel II y IV

Una buena parte del casco urbano de Siguatepeque recibe agua de estos dos pozos. Los barrios San Miguel y parte de San Francisco se abastecen del agua que dan estos dos pozos, de los cuales se estudió a fondo el Pozo San Miguel IV y por motivos técnicos se consideró imposible estudiar el Pozo San Miguel II.

Los análisis realizados en esta agua por Aguas de Siguatepeque mostraron que la calidad de la misma no es nada buena, sino que presenta contaminación por coliformes totales y fecales en la red.

Aunque el análisis de agua que se realizó en el Pozo San Miguel II como monitoreo general del acueducto (Anexo I del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5) dio que no presenta contaminación, cuando se monitorea la red de distribución se observa todo lo contrario.

Existen fuertes focos de contaminación en la red, hasta tal punto que se detectan importantes colonias de coliformes fecales y totales (Imágenes 37 a 39 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5). Por ello se piensa que la contaminación pueda venir de los pozos, y que el resultado en el análisis realizado en el monitoreo sea algo puntual. Y es que existen importantes focos de entrada de contaminación a los pozos San Miguel II y IV. Al lado del Pozo San Miguel II pasa la Quebrada Guaratoro, que cuando esta cruza el sector urbano se encuentra fuertemente contaminada, al ser usada de vertedero de basuras o de heces fecales. Por ello puede haber una entrada de contaminantes debida a los procesos de bombeo, al igual que ocurría con el Pozo ESNACIFOR y el Río Celan.

Otro foco de entrada pueden ser las dos perforaciones de los Pozos San Miguel I y San Miguel III, los cuales se encuentran en el predio del Pozo San Miguel IV, y no se encuentran debidamente sellados, con el inconveniente de que hay tránsito de animales domésticos dentro de este predio.

Por tanto, los focos de contaminación es posible que sean dos, la Quebrada Guaratoro y los Pozos San Miguel I y III. De todos modos, es absolutamente necesario el monitorear bien estos dos pozos para ver qué calidad de agua están dando, y poder contrastar esta hipótesis lanzada sobre los posibles focos de contaminación.

2.7.8 Sector del Pozo San Francisco

Sólo un barrio del casco urbano de Siguatepeque recibe agua de este pozo. Es el Barrio San Francisco. La calidad de agua de este pozo salió con presencia de coliformes totales en un análisis realizado por la Empresa Aguas de Siguatepeque, aunque antecedentes de análisis en el mismo nos mostraron que no se contaba con contaminación bacteriológica. (Imagen 44 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5).

La imagen 45 del informe de calidad de agua incluido en el Apéndice 5 nos muestra la presencia de colonias de coliformes totales en las muestras de agua, que aunque están dentro de la normativa de agua hondureña, pueden deberse a la presencia de contaminación de agua en el pozo.

Es por tanto absolutamente necesaria la instalación de un sistema de cloro gas en este pozo, o en uno próximo a perforarse, para garantizar la calidad de agua en el sistema de abastecimiento, y así verificar si la presencia de contaminación en la red es debida al pozo.

2.7.9 Conclusiones para la calidad de agua

Hemos observado como existe una gran variabilidad de calidad dentro del acueducto. Y es que existen importantes focos de contaminación primaria dentro del mismo. La entrada de contaminantes por el sector de Chamalucuará, así como la entrada en el Pozo ESNACIFOR y en el Pozo Zaragoza es necesario tenerla en consideración, ya que bajan bastante la calidad de agua servida por la Empresa Aguas de Siguatepeque. Por otro lado, el agua que proviene de las plantas de tratamiento, así como de pozos bien limpios nos muestra claramente que el agua servida es apta para consumo, salvo casos puntuales que se pueden deber a procesos de cloración ineficientes o falta de funcionamiento de plantas de tratamiento por avería.

Por lo tanto, se puede concluir que el agua servida por Aguas de Siguatepeque tiene una calidad media, con grandes sectores con buena calidad, salvo excepciones, pero otros sectores con una calidad muy deficiente.

Con lo mismo se puede recomendar la instalación inmediata de sistemas de cloro gas en los pozos en explotación, así como un control exhaustivo de la calidad de agua en los tanques, y tomar medidas de precaución excepcionales cuando alguna de las plantas de tratamiento deje de funcionar por las causas que sean.

Por otro lado, se debería plantear la construcción de una nueva planta de tratamiento para el agua de Chamalucuará, la cual llega cruda a los usuarios.

Con todas estas medidas se conseguirá una calidad de agua óptima en todo el Acueducto de Siguatepeque.

2.8 CONCLUSIONES TÉCNICAS

Desde el inicio del proyecto se ha trabajado fuertemente en la gestión del agua municipal realizando una asesoría técnica que ha evaluado varios aspectos del agua. Estado del acuífero, estado de fuentes de agua superficial y calidad de agua. Así como también equipar con una estación meteorológica al municipio.

De hecho, esta estación puede ser muy útil para la evaluación de tiempos de respuesta de distintas microcuencas municipales. Ver el tiempo que existe entre un pico máximo de precipitación con un pico máximo de caudal en la salida de una microcuenca, o una toma de agua superficial, lo que puede servir para control de inundaciones, o para gestionar mejor las paradas de las plantas de tratamiento por exceso de turbidez.

Ya se ha visto que el agua subterránea del municipio presenta dos facetas distintas. El acuífero superficial presenta una excesiva contaminación, lo que lo hace completamente inutilizable, salvo excepciones y hace que con urgencia se deban tomar medidas, ya que muchos pozos ubicados en este acuífero están siendo usados de letrinas, basureros o incluso peores usos.

Por otro lado, el agua del acuífero inferior ha mostrado buena calidad, con el problema de ser un acuífero poco productivo al mostrar bajas transmisividades. Por ello, sería recomendable perforar en zonas que se suponen buen productoras, como son zonas

cercanas a quebradas, al circular estas probablemente por fracturas o en la zona de descarga situado en el curso del Río Selguapa.

Para el agua superficial, las microcuencas usadas ya están casi al 100 % de su utilización, las cuales presentan problemáticas de calidad debido a cultivos y asentamientos humanos, y algunas problemáticas estructurales, como fallas en la estabilidad de las presas. Por ello, se han localizado posibles fuentes de abastecimiento superficial, como puede ser la microcuenca de El Rincón, la cual tiene cantidad de agua suficiente como para justificar un abastecimiento a partir de la misma.

La calidad de agua ya se ha comentado que es media debido a problemas primarios en las fuentes de abastecimiento, y con algunas excepciones en procesos de falla en la cloración por mal funcionamiento de las plantas de tratamiento o posible descuido en los procesos de cloración manual.

Con todo ello, se garantiza el agua para el municipio a corto plazo, ya que gracias a este estudio se ha mejorado el rendimiento del acuífero, y los pozos se están usando de un modo más eficiente. Pero el ritmo de crecimiento de la población en el municipio hace que poco a poco vayan apareciendo problemas en el abastecimiento, tal como se está mostrando en el sector de San Antonio. Por ello, es necesario trabajar de un modo rápido en la obtención de nuevas fuentes de abastecimiento de agua superficial, y explotar mejor el acuífero.

Capítulo 3: Promoción social

3.1 INTRODUCCIÓN

Durante todo el desarrollo del proyecto se realizaron varias actividades de promoción social, desarrolladas por nuestro promotor social. Por ello, la parte dedicada a este capítulo ha sido desarrollada por Noé Mercado y se incluye en el apéndice 6 de un modo completo.

Bibliografía

- Ardón Mejía, M., 2005: *El agua como derecho humano y efectos de la privatización en Honduras*. 82 pp.
- Boletín Oficial Del Estado, 2003: *BOE N° 169 de fecha 16 de julio de 2006*.
- Chavarría Oseguera, A., 2007: *Determinación y análisis de las aguas subterráneas en el casco urbano del municipio de Siguatepeque, Comayagua, Honduras*. Tesis de Grado, ESNACIFOR, 118 pp.
- Curran, D. W., 1980: *Geology of the Siguatepeque quadrangle Honduras. Central America*. M.S. Thesis, State University of New York (Sunny). Binghamton 194 pp.
- Curran, D. W., 1981: *Mapa Geológico de Honduras, Hoja de Siguatepeque escala 1:50.000*. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa.
- Escobar Figueroa, J. J., et. al., 2008: *Evaluación de la amenaza sísmica en Honduras*., Proyecto RESIS II. 59 pp.
- Escoto, X., Telma, N., Arita, J. E., (2001): *Diagnóstico general de las cuencas hidrográficas del Municipio de Siguatepeque, Comayagua*. Proyecto de Desarrollo Forestal. ESNACIFOR-USAID.
- Dirección General de Biodiversidad SERNA, 2000: *Primer informe nacional sobre la implementación de la convención de desertificación en Honduras*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. 97 pp.
- Rodríguez, A., 2007: *Diagnóstico de Agua Potable Siguatepeque*. Banco Mundial. 139 pp.
- Mastin, C. M., 2002: *Flood-Hazard mapping in Honduras in response to Hurricane Mitch*. USGS. 45 pp.
- Municipalidad de Siguatepeque, 2009: *Convenio para la administración y manejo de la Microcuenca de Chamalucuará*.
- Murillo Álvarez, M., 2009: *Ayuda a barrios marginales sin recursos de la Municipalidad de Siguatepeque para solucionar los problemas de agua y saneamiento*. Geólogos del Mundo.
- Perdigón Velázquez, V., 2008: *Abastecimiento público de agua potable a la Colonia Noé Cruz Villeda, Siguatepeque, Honduras*. Geólogos del Mundo. 33 pp.
- Perdigón Velázquez, V., 2008: *Agua y saneamiento para la comunidad de Buenas Casas y Barrio El Pedregal, Siguatepeque, Honduras*. Geólogos del Mundo. 29. pp.
- Rivera, S., (2000): *Estrategia del manejo integrado de cuencas hidrográficas en Honduras: Una propuesta de desarrollo sostenible*. Proyecto de Desarrollo Forestal. ESNACIFOR-USAID.

