

El agua dulce en estado líquido de lagos y ríos representa la parte que se halla en tránsito, en tanto que las fuentes subsuperficiales corresponden al agua almacenada. El agua subterránea se ha venido acumulando a través de varios siglos, aumentando ligeramente su volumen cada año por el efecto de la lluvia. Como promedio anual, el agua de los ríos es restituida unas 31 veces. (Johnson, 1975)

No toda la cantidad de agua que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra puede extraerse de las formaciones que las contienen pues solo los costos de bombeo invalidarían su extracción. Otra parte yace dentro de acuíferos que se oponen de diversas formas a la extracción y desafían la acción del bombeo. (Johnson, 1975)

5.2 Límites del acuífero

En la hidrología subterránea, se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharlas en forma económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades. Si se analiza esta definición, (del latín aqua = agua y fero = llevar), se aprecia que el agua encerrada en una formación geológica cualquiera puede estar ocupando los poros o vacíos intergranulares que presenta la misma, ya sean las fracturas, diaclasas o grietas que también pueden darse.

Se denominan acuíferos libres, no confinados o freáticos a aquellos en los cuales existe una superficie libre de agua encerrada en los mismos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica. En éstos, al perforar pozos que los atraviesan total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forma una superficie real.

Por el contrario, en los acuíferos cautivos, confinados o a presión, el agua de los mismos está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente. Por ello, durante la perforación de pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del

mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. De acuerdo con éste y la posición del nivel topográfico de la boca del pozo, pueden considerarse pozos surgentes o fluyentes aquellos en los cuales el nivel piezométrico está situado a cota superior de la boca del pozo y simplemente artesianos o a presión a los pozos en el mismo acuífero, pero cuyo nivel piezométrico quede por debajo de la superficie topográfica en los alrededores del mismo. Así pues, estos acuíferos poseen una superficie piezométrica ideal, que puede materializarse considerando todos los niveles que alcanzaría el agua en sendas perforaciones distribuidas por el acuífero equivalentes a la altura piezométrica del agua en el acuífero en la vertical de cada punto.

Una variedad de estos acuíferos la constituyen los acuíferos semicautivos o semiconfinados, que pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que los encierra no es totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo. Como es lógico, este paso vertical de agua es sólo posible cuando existe una diferencia de potenciales entre ambos acuíferos (el que recarga y el recargado) y puede hacerse en uno u otro sentido, e incluso variar con el tiempo según sea la posición relativa de los niveles piezométricos de los mismos. (Custodio y Llamas, 2001)

La historia y procesos geológicos que han tenido lugar en una región determinada son los que han establecido la localización y el espesor de las formaciones acuíferas que hoy día encontramos bajo la superficie. El agua subterránea tiene lugar dentro de un marco geológico. Así pues, para poder aplicar los procedimientos más prácticos y económicos de obtención de agua subterránea de los varios acuíferos arenosos y rocosos, se requiere un adecuado conocimiento de geología. (Johnson, 1975)

En el área de estudio, existe un acuífero superficial constituido por material no consolidado de tipo arena y grava de diferente tamaño, con una porosidad primaria. Dicho acuífero tiene una extensión mayor que la de la cuenca y esta determinado por el

abanico aluvial que forman los ríos Achiguate – Acomé – Coyolate, dicha unidad geofisiográfica es la que delimita el acuífero superficial y posiblemente los otros acuíferos.

La información litológica de los pozos es pobre en el área, pues a pesar de existir algunos registros estos son confusos y no permitan analizar los acuíferos más profundos, los cuales si existen como lo muestra el perfil litológico de un pozo en el Ingenio Magdalena S.A., el cual muestra un acuífero superficial de aproximadamente 80 m de espesor constituido de arena y roca negra posiblemente basáltica, un segundo acuífero de 20 m de espesor aproximadamente, en una formación parecida a la anterior, separados por una capa de arcilla de 8 m de espesor y un acuífero tercer acuífero en roca consolidada, reportada como roca negra solamente, a partir de 130 m de profundidad.

De esta manera nos damos cuenta que en el área existen por lo menos 3 acuíferos, 2 en formaciones no consolidadas de rocas y arena; y un tercero en roca consolidada el cual puede constituir un acuífero regional que se extienda desde la parte alta de la cadena volcánica reciente, hasta el Océano Pacífico.

5.3 Características del acuífero

El agua subterránea tiene lugar tanto en materiales rocosos consolidados, como en materiales sueltos no consolidados. Cualquier tipo de roca, sedimentaria, ígnea o metamórfica ya sea consolidada o no consolidada, puede constituir un acuífero si es suficientemente porosa y permeable. (Johnson, 1975)

No todas las formaciones geológicas, o rocas en general poseen la misma facilidad para transmitir y proporcionar agua en cantidades apreciables económicamente. Las diferencias, entre los aluviones de un río y un macizo granítico poco alterado, por ejemplo, son bien evidentes. Los acuíferos que se presentan con mayor frecuencia están formados