- Rogers, R. D. (Ed.), 2003: *Jurassic-Recent tectonic and stratigraphic history of the Chortis block of Honduras and Nicaragua (northern Central America)*, Versión web.
- Secretaría de Gobernación y Justicia Honduras (2009): *Ley Marco de agua*

Webs consultadas

http://geology.csustan.edu/rrogers/Rogers2003/Rogers2003.htm#_Toc56326597

http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2009/eq_090528_heak/neic_heak_1.html

<http://www.viajes.es/america/honduras/>

http://www.zonu.com/mapas_honduras/Mapa_Departamento_Comayagua_Honduras.htm

APENDICE 1

PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ESNACIFOR

Introducción

En la gestión del agua de un municipio, una cuenca, o alguna entidad superior, se deben tener en cuenta todos los parámetros que condicionan la cantidad y calidad del agua, desde el momento en que esta se forma, hasta el momento en que cae por el grifo de un usuario. Por ello es de vital importancia el disponer de instrumental que te permita conocer la meteorología en la zona, y en base a ello, poder hacer predicciones futuras que, basándose en los registros meteorológicos, permitan anticipar la cantidad de agua de la que se pueda disponer.

Con buenas series climáticas, uno puede comprender para una zona determinada, como es la evaporación, la precipitación, dirección e intensidad del viento, horas de insolación, etc. interrelacionar todos los parámetros y poder predecir la cantidad de lluvia que pueda haber, y cuando estas se podrán presentar. Estos datos ayudan sobremanera a una gestión correcta del agua en un municipio, desde horas de agua que se pueden dar a los usuarios, hasta la proyección de nuevas obras de captación de agua.

Por ello, desde Geólogos del Mundo, y dentro del marco del proyecto “*Gestión integral del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable en el Municipio de Siguatepeque, Departamento de Comayagua, Honduras*” hemos visto que es importante que el municipio cuente con una estación meteorológica para una completa gestión del agua, y más contando con que en ESNACIFOR hay personal suficientemente calificado para tratar datos meteorológicos.

Antecedentes

La estación Meteorológica de ESNACIFOR fue construida entre los años 1968-1969 con fines investigativos y educativos por la naciente ESNACIFOR.

Después de casi 40 años de funcionar y ser una importante herramienta de consulta tanto para investigadores, estudiantes, consultores y público en general, la estación se encuentra en una situación deficitaria para seguir ejerciendo su función con la credibilidad que se necesita.

Diversos aparatos e instrumentos que miden variables ambientales han sido saqueados, dañados o destruidos por la negligencia de todos a lo largo de los años y si la situación sigue de la forma en que se está manejando actualmente este laboratorio de suministro permanente de datos deberá ser cerrado.

El viernes 26 de septiembre de 2008 procedimos a visitar la estación meteorológica con la que cuenta la Escuela Nacional de Ciencias Forestales junto con el Ingeniero Rolando Meza.

En dicha visita pudimos constatar que el estado en el que se encuentra es de semiabandono, estando de modo funcional sólo parte de algunos instrumentales, los cuales no se encuentran en óptimas condiciones.

Disponían de un pluviógrafo inoperativo debido a la ausencia de rollo de papel y al mal estado en el que se encuentra. Contaban con un pluviógrafo digital el cual aparentemente funciona.



Imagen 1: Izquierda: estado en el que se encontraba el pluviógrafo. Centro: Brazos de sujeción de los geotermómetros y su caja de protección. Derecha: Pluviógrafo digital.

Otros instrumentales, como los geotermómetros directamente no están, encontrándose únicamente los brazos de sujeción de éstos en un claro estado de oxidación.

La caja de protección del higrómetro estaba en un estado de deterioro muy importante. El heliógrafo tampoco estaba operativo y el evaporímetro se encontraba en mal estado.

Únicamente se contaban con dos pluviómetros y dos anemómetros que aparentemente funcionaban en buenas condiciones.

Además de estas carencias, debido al crecimiento poblacional de Siguatepeque, y al propio crecimiento de la escuela, la estación se encontraba en una ubicación inadecuada. Así, se encontraba rodeada de árboles, los cuales entorpecen el viento, y los datos recogidos por los anemómetros no eran fiables. Otro problema con el que contaban es que existe un aparcamiento de vehículos y autobuses cercano a la anterior ubicación de la estación, por lo que estos también influían de modo considerable en las corrientes de aire.



Imagen 2: Situación del aparcamiento de autobuses en una situación cercana a la estación.

Por todo ello, se decidió reubicar la estación meteorológica, y además, dotarla de nuevo instrumental que permita la recogida de datos fiables.

Reubicación de la estación

Criterios de reubicación

Como se ha comentado con anterioridad, la estación meteorológica actual no está en las condiciones óptimas de ubicación debido a varios factores. A la hora de ubicar una estación meteorológica debe hacerse con criterio para garantizar su funcionalidad; dichos criterios se mencionan a continuación.

- 1) Es vital que el emplazamiento de la estación sea en un lugar donde los datos climáticos tomados sean representativos para la zona de estudio. Hay varios parámetros que influyen en esta representatividad que se enumerarán a continuación.
- 2) Es importante ubicar la estación en un lugar que tenga fácil acceso tanto para la construcción de la misma, como para la toma de datos por parte del operador.
- 3) La estación meteorológica debe presentarse de modo transversal a los vientos dominantes y un tamaño de aproximadamente 6x9 metros. En este caso, la orientación deberá ser de unos 20 grados al este. Además, el terreno debe estar completamente llano para evitar encharcamientos dentro de la estación u otros problemas con las lluvias. El suelo debe de ser de hierba baja y no de material impermeable. El recinto en el que se encuentre la estación deberá estar debidamente vallado para impedir el acceso a personal no autorizado y tampoco a animales.
- 4) El relieve debe de ser lo más llano posible, así la estación no podrá estar próxima a grandes terraplenes o acantilados, importantes elevaciones o depresiones topográficas, etc.
- 5) La estación meteorológica debe estar localizada fuera del área de influencia de obstáculos naturales o artificiales. Nos estamos refiriendo a la presencia de árboles o edificios, los cuales deberán distar de la estación una distancia que no sea menor de 10 veces su altura. La presencia de estos obstáculos repercute en gran medida en la dirección e intensidad del viento.
- 6) La vegetación que rodea la estación debe de ser autóctona, en un radio de 50 metros como mínimo, siempre que no entre en conflicto con el parámetro anterior, ya que el tipo de vegetación está ligado a determinadas variables climáticas. El introducir vegetación exótica daría resultados no representativos para la zona.
- 7) Se debe contar con instalaciones cercanas a la estación para el tratamiento de los datos. Además, debe haber en la estación instalaciones que faciliten el acceso a corriente eléctrica para el suministro de energía de aparatos.

Todo instrumental debe se de color blanco o estar pintado de este color, así como el cercado, ya que este color evita absorciones importantes de radiación solar. Además de ello, algunos instrumentales deben ir protegidos por una caja de abrigo de madera, la cual debe cumplir unas condiciones idóneas de ventilación para evitar generar corrientes de aire internas o estancamiento de aire. Esta caja de abrigo también deberá ir de color blanco.

Procesos de elección para el nuevo emplazamiento de la estación meteorológica

Desde un principio, se propusieron tres posibles emplazamientos para la futura estación meteorológica. Estos emplazamientos son los siguientes:

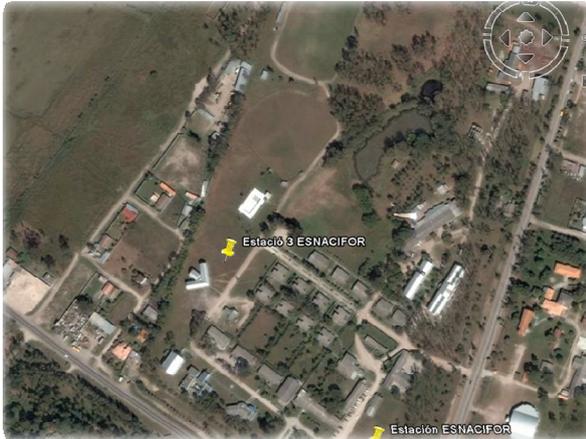


Imagen 3: Ubicación en foto de satélite para la primera opción de reubicación de la estación meteorológica.

Primera opción: Situar la estación entre los pabellones Encinos y Ceibos y el pabellón de habitaciones femenino. (Estación 3 ESNACIFOR en la figura de arriba. Esta localización cuenta con buenas ventajas, ya que es un lugar abierto, libre de árboles, lejos de fuentes de agua y sin caminos ni circulación de

vehículos próxima. Otra buena ventaja es que estaría ubicada dentro de la escuela ESNACIFOR, por lo que el tratado de los datos se haría en un lugar muy cercano a la estación, hasta tal punto que el instrumental inalámbrico recibiría la señal directa en el laboratorio. Cuenta con una pequeña desventaja, y es que el pabellón de habitaciones femenino (edificio en forma de flecha situado un poco al sur del emplazamiento de la estación) no cumple con la normativa de alejamiento de edificios. Éste tiene una altura máxima de unos 4 metros, pero estará separado unos 30 metros de la posible estación, no cumpliéndose los 40 metros reglamentarios. Otro pequeño inconveniente es que la ciudad de Siguatepeque puede crecer en los alrededores de la estación, lo cual podría perjudicar a la estación en un futuro, que se prevee algo lejano aún.



Imagen 4: Ubicación en foto de satélite para la segunda opción de reubicación de la estación meteorológica.

Segunda opción: Situar la estación en el Parque Experimental San Juan. Este lugar tiene como punto bueno la excasa presencia de personas y estar alejado de cualquier actividad urbana, así

como de su posible crecimiento. Además, no hay proximidad de fuentes de agua. Pero cuenta con un importante problema. Es el estar situado en un punto de investigación forestal, por lo que los cultivos no serán autóctonos de la zona, así como la presencia de un posible crecimiento forestal lo que podrá repercutir en la estación en un futuro próximo. Otro punto en contra es que éste es un punto bastante alejado, y con poca iluminación, por lo que podría sufrir actos de vandalismo con facilidad que diesen lugar al desperfecto o al robo del instrumental de medida.

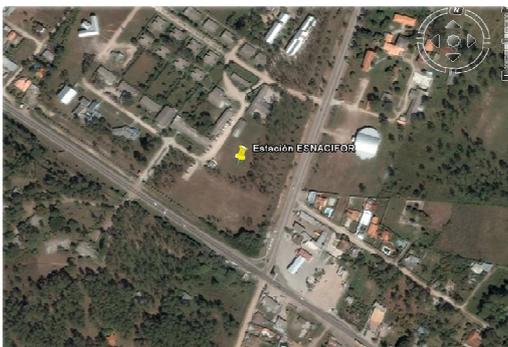


Imagen 5: Ubicación en foto de satélite para la tercera opción de reubicación de la estación meteorológica.

Tercera opción: Desplazar la estación 30 metros hacia el sur de su ubicación actual. Además de ello, se talarían los eucaliptos que hay cercanos a ella. Esta ubicación cuenta con varios problemas. El primero de ellos es que posee un camino de tierra con fuerte tránsito de vehículos que podrían repercutir en las medidas. Además, cerca pasa la carretera pavimentada que da entrada al municipio con el crecimiento este se hará cada vez una vía más transitada. Además, si la escuela crece, el aparcamiento que hay al lado de la actual estación también crecerá, y es probable que en corto tiempo nos encontremos con una situación similar a la anterior.

Aún con todo, el emplazamiento de la estación se sometió a votación entre varios profesores de la escuela (Documento adjunto 1), mostrándoles las tres posibles ubicaciones, y que ellos decidieran cual sería la mejor. La votación se realizó por medio de una encuesta donde cada votante elegía la que mejor le parecía y éste explicaba el porque de su elección (Ver Documento adjunto 1).

En general, la mayoría de la gente se ha inclinado por la primera opción, al considerar que era la que más ventajas tenía. Aunque, el Ing. Omar Fonseca escribía lo siguiente proponiendo una nueva ubicación.

*En mi opinión, creo que el sitio más adecuado es el que está por la cancha de Baseball *(Ver el mapa de arriba), ya que es un área bastante grande y despejada, sin árboles muy cerca, ni edificios. Lo que tendrán que hacer es un acceso permanente y que sea seguro, para que no entre cualquier persona y pueda dañar los instrumentos.*

* Se está refiriendo a una posición ligeramente más al norte de la primera opción. El campo de baseball está situado al norte de la piscina que se ve en la imagen de la primera opción

Con todas las encuestas entregadas, se decidió situar la estación en la opción primera, ya que fue la que más votos recibió.

Construcción del predio de la estación



Imagen 6: Proceso de delimitación y orientación del predio en el cual irá la próxima estación meteorológica.

A principios del mes de febrero del año 2009 se comenzaron las obras para el nuevo emplazamiento de la estación meteorológica. Por las condiciones de los vientos dominantes en la zona, esta estación debe colocarse con una orientación de 20 grados al este, por lo que para delimitar el predio de la misma se utilizó material topográfico de precisión, marcándose con este las cuatro esquinas del recinto y dándole unas dimensiones de 7,4 metros de lado.

Las labores continuaron con la excavación de una zanja perimetral de 40 cm de profundidad la cual se fundió con cemento y varillas para continuar con el levantamiento de una base de dos filas de bloque para dar sustento a la maya perimetral.

Esta maya se sujetó al bloque por medio de 7 columnas de tubo de hierro negro de 2 pulgadas y cuatro columnas de hierro galvanizado de 2 pulgadas para dar mayor resistencia. La maya que se puso fue de $\frac{3}{4}$ de pulgada de sección para que fuese lo más resistente posible.

Finalmente, se puso una puerta de hierro galvanizado de 2 pulgadas y maya de $\frac{3}{4}$ de un tamaño de 1,5 metros de ancho en el flanco este de la estación.

Todo el conjunto (bloque más maya) tiene una altura de 1,6 metros aproximadamente.

Para facilitar el acceso a la estación se construyó un camino de cemento desde una pista cercana el cual se adornó con flores para darle una mayor vistosidad.

Finalmente, el instrumental meteorológico de la antigua estación que aún podía usarse fue llevado hasta el nuevo emplazamiento y fue pintado de color blanco.



Imagen 7: Arriba. Proceso de excavación de la zanja perimetral y fundido con cemento y varilla de hierro. Abajo. Instalación de las dos filas de bloque con la maya y los tubos de hierro. A la derecha se puede ver la puerta y el camino que da acceso a la estación.

Finalmente, la estación fue terminada con la construcción de una nueva caja de madera para la colocación del higrómetro, ya que la actual estaba en condiciones bastante malas.

Elección del nuevo instrumental a adquirir

Para adquirir nuevo instrumental para la estación, el Ing. Jorge Rolando Meza Palma realizó una serie de cotizaciones a diversos proveedores. Además, se realizó un viaje a Tegucigalpa para entrevistarnos con un proveedor así como para realizar una consulta en el Departamento de Recursos Hídricos de Honduras de quienes eran sus proveedores y cómo funcionaban sus materiales; todo ello, para elegir la mejor opción de todas las que hubiese.

En el criterio de elección se ha tenido en cuenta la opinión de otras instituciones, la calidad del material ofertado y el precio de esta.

Recibimos tres ofertas distintas (Documento adjunto 2):

La primera de ellas fue de Importadora de Equipo de Precisión, S.A. IMEPRE. Esta cotización nos llegaba desde Guatemala por recomendación del Departamento de Recursos Hídricos de Honduras. De esta primera cotizadora no conseguimos datos técnicos del instrumental, por lo que no podíamos conocer su precisión, ni tampoco su rango de medidas. Además de ello, contaba con un precio total de 77.815 Quetzales (aprox. \$9.650), bastante más elevado que las otras ofertas, y además, había que ir a buscarlo a Guatemala, ya que no distribuían fuera del país. Por todo ello decidimos prescindir de esta oferta.

La segunda oferta llegaba de Representaciones Handals S. de R.L. En ella se nos ofrecía un instrumental que de las dos opciones presentaba un menor rango de medidas y menor precisión. Además de ello, algunos instrumentos se vendían a parte, por lo que habría que adquirir la “*Solar-Powered wireless weather station with Extended life battery*” junto con “*Computer Interface for Wireless Weather Station*” y el trípode para la misma por un lado. A parte de ello, para la medición de temperaturas habría que adquirir el “*Oakton ® Barometer with Digital Thermometer*”. Todo ello adquiere un precio total de 63.232 Lps (\$3.346), siendo atractivo el precio.

Finalmente, la tercera opción llegaba de La casa del Ingeniero. El instrumental ofertado mostraba la mayor precisión de medidas en la mayoría de parámetros, así como un amplio rango de medidas. Todo ello incluido dentro de un único aparato, excepto el barómetro de alta precisión. Todo ello, incluido al precio final de la oferta 61.070 Lps. (\$3.232), así como el transporte del instrumental hasta la escuela, hizo que nos inclinásemos por esta última opción para adquirir el instrumental.

Otra ventaja es que al aparato obtenido se le pueden acoplar otros medidores que se quieran adquirir en un futuro.

Decisión de nombramiento de la estación

Desde el principio del proyecto, se decidió que la estación meteorológica debía llevar un nombre identificativo, por lo que se barajaron varias opciones, opciones alusivas al Principado de Asturias o a Geólogos del Mundo.

Pero la opción dada por el Ingeniero Jorge Rolando Meza fue de suficiente peso para que unánimemente todos nos inclinásemos por su opción. Ésta fue, nombrar la estación con el nombre del meteorólogo hondureño Don Edgardo Zúniga Andrade, dando reconocimiento en vida a esta persona que a lo largo de toda su carrera profesional, estableció los distintos climas hondureños, trabajando con el ejército de Honduras, y con entidades norteamericanas en el estado de Illinois.

Para dicha decisión, se decidió formalizar un documento de reconocimiento a Don Edgardo que fue apoyado por toda la dirección de ESNACIFOR.

Inauguración

El 22 de agosto de 2009 se procedió a inaugurar la estación meteorológica D. Edgardo Zúniga Andrade. A dicha inauguración acudieron autoridades de ESNACIFOR, contando con su director y subdirector D. Asdrúbal Calderón y con D. Gabriel Barahona y Jorge Rolando Meza Palma y autoridades municipales, el alcalde D. Guillermo Martínez Suazo y el vicealcalde D. Roberto Antonio Leiva.

Por parte de ASIDE se contó con la presencia del Subdirector Juan Francisco Vásquez y con la de la administradora de Siguatepeque Rosa María Tróchez.

El equipo de Geólogos del Mundo estuvo formado por Francisco del Río Sánchez, Mario Murillo Álvarez, Víctor Benigno Mariño Pevida, Laura Sánchez Román y Noé Isaac Mercado Benítez.

Uno de los principales objetivos de la inauguración era el poder contar con D. Edgardo Zúniga Andrade, para lo cual, se gestionó entre Rolando y Francisco del Río la asistencia del mismo. Para lo mismo se acudió a Tegucigalpa a invitar personalmente a dicha personalidad. En la invitación se leyó los motivos por los cuales decidimos llamar la estación con su nombre, ante lo cual aceptó la denominación y el acudir a la inauguración.



Imagen 8: Izquierda. Distintas personalidades durante la inauguración de la estación meteorológica. Derecha. Placa de reconocimiento a Don Edgardo Zúniga Andrade.

La inauguración comenzó a las 10:30 a.m. y se contó con la presencia de medios de comunicación locales y nacionales, como canal 34 o Radio América los cuales cubrieron el evento, realizaron entrevistas y se interesaron por las utilidades de la nueva estación, así como poder disponer de los datos que esta está emitiendo.

Finalmente la inauguración terminó con un almuerzo para todos los invitados en ESNACIFOR.

DOCUMENTOS ADJUNTOS

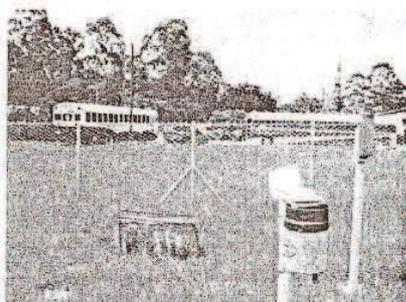
Documento adjunto 1: Encuesta sobre la ubicación de la estación meteorológica.

Encuesta sobre reubicación de estación

Listado de Personal Técnico

1	D.Ph.	Alexander Elvir	x	<i>[Handwritten signature]</i>
2	Ing.	Allan Bendeck		<i>[Handwritten signature]</i>
3	Ing.	Amílcar Salgado		<i>[Handwritten signature]</i>
4	Ing.	Cesar Alvarado		<i>[Handwritten signature]</i>
5	Ing.	Ciro Navarro		
6	Ing.	Fidel Alvarado		<i>[Handwritten signature]</i>
7	M.Sc.	Francisco Lopez		<i>[Handwritten signature]</i>
8	D.Ph.	Freddis Romero		<i>[Handwritten signature]</i>
9	Ing.	Heidy Vides		<i>[Handwritten signature]</i>
10	Ing.	Joaquin Sanchez	x	<i>[Handwritten signature]</i> 15/10/09
11	Ing.	Jorge Gomez		
12	Ing.	Jose Carias		<i>[Handwritten signature]</i>
13	Ing.	Jose Luis Montesinos	x	<i>[Handwritten signature]</i> 15/10/09
14	M.Sc.	Juan Flores		
15	Ing.	Luis Zepeda		<i>[Handwritten signature]</i>
16	Ing.	Marlon Medrano		<i>[Handwritten signature]</i>
17	Ing.	Marlon Medrano		<i>[Handwritten signature]</i>
18	M.Sc.	Nelson Doblado		
19	Ing.	Nelson Mejia	x	<i>[Handwritten signature]</i> 15/10/09
20	Ing.	Omar Fonseca		<i>[Handwritten signature]</i>
21	Ing.	Oscar Ferreira		<i>[Handwritten signature]</i>
22	M.Sc.	Oscar Leveron		<i>[Handwritten signature]</i>
23	M.Sc.	Rolando Meza		
24	Ing.	Sven Rodriguez	x	<i>[Handwritten signature]</i> 15/10/09
25	Ing.	Tomas Mendoza		
26	Ing.	Tomas Sanchez		<i>[Handwritten signature]</i>
27	Ing.	Zoila Avila		<i>[Handwritten signature]</i>

ENCUESTA RAPIDA A PERSONAL TECNICO DOCENTE



La ESNACIFOR pretende hacer una reingeniería en algunos laboratorios perteneciente a la institución y comenzamos con la Estación Meteorológica, que con la ayuda del Pueblo y Gobierno de España y específicamente con los **Geólogos del Mundo de Asturias**, este año la modernizaremos, la automatizaremos y la reubicaremos.

El crecimiento en infraestructuras y vegetación arbórea de la institución (nuevos edificios y parqueo, etc), y la nueva autopista, exigen reubicarla para que los datos que suministra sean de la confiabilidad que los investigadores, catedráticos, tesistas, alumnos de Esnacifor y público en general esperan.

Tenemos tres opciones y tú voto vale para definir donde será reinstalada.

Elige ya. (Basta dibujar una cruz u otra marca legible, si quieres puedes dejar algún comentario)

- 1) Desplazarla 30 metros hacia el SE de su posición actual hacia la zona cubierto de Eucaliptos (podrían ser removidos)



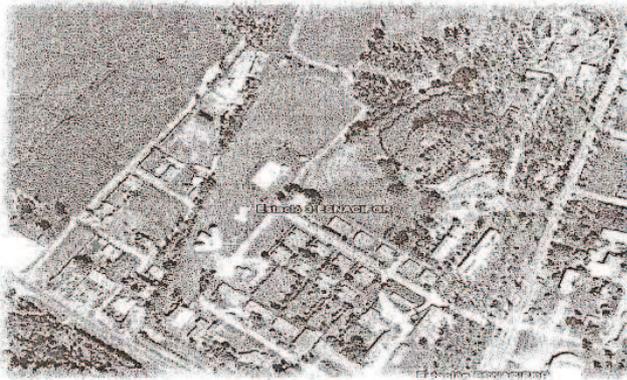
Comentario:

- 2) Reinstalarla en la Estación San Juan, en el bloque 7.



Comentario:

- 3) Reinstalarla entre edificio de damas y frente pabellón "Encinos".



Comentario:

- 4) Otra de acuerdo a las normas técnicas de instalación y funcionamiento.

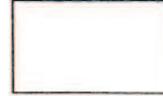
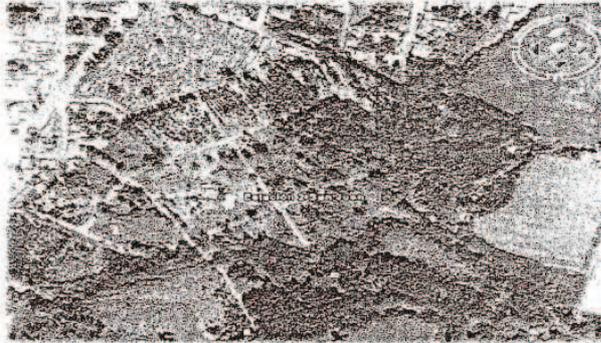
Próximamente se te estará comunicante los resultados de esta encuesta y el inicio de las obras respectivas.

Tu nombre _____

GRACIAS

Siguatpeque, Enero del 2009.

- 2) Reinstalarla en la Estación San Juan, en el bloque 7.



Comentario:

- 3) Reinstalarla entre edificio de damas y frente pabellón "Encinos".



Comentario:

- 4) Otra de acuerdo a las normas técnicas de instalación y funcionamiento.

En mi opinion, creo que el sitio mas adecuado es el que esta por la cancha de Béis Ball, (Ver el mapa de arriba) ya que es una area bastante grande y despejada, sin arboles muy cerca ni edificios, lo que tendrían que hacer, un acceso permanente y que sea segura, para que no entre cualquier persona y pueda dañar los instrumentos.

Próximamente se te estará comunicante los resultados de esta encuesta y el inicio de las obras respectivas.

Tu nombre

Amor Fonseca G.

GRACIAS

Siguatpeque, Enero del 2009.

Documento adjunto 2: Cotizaciones de materiales

10/02/2008 14:07 FAX 504 2372954

LA CASA DEL INGENIERO HN

001/001

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS
EQUIPOS Y SISTEMAS TOPOGRAFICOS



LA CASA DEL INGENIERO

Ave. Colón # 844
Cortado Norte Md. Nacional
Tel. 237-9370

Bd. Morazan, 3ro. Ave. Maspu No. 120
Fls. 4 C/P. Comercio Galería Maya
Tel. 239-9877

FAX: (504) 237-2954
Apartado Postal 491
Tegucigalpa, Honduras

DISTRIBUIDORES DE
EQUIPOS PARA INGENIEROS Y DIBUJO

SOKKIA

COTIZACION

Fecha : 2 de Octubre del 2008
Señores : ESNACIFOR
Atención: Ing. Rolando Meza
Tel./ Fax : 773-0300 / 0023/ 0698
Pago : Contado

Cantidad	Descripción	Precio C/U	Total Lps.
1	Estación meteorológica con las siguientes características: Consola Digital con energía solar con sensores remotos que da lecturas de: Temperatura, humedad, barómetro, sereno, lluvia, velocidad y dirección del viento (Anemómetro), predicción del tiempo, hora y fecha actual, radiación solar, alarmas,	57,150.00	57,150.00
1	Estación para temperatura, humedad de suelos. (Geotermómetros)	20,383.00	20,383.00
			77,533.00
		12% ISV	9,303.96
		TOTAL Lps.	86,836.96

LA CASA DEL INGENIERO, S.A.



Tegucigalpa / Honduras
Tel. 237-9300 - 239-9877
FAX: 237-2954
Ing. Emilio J. Bandoek
Gerente General

TECNOLOGIA EN SU AMBIENTE
SIRVIENDO MAS Y MEJOR... CON FE EN EL FUTURO DE HONDURAS

REPRESENTACIONES HANDALS S. DE R.L.

Barrio El Centro, Ave. Colón, Edificio Joyería Handal's, 2do. Piso
 Frente a BANHCAFE de Plaza Los Dolores
 Tegucigalpa, Honduras
 TEL: (504) 220-4700 FAX: (504) 220-5426

FACTURA PROFORMA no. 9005-L

Fecha: 17 de Febrero del 2009
Señores: ESNACIFOR
Attn: ING. ROLANDO MEZA

Item no.	QTY	Part No.	DESCRIPCION	Valor Unidad LPS	Valor Total LPS								
1	1	RZ-99755-04	Solar-Powered Wireless Weather Station with Extended Life Battery    Specifications <table border="1"> <tr> <td>Barometric pressure accuracy</td> <td>± 0.05" Hg (±1.69 mbar) ↓</td> </tr> <tr> <td>Wind speed range</td> <td>0 to 150 mph; 0 to 130 knots; 0 to 67 m/s; 0 to 240 km/hr ⇄</td> </tr> <tr> <td>Wind speed accuracy</td> <td>±2% of full scale ↑</td> </tr> <tr> <td>Wind chill range</td> <td>-127°F (-88°C) maximum ↑</td> </tr> </table>	Barometric pressure accuracy	± 0.05" Hg (±1.69 mbar) ↓	Wind speed range	0 to 150 mph; 0 to 130 knots; 0 to 67 m/s; 0 to 240 km/hr ⇄	Wind speed accuracy	±2% of full scale ↑	Wind chill range	-127°F (-88°C) maximum ↑	42,880.00	42,880.00
Barometric pressure accuracy	± 0.05" Hg (±1.69 mbar) ↓												
Wind speed range	0 to 150 mph; 0 to 130 knots; 0 to 67 m/s; 0 to 240 km/hr ⇄												
Wind speed accuracy	±2% of full scale ↑												
Wind chill range	-127°F (-88°C) maximum ↑												

			<table border="1"> <tr> <td>Rain fall accuracy</td> <td>±2.0% @ 1.5 in/hr ↑</td> </tr> <tr> <td>Power</td> <td>Station: solar power Display: 120 VAC wall transformer</td> </tr> <tr> <td>Display</td> <td>Multi-LED display</td> </tr> <tr> <td>Dimensions</td> <td>Station: 13 3/4" H x 5" dia Display: 13 1/8" W x 6 3/4" H x 1" D</td> </tr> <tr> <td>Wind direction range</td> <td>0 to 360°; instantaneous and variation</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure range</td> <td>16.3 to 32" Hg (551 to 1083 mba)</td> </tr> </table>	Rain fall accuracy	±2.0% @ 1.5 in/hr ↑	Power	Station: solar power Display: 120 VAC wall transformer	Display	Multi-LED display	Dimensions	Station: 13 3/4" H x 5" dia Display: 13 1/8" W x 6 3/4" H x 1" D	Wind direction range	0 to 360°; instantaneous and variation	Barometric pressure range	16.3 to 32" Hg (551 to 1083 mba)		
Rain fall accuracy	±2.0% @ 1.5 in/hr ↑																
Power	Station: solar power Display: 120 VAC wall transformer																
Display	Multi-LED display																
Dimensions	Station: 13 3/4" H x 5" dia Display: 13 1/8" W x 6 3/4" H x 1" D																
Wind direction range	0 to 360°; instantaneous and variation																
Barometric pressure range	16.3 to 32" Hg (551 to 1083 mba)																
1.1	1	RZ-99755-50	Computer Interface for Wireless Weather Station	11,104.00	11,104.00 ✕												
1.2	1	RZ-99755-60	Tripod for Wireless Weather Station	1,472.00	1,472.00 ✕												
			ALTERNATIVA NO. 2														
2	1	RZ-99760-50	<p>Three-scale dial barometer</p>  <p>Specifications</p> <table border="1"> <tr> <td>Barometric pressure resolution</td> <td>0.5 mbar; 0.05" Hg; 1 mm Hg</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure accuracy</td> <td>± 0.5% of reading</td> </tr> <tr> <td>Dimensions</td> <td>1.3"D x 4" Diameter</td> </tr> <tr> <td>Display</td> <td>analog</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure range</td> <td>954 to 1073 mbar; 28.1 to 31.7" Hg; 715 to 805 mm Hg</td> </tr> </table>	Barometric pressure resolution	0.5 mbar; 0.05" Hg; 1 mm Hg	Barometric pressure accuracy	± 0.5% of reading	Dimensions	1.3"D x 4" Diameter	Display	analog	Barometric pressure range	954 to 1073 mbar; 28.1 to 31.7" Hg; 715 to 805 mm Hg	3,744.00	3,744.00		
Barometric pressure resolution	0.5 mbar; 0.05" Hg; 1 mm Hg																
Barometric pressure accuracy	± 0.5% of reading																
Dimensions	1.3"D x 4" Diameter																
Display	analog																
Barometric pressure range	954 to 1073 mbar; 28.1 to 31.7" Hg; 715 to 805 mm Hg																
			ALTERNATIVA NO. 3														

3	1	RZ-03316-80	<p>Oakton ® Barometer with Digital Thermometer</p> <p>Specifications</p> <table border="1"> <tr> <td>Barometric pressure resolution</td> <td>0.5 mbar (0.1" Hg)</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure accuracy</td> <td>±1 mbar (±0.03" Hg)</td> </tr> <tr> <td>Temp range</td> <td>-4 to 140°F (-23 to 60°C)</td> </tr> <tr> <td>Temp resolution</td> <td>0.1°F/°C</td> </tr> <tr> <td>Temp accuracy</td> <td>±1.8°F (±1.0°C)</td> </tr> <tr> <td>Power</td> <td>One AA battery (included)</td> </tr> <tr> <td>Dimensions</td> <td>1.3" D x 5.3" Diameter</td> </tr> <tr> <td>Display</td> <td>Barometric pressure: analog Temperature: LCD</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure range</td> <td>945 to 1045 mbar (27.9 to 30.9" Hg)</td> </tr> </table>	Barometric pressure resolution	0.5 mbar (0.1" Hg)	Barometric pressure accuracy	±1 mbar (±0.03" Hg)	Temp range	-4 to 140°F (-23 to 60°C)	Temp resolution	0.1°F/°C	Temp accuracy	±1.8°F (±1.0°C)	Power	One AA battery (included)	Dimensions	1.3" D x 5.3" Diameter	Display	Barometric pressure: analog Temperature: LCD	Barometric pressure range	945 to 1045 mbar (27.9 to 30.9" Hg)	7,776.00	7,776.00*
Barometric pressure resolution	0.5 mbar (0.1" Hg)																						
Barometric pressure accuracy	±1 mbar (±0.03" Hg)																						
Temp range	-4 to 140°F (-23 to 60°C)																						
Temp resolution	0.1°F/°C																						
Temp accuracy	±1.8°F (±1.0°C)																						
Power	One AA battery (included)																						
Dimensions	1.3" D x 5.3" Diameter																						
Display	Barometric pressure: analog Temperature: LCD																						
Barometric pressure range	945 to 1045 mbar (27.9 to 30.9" Hg)																						
			ALTERNATIVA NO. 4																				
4	1	RZ-03316-72	<p>Oakton® Temperature Compensated Barometer, 930 to 1070 mbar, 698 to 802 mm Hg</p>  <p>Specifications</p> <table border="1"> <tr> <td>Barometric pressure resolution</td> <td>1 mbar (1 mm Hg)</td> </tr> <tr> <td>Barometric pressure accuracy</td> <td>±1 mbar (</td> </tr> </table>	Barometric pressure resolution	1 mbar (1 mm Hg)	Barometric pressure accuracy	±1 mbar (10,272.00	10,272.00														
Barometric pressure resolution	1 mbar (1 mm Hg)																						
Barometric pressure accuracy	±1 mbar (

			Temp range	-10 to 50°C			
			Temp resolution	1.0°C			
			Temp accuracy	±1°C			
			Dimensions	2" D x 6.1" Diameter			
			Display	analog			
			Barometric pressure range	930 to 1070 mbar (698 to 802 mm Hg)			
			ALTERNATIVA NO. 5				
5	1	RZ-03319-10	Cole-Parmer® Clear Rain Gauges, 0 to 25.2 cm		1,664.00	1,664.00	
			Specifications				
			Accuracy	±0.2 mm			
			Dimensions	14"L x 4.1" dia			
			Range	0 to 25.2 cm			
			NOTA: A ESTOS PRECIOS HAY QUE AGREGARLES EL 12% DE ISV SI LA ESNACIFOR NO ESTA EXCENTA DE IMPUESTOS.				

Tiempo de Entrega: 30-45 DIAS UNA VEZ RECIBIDA SU ORDEN DE COMPRA

CONDICIONES DE PAGO: 70% POR ANTICIPADO Y 30% CONTRA ENTREGA A FAVOR DE REPRESENTACIONES HANDALS.

Cotizó: Ing. Lucy Vallejo/Scarlett Hernandez

IMPORTADORA DE EQUIPO DE PRECISION, S.A. -IMEPRE-
10a. Calle 2-55 zona 1, Tels.: 22329701 - 22538666
Nit.: 132966-9

PRO FORMA COTIZACION

NOMBRE: ESNACIFOR - HONDURAS ATN. M. SC. JORGE ROLANDO MEZA PALMA

DIRECCION: mezapalma 2004@yahoo.es
 Tel (504) 7730018/7730023 Cel (504) 99054387

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL PARCIAL
3	TRES GEOTERMOMETROS MARCA YAGAMI. RANGO DE TEMPERATURA DE -20 A +50 GRADOS CENTIGRADOS EN FORMA DE "L" DE CRISTAL PARA UNA PROFUNDIDAD DE 20cm (T0021)	Q 165,00	Q 495,00
2	DOS TERMOMETROS AMBIENTALES DE MAXIMAS Y MÍNIMAS TIPO SIX (EN FORMA DE "U") MARCA SATO DE APROXIMADAMENTE 23cm DE ALTO, RANGO DE -25 a +55 GRADOS CENTIGRADOS CON LECTURA DE T MÁXIMA, T MÍNIMA Y TEMPERATURA ACTUAL (T0054.0)	Q 265,00	Q 530,00
2	DOS HIGROMETROS DE DIAL MARCA YAGAMI RANGO DE TEMPERATURA DE -30 a +50 GRADOS CENTIGRADOS Y DE HUMEDAD RELATIVA DE 0 a 100% CON UN DIAMETRO DE 30cm SENSORES BIMETALICAS PARA HUMEDAD Y TEMPERATURA (T0030)	Q 965,00	Q 1.930,00
1	UN TERMOHIGROGRAFO DE REGISTRO SEMANAL, MARCA ISUZU, CON RELOJERIA DE CUERDA RANGO DE MEDIDA DE -10 a +60 GRADOS CENTIGRADOS Y DE 0 a 100%HR (T0032)		Q 10.850,00
2	DOS PLUVIOMETROS TIPO HELLMANN MARCA WILH LAMBRECHT DE 200CM DE AREA DE RECEPCIÓN CONSTA DE RECIPIENTE COLECTOR, CON PROBETA GRADUADA DE 0 a 10mm CON DIVISIONES DE 1/10mm (P0430)	Q 6.480,00	Q 12.960,00
1	UN PLUVIOGRAFO SEGÚN JOSS-TOGNINI (RECORDING RAINGAUGE TIPPING BUCKET) CON GRAFICADOR Y SISTEMA DE RELOJERIA PARA SIETE DÍAS, GRAFICAS EN MILIMETROS DE PRECIPITACION (P0427)		Q 14.500,00
	V A N		Q 41.265,00
Total en Letras: SIGUE EN COTIZACIÓN ESNACIFOR2			
NOTA: LOS VALORES CON O SIN IMPUESTOS SE REFIEREN A DERECHOS DE IMPORTACION		SUB-TOTAL	Q -
		IVA	
		TOTAL	Q -

La oferta que antecede tiene un sostenimiento de OCHO (08) días hábiles contados a partir de la presente fecha y los precios consignados son sujetos de cambio sin previo aviso. Y si es cotización CIF sin impuestos, los gastos de correspondencia internacional e impuestos corren por cuenta del cliente o consignatario final.

Guatemala, 12 de febrero del 2009.

 Ing. Edgar González
 Ventas de Precisión

IMPORTADORA DE EQUIPO DE PRECISION, S.A. -IMEPRE-
10a. Calle 2-55 zona 1, Tels.: 22329701 - 22538666
Nit.: 132966-9

PRO FORMA COTIZACION

NOMBRE: ESNACIFOR - HONDURAS ATN. M. SC. JORGE ROLANDO MEZA PALMA

DIRECCION: mezapalma 2004@yahoo.es
 Tel (504) 7730018/7730023 Cel (504) 99054387

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL PARCIAL
	VIENEN SEGÚN COTIZACIÓN ESNACIFOR1		Q 41.265,00
2	DOS ANEMOMETROS DE CAZOS (COPAS) MARCA SATO DISEÑADOS PARA MEDIDAS INSTANTANEAS DE VELOCIDAD DE VIENTO, CONSTA DE TRES COPAS Y DOS METROS DE CABLE PARA LECTURAS A DISTANCIA, LA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO ESTA DETERMINADA POR EL Anemómetro DE CAZOS, EL CUAL ESTA CONECTADO A UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA (AC), LA ROTACION DE LOS CAZOS SE TRANSFIERE AL GENERADOR EL CUAL PRODUCE UN VOLTAJE, QUE ES PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD DEL VIENTO (A0040)	Q 14.250,00	Q 28.500,00
1	UN BAROMETRO DE MERCURIO (BAROMETRO DE FORTN) CONSTA DE UNA COLUMNA DE MERCURIO CONTENIDO EN UN TUBO DE CRISTAL, CUYO EXTREMO INFERIOR, ESTA SUMERJIDO Y SELLADO EN UNA CISTERNA LLENA DE MERCURIO (B0012)		Q 7.550,00
1	UN BAROGRAFO RANGO DE MEDIDA DE 945 A 1045 MILIBARES CON TAMBOR DE RELOJERIA A CUERDA DE ROTACION DE SIETE DÍAS (SEMANAL) (B0011.1)		Q 500,00
	** NOTA **		
	LOS PRECIOS CONSIGNADOS ESTÁN EN QUETZALES Y PUESTO EN SALA DE VENTAS DE IMEPRE EN CIUDAD DE GUATEMALA, PRECIOS EN DOLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS AL CAMBIO DEL DÍA		
	LUGAR DE ENTREGA: SALA DE VENTAS DE IMEPRE EN CIUDAD DE GUATEMALA		
Total en Letras: SON SETENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS QUINCE QUETZALES			
		SUB-TOTAL	Q 77.815,00
		IVA	Q -
		TOTAL	Q 77.815,00

La oferta que antecede tiene un sostenimiento de OCHO (08) días hábiles contados a partir de la presente fecha y los precios consignados son sujetos de cambio sin previo aviso. Y si es cotización CIF sin impuestos, los gastos de correspondencia internacional e impuestos corren por cuenta del cliente o consignatario final.

Guatemala, 12 de febrero del 2009.

 Ing. Edgar González
 Ventas de Precisión

Sensor Accuracy, Resolution, and Range

Function	Vantage Pro2	Perception II	Weather Wizard III	U.S.A. Units			Metric Units <small>Except for rainfall, all variables are measured in U.S. units of measure and rounded to the nearest metric unit shown in the "Resolution" column.</small>		
				Resolution	Range	Accuracy ±	Resolution	Range	Accuracy ±
Agricultural	Evapotranspiration	●		0.01"	Day: to 99.99" Month: to 199.99" Year: to 199.99"	5%	0.1 mm	Day: to 999.9 mm Month: to 1999.9 mm Year: to 1999.9 mm	5%
	Growing Degree-Days	○		0.1 Degree-Day	Unlimited		0.1 Degree-Day	Unlimited	
	Leaf Wetness	●		1	0 to 15	0.5	1	0 to 15	0.5
	Soil Moisture	●		1 cb	0 to 200 cb		1 cb	0 to 200 cb	
Barometric Pressure	Barometric Pressure (Elevation range: -1000' to +15,000'; -300 to +4500 m)	✓	✓	0.01" Hg	26" to 32" Hg	0.03" Hg	0.1 mm Hg	660 to 810 mm Hg	0.8 mm Hg
		✓	✓				0.1 mb	880 to 1080 mb	1.0 mb
		✓					0.1 hPa	880 to 1080 hPa	1.0 hPa
	Three-Hour Trend	✓		Slow ≥ 0.02" Hg Rapid ≥ 0.06" Hg	5-Position Arrow		Slow ≥ 0.5 mm (0.7 mb) Rapid ≥ 1.5 mm (2 mb)	5-Position Arrow	
One-Hour Trend		✓	Change ≥ 0.02" Hg	3-Position Arrow		(Change ≥ 0.5 mm (0.7 mb, 0.7 hPa))	3-Position Arrow		
Humidity	Inside Humidity	✓	✓	1%	10% to 90%	5%	1%	10% to 90%	5%
	Outside Humidity	✓		1%	0% to 100%	3%	1%	0% to 100%	3%
	Dew Point	✓		1°F	-105° to +130°F	3°F	1°C	-76° to +54°C	1.5°C
Rainfall	Rainfall	✓		0.01"	Day: 0 to 99.99" Storm: 0 to 99.99" Month: 0 to 199.99" Year: 0 to 199.99"	4%	0.2 mm. (Rounded to 1 mm at 2000 mm and above.)	Day: 0 to 9999 mm Storm: 0 to 9999 mm Month: 0 to 19,999 mm Year: 0 to 19,999 mm	4%
			●	0.01"	Day: 0 to 99.99" Total: 0 to 99.99"	4%	0.2 mm	Day: 0 to 999.8 mm Total: 0 to 9999 mm	4%
	Rate of Rainfall	✓		0.01"	0 to 99.99"/hr	5%	0.1 mm	0 to 1999.9 mm/hr	5%
Solar & UV	Solar Radiation	●		1 W/m ²	0 to 1800 W/m ²	5%	1 W/m ²	0 to 1800 W/m ²	5%
	Solar Energy	○		0.1 Ly	1999.9 Ly	5%	0.1 Ly	1999.9 Ly	5%
	UV Dose	●		0.1 MEDs	0 to 199 MEDs	5%	0.1 MEDs	0 to 199 MEDs	5%
	UV Index	●		0.1	0 to 16	5%	0.1	0 to 16	5%
Temperature	Inside Temperature	✓	✓	0.1°F	32° to 140°F	1°F	0.1°C	0° to 60°C	0.5°C
	Outside Temperature (ISS)	✓		0.1°F	-40° to +150°F	1°F	0.1°C	-40° to +65°C	0.5°C
	Outside Temp (Temp Stn)	●		1°F	-40° to +150°F	1°F	1°C	-40° to +65°C	0.5°C
	Soil or Water Temperature	●		1°F	-40° to +150°F	1°F	1°C	-40° to +65°C	0.5°C
	Outside Temp-Hum Index	✓		1°F	-40° to +135°F	3°F	1°C	-40° to +57°C	1.5°C
	Temp-Hum-Sun-Wind Index	●		1°F	-90° to +135°F	4°F	1°C	-68° to +64°C	2°C
	Wind Chill	✓		1°F	-110° to +130°F	2°F	1°C	-79° to +54°C	1°C
Time/Date	Time	✓	✓	1 minute	12 hours	8 sec/mo	1 minute	24 hours	8 sec/mo
	Date	✓	✓	month/day		8 sec/mo	day/month		8 sec/mo
	Sunrise & Sunset	✓		1 minute			1 minute		
Wind	Wind Direction	✓	✓	1°	0° to 360°	4°	1°	0° to 360°	4°
			✓	10°	0° to 360°	4°	10°	0° to 360°	4°
	Compass Rose	✓	✓	22.5°	16 compass points	4°	22.5°	16 compass points	4°
	Wind Speed	✓	✓	1 mph 1 knot	2 to 150 mph 2 to 130 knots	5%	0.1 m/s 1 km/hr	1 to 67 m/s, 3 to 241 km/hr	5%
Direction of High Speed	✓		22.5°	16 compass points	4°	22.5°	16 compass points	4°	

* Included
 1 Optional, shown on console
 2 Optional, requires
 3 WeatherLink. Growing
 degree-days also requires
 Ag/Turf Management Module

Unless listed separately, accuracy, resolution, and range are for Vantage Pro2 stations. Specifications for Perception and Wizard may be somewhat different. For complete specifications, visit our website at www.davisnet.com/links.

"Resolution" refers to the number of digits or decimal places displayed on the console. For metric units, this is not the actual unit of measure except for rainfall. Our rain collector measures in true 0.01" or 0.2 mm increments. All other weather variables are measured and accumulated in U.S. units of measure, which are then converted to metric units for display purposes.

Weather Wizard III calculates and displays wind chill according to the original National Weather Service Formula. A new formula was adopted in 2001. For wind chill using this formula, view the data using WeatherLink or choose Vantage Pro2 instead.

APENDICE 2

INFORME DE CALIDAD DE AGUA EN BASE A CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO SUPERFICIAL DE SIGUATEPEQUE EN SU ZONA OESTE.

Introducción

Es muy común en los medios naturales que existan acuíferos cuyo nivel freático (tabla de agua) se encuentre a escasa profundidad. Hablamos de acuíferos superficiales, los cuales están conectados comúnmente a ríos, bien cediendo agua a estos, o bien recibíendola.

Son estos acuíferos los más vulnerables y afectados ante las actividades humanas, ya que los posibles contaminantes llegan antes a ellos, que si el acuífero fuese más profundo. Es simple de ver, ya que el suelo hace de filtro natural, y cuanto menos suelo haya entre la superficie del terreno y el nivel freático, menor filtro habrá.

Por ello, es de especial interés prestar atención a estos acuíferos, ya que los posibles contaminantes que puedan llegar lo harán en poco tiempo y sin apenas filtrarse; y más cuando estos contaminantes pueden acabar en los cursos fluviales.

Se ha realizado un estudio del acuífero superficial de Siguatepeque en su sector Oeste en base a la calidad de las aguas para contaminación bacteriológica. La metodología se pasa a detallar a continuación.

Metodología de Trabajo

El pasado día 4 de Noviembre, Francisco del Río de Geólogos del Mundo y los alumnos de último año de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales realizamos un estudio del sector Oeste del acuífero superficial de Siguatepeque. El estudio se completó el día 5 con recogida de nuevas muestras realizando la labor las geólogas Maite Rentero y Astrid González. Consistió en realizar un inventario de pozos superficiales, midiendo el nivel freático y tomando muestras para análisis de agua en base a parámetros bacteriológicos, con el fin de identificar el número de colonias de bacterias, y tipo de colonias.

Para ello, se obtuvo diversa información, como uso del pozo, propietario, barrio, etc. para cada uno de los puntos que se han estudiado.

La muestra de agua para el análisis bacteriológico se tomó en un bote sanitario para análisis de orina (de venta en farmacias) extrayendo la muestra con un recipiente lo más limpio posible, lo cual puede contaminar la muestra con colonias mesófilas. Una vez tomada, se introdujo en una nevera y se llevó a analizar al laboratorio de agua de la Regional de Salud N° 2 de Comayagua. Los resultados de dichos análisis, así como una imagen de la ampolla del cultivo se muestran en anexos.

Resultados del estudio

La medida de la profundidad de la tabla de agua se realizó para poder representar en un plano el nivel freático del acuífero superficial. Además de los puntos tomados en el estudio se han representado también datos de altura topográfica de cauces fluviales,

representando aquellos puntos donde el acuífero intersecta a la red fluvial. El resultado se muestra en anexos.

Como puede verse en el mapa, el agua subterránea circula hacia los cauces fluviales, tratándose de cauces ganadores, por lo que los contaminantes existentes en el acuífero podrán acabar en la red fluvial superficial. Aún así, hay que mencionar que la red fluvial ya está bastante dañada por vertidos en ella; pero si se pensase en hacer un saneamiento de la red fluvial superficial, habría que tener también en consideración los aportes de las aguas subterráneas.

Con respecto a la calidad bacteriológica del agua, los resultados han sido bastante malos encontrándose, salvo excepciones, valores altos a muy altos de contaminación. Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Muestra	Coordenadas WGS 84		Cantidad de agua filtrada	Total colonias mesófilas	Colonias coliformes totales	Colonias coliformes fecales	Colonias E. coli	Tiempo de incubación
	Este	Norte						
1	408784	1612609	1 ml	22	18	0	0	24 hrs.
3	408835	1612910	1 ml	178	0	0	0	24 hrs.
4	409120	1612655	1 ml	44	22	3	3	24 hrs.
5	407945	1612381	1 ml	50	0	150	107	24 hrs.
6	407924	1612593	1 ml	71	15	0	1	24 hrs.
7	407808	1612823	1 ml	66	31	4	4	24 hrs.
13	409572	1614960	1 ml	75	31	2	3	24 hrs.
14	408965	1615222	1 ml	122	112	18	18	24 hrs.
15	408125	1615752	1 ml	26	12	0	0	24 hrs.
A	409076	1612651	1 ml	4	0	0	0	24 hrs.
B	409088	1612772	1 ml	4	7	0	0	24 hrs.
C	408979	1612902	1 ml	0	0	0	0	24 hrs.
D	408125	1613100	1 ml	26	30	9	9	24 hrs.
GR3-1	408271	1614064	1 ml	105	76	0	0	24 hrs.
GR3-2	408298	1614024	1 ml	20	36	0	0	24 hrs.

De los 15 análisis realizados, sólo uno, el etiquetado como C, ha dado en buenas condiciones. El etiquetado como 3 también ha dado buena calidad bacteriológica, salvo la presencia de 178 colonias mesófilas. Si bien, estas pueden estar presentes debido a una irregular recogida de muestras, bien porque se haya tardado mucho en cerrar el recipiente, o bien por que el utensilio de extracción del agua haya dado dicha contaminación.

El resto de muestras ya tienen contaminación bacteriológica dañina para la salud, bien en presencia de coniformes totales, fecales, o *Escherichia coli*. Cabe mencionar la muestra etiquetada como 5, la cual ha dado un número alarmantemente alto de colonias de *Escherichia coli* la cual en ocasiones puede llegar a provocar fuertes diarreas, o incluso ser mortal. Este valor, junto con las colonias de coliformes fecales indica que las aguas están fuertemente contaminadas por residuos fecales. Como se puede observar, la mayor parte de las muestras analizadas poseen contaminación por coniformes totales, lo cual indica que otras bacterias coliformes de un origen distinto están contaminando las

aguas. De todos modos, para un uso potable del agua, ésta no debe tener ninguna colonia de coliformes (wikipedia), por lo que salvo dos muestras, el resto del agua analizada es no potable según el parámetro bacteriológico.

Conclusiones

Viendo los análisis de agua uno puede concluir que el acuífero superficial de Siguatepeque está seriamente afectado por contaminación fecal, ya que una prueba positiva de *Escherichia coli* y de coliformes fecales indica este tipo de contaminación; si bien, no permite diferenciar entre contaminación fecal humana o contaminación fecal animal.

No obstante, tras ver una serie de pozos, muchos de ellos son usados de basurero o de letrinas, por lo que gran cantidad del contaminante coliforme fecal será de origen humano. No se puede descartar el origen animal, ya que en muchas zonas se apreció actividad animal cerca de las fuentes de agua; incluso un pozo seco en el barrio El Carmen se estaba usando en parte como estercolero de heces de caballo.

La gente consultada durante el muestreo declaró que no usaba el agua para beber, salvo en uno de los pozos analizados, el cual dio libre de contaminación; por lo que a priori, no deberían afectar a la salud humana, al no usarse como consumo.

No se debe olvidar que puede que esta agua esté siendo usada para aseo, y no para ingerir, y se han dado casos de infecciones de una cepa de *Escherichia Coli* al usar agua contaminada para aseo. Tampoco debe olvidarse que no se ha contactado con toda la gente, y puede haber gente de bajos recursos que sí estén usando el agua del acuífero superficial para beber, con el riesgo que puede suponer para su salud.

Es importante por tanto que se regule el uso de pozos superficiales evitando que su uso pueda dañar las aguas subterráneas, y si alguien desea usarlo como fosa séptica, antes deberá aislarlo por completo del medio natural.

Es importante también trabajar con la población en incidir en los daños que puede causar un mal uso de los pozos; por ello, se está desarrollando un programa de concienciación de la gente para tratar de evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

Un dato importante extraído de la visita al Barrio El Carmen es que un gran número de vecinos declaraban que su pozo se secó cuando el SANAA inauguró el proyecto Cuatro Ciudades, con los pozos Alcaravanes y Macaruya, ambos en las proximidades del barrio. Este es un indicio de que el acuífero superficial está conectado con el agua que están explotando estos dos pozos, por lo que la detección de contaminantes en el acuífero superficial puede pasar al acuífero profundo que se está explotando. Más adelante se hará un análisis de potabilidad total de los pozos Alcaravanes y Macaruya para ver si esta sospecha se confirma o se descarta.

De todos modos, la contaminación bacteriológica del agua puede eliminarse por completo con una correcta cloración del agua, eliminando todo tipo de colonias.

Es importante declarar, y que quede claro, que los análisis realizados han sido únicamente para ver el parámetro bacteriológico de potabilidad, directamente

relacionado con enfermedades diarreicas. Para declarar la potabilidad o no del agua haría falta un análisis fisicoquímico de parámetros de potabilidad. Si bien, antecedentes de estos análisis han dado negativo por este tipo de contaminación (Chavarría, 2007).

Publicaciones consultadas

Chavarría Oseguera, A., 2007: *Determinación y análisis de las aguas subterráneas en el casco urbano del municipio de Siguatepeque, Comayagua, Honduras*. Tesis de licenciatura ESNACIFOR.

Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme#Coliformes_totales_y_coliformes_fecales

Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli

APENDICE 3

LIMPIEZA, ENSAYO DE BOMBEO Y RECUPERACIÓN EN EL POZO DEL PARQUE SAN JUAN

Introducción y descripción del pozo

El pasado día 24 de Noviembre se procedió a realizar una limpieza, ensayo de bombeo y ensayo de recuperación en el pozo ubicado en el Parque San Juan en Siguatepeque. Este pozo está ubicado en las coordenadas UTM (WGS 84) E 410336 N 1612816 y tiene una profundidad total de 135,9 metros (446 pies). La bomba se encuentra situada a 81,3 metros de profundidad (267 pies).

Para situar la bomba a esa profundidad se han empleado 9 lances de 3 metros cada uno (10 pies) con una sección de 4 pulgadas. Le siguen 17 lances de 3 metros cada uno de una sección de 3 pulgadas. Antes de todos estos lances hay situado un codo de salida de 1,5 metros de longitud (5 pies). La bomba tiene una sección de 4 pulgadas. Según la información facilitada por el SANAA, este pozo tiene las siguientes características:

Profundidad: 135,9 metros
Profundidad de la bomba: 81,3 metros
Nivel estático: 16,46 metros
Nivel dinámico: 64,92 metros
Caudal de extracción: 8,2 litros por segundo
Corriente: Trifásica
Diámetro de entubado: 10 pulgadas
Diámetro de salida a la red: 6 pulgadas.
Acceso a sonda: 1 pulgada.

El acceso al pozo es un tanto complicado para vehículos pesados, ya que el camino de acceso es de tierra y con humedad se queda embarrado, haciendo que los vehículos patinen a la hora de acceder. Además de ello, la puerta de acceso es algo estrecha, lo que dificulta el acceso a vehículos grandes, como una grúa, la cual es necesaria para la extracción óptima de la bomba. Deberían por tanto mejorarse las condiciones de acceso, y hacer accesible el pozo a vehículos pesados.

Además de ello, se ha detectado otra deficiencia, y está en los cables que salen de la bomba a la caseta de control. Estos cables se encuentran quemados, habiendo desaparecido parte de la camisa que los envuelve, por lo que se podría generar un cortocircuito que afectase a la bomba. Además de ello, no se encuentran debidamente protegidos de las inclemencias del tiempo, quedando en parte al aire libre, en especial, la parte quemada de los cables, lo que aumenta el riesgo de cortocircuito.

Es por ello que el lugar del pozo requiere labores de saneamiento básico y acondicionamiento de los accesos.

La prueba consistió en la extracción de la bomba junto con los lances para a continuación insertar el equipo de limpieza. Le siguió la limpieza con compresor Sullair de 250 H.P. durante 8 horas, comenzando el día 24 a las 23:00 y terminando el día 25 a las 7:00 de la mañana. Después, se dejó el pozo recuperar durante 8 horas aprovechando dicho tiempo para insertar nuevamente la bomba y los lances, con los cuales se realizaría el posterior ensayo de bombeo. Durante estas horas se llegó al nivel estático de 16,27 metros. A continuación se procedió a regular el caudal de extracción para el ensayo de bombeo. Este se reguló por medio de una cubeta de 5 galones, además de con

un indicador capilar. Debido a la regulación descendió el nivel del agua por lo que el valor inicial se situó a 17,80 metros.

Como puede observarse, existe una diferencia de unos 20 cm. entre el nivel estático facilitado por el SANAA y el medido en el campo. No tienen por qué coincidir ya que este depende de las condiciones meteorológicas de los días anteriores, así como de los regímenes de explotación que haya tenido el pozo. Aún así, se observa que son similares. Como se verá más adelante, el nivel dinámico tampoco coincide (aunque no se llegó a estabilizar el pozo) y esto puede ser debido a que se haya ensayado a un caudal distinto, el cual no se facilita por el SANAA.

Limpieza del pozo y regulación de caudal

Por las observaciones realizadas, el pozo necesitaba una limpieza, ya que el agua salía bastante sucia al inicio de ella. Por ello, la limpieza duró 8 horas realizándose durante la noche del 25 de noviembre. Se realizó con un compresor Sullair de una potencia de 250 H.P. Después de las 8 horas de limpieza el agua del pozo salía completamente limpia, por lo que la ésta fue buena.

Una vez terminada la limpieza se procedió a regular el caudal de extracción para el ensayo de bombeo por medio de una cubeta de 5 galones y de un indicador capilar de caudal situado en el cañón de extracción de agua.

En un principio se reguló para un caudal de salida de 9 litros por segundo (142,6 Gal/min) pero debido a la fuerte caída del nivel del agua al inicio del ensayo (Ver tabla de ensayo de bombeo en Anexos) este caudal descendió a 6,5 litros por segundo (103 Gal/min.), el cual se mantuvo el resto del ensayo.

Ensayo de bombeo y recuperación

El día 25 a las 14:48, y tras regular el caudal a 6,5 litros/segundo, se inició el ensayo de bombeo continuado durante 24 horas.

Como es normal, en los primeros minutos se dio un descenso más rápido del nivel que en el resto del ensayo, pero en este caso, el descenso durante los primeros minutos fue bastante grande. Así, si se observa la gráfica de descensos (Ver gráfica de descenso anexos), se verá que en los primeros 100 minutos se da un descenso del nivel hasta los 55 metros, cayendo el resto de las 24 horas sólo hasta los 59 metros aproximadamente, no llegando a estabilizarse el pozo en un nivel dinámico. De hecho, durante las últimas horas, se registraban descensos de unos 4 centímetros (Ver Plantilla ensayo bombeo en anexos). Esto ya es indicativo de que el pozo tiene una baja transmisividad.

Con la recuperación pasa lo mismo. Como es normal, durante los primeros minutos se registra un mayor ascenso que el resto del ensayo, pero en este caso, el ascenso no es equiparable al descenso producido durante los primeros minutos (Pueden compararse los descensos dados durante los primeros minutos en la Plantilla ensayo bombeo con los ascensos dados en los primeros minutos en la Plantilla ensayo recuperación).

Valores de transmisividad

T (m ² /día)	Calificación estimada
T < 10	Muy baja
10 < T < 100	Baja
100 < T < 500	Media
500 < T < 1000	Alta
T > 1000	Muy alta

Una vez realizada la gráfica de ascensos, se ha calculado la transmisividad (Ver fórmula de cálculo en Gráfica de ascenso y T en Anexos). Esta adquiere un valor de 8,092 m²/día, siendo este un valor muy bajo.

Imagen: Clasificación de la transmisividad en función de su valor.

Conclusiones

Si atendemos a la definición de transmisividad, esta es la cantidad de agua que atraviesa una franja vertical de un acuífero de sección unidad y altura, el espesor saturado del acuífero, cuando se genera un gradiente hidráulico unidad a una temperatura dada. En realidad, nos está dando la capacidad que tiene un acuífero de transmitir agua en sentido vertical; por ello, es un parámetro muy a tener en cuenta en explotación de acuíferos por pozos, ya que los procesos de bombeo generan descensos y ascensos del nivel freático. Así, la transmisividad será la que nos marque a qué ritmo descenderá y ascenderá dicho nivel por bombeo. Cuando la transmisividad es buena, se producen bajos descensos por bombeo, y rápidas recuperaciones cuando cesa.

En este caso, la transmisividad es muy baja, adquiriendo un valor de 8,092 m²/día, lo que indica que el pozo no recupera bien después de un ensayo, requiriendo más tiempo de las 8 horas estipuladas, quedándose a 20 centímetros de la completa recuperación pasadas estas horas, y que los descensos durante el bombeo son rápidos; de hecho, hay una gran diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico, registrándose los mayores descensos durante la primera hora del ensayo de bombeo, como se comentó anteriormente.

Es por ello que se puede calificar al pozo como poco productivo, según el parámetro de transmisividad. Pero un punto a favor es la profundidad que éste tiene, siendo de 135 metros, pudiéndose colocar la bomba por debajo del nivel dinámico, y además, el diámetro de entubado es grande, siendo este de 10 pulgadas. Esta profundidad, junto con el gran diámetro de entubado hacen que el pozo sea productivo y pueda seguir explotándose a un caudal de 8.1 litros por segundo, régimen actual de explotación, pero con el riesgo de producir un posible daño en el pozo. Éste, por ejemplo, podría ser en que queda una gran columna de acuífero (diferencia entre nivel estático y dinámico) completamente seco, con el consiguiente riesgo de cerrarse la porosidad.

En caso de seguir explotando el pozo al mismo nivel sería conveniente dejarlo descansar con asiduidad y no tenerlo en explotación más de un día seguido sin descansar por lo menos durante otras 12 horas.

Calidad del agua

Además del ensayo de bombeo se ha llevado una muestra a analizar para controlar los parámetros de potabilidad, así como el bacteriológico.

Los parámetros de potabilidad medidos han sido el pH, Nitratos, Nitritos, Hierro, Sulfatos, Sólidos disueltos, temperatura y cobre. De todos estos parámetros, sólo el pH está cerca del valor máximo permitido, por lo que no es necesario tomar ningún tipo de medida en este aspecto.

El problema viene con el parámetro bacteriológico, en el cual, para 1 ml de agua analizado se ha encontrado 1 colonia de coliformes totales, cuando no se deben encontrar colonias por cada 100 ml analizados.

Es posible que esta procedencia pueda venir del río que pasa al lado, y que exista comunicación entre ambos, o bien debido a las actividades forestales que se desarrollen en el Parque San Juan, ya que los coliformes detectados no son fecales.

Aun así, debería clorarse esta agua para darle potabilidad.

Ver análisis en Anexos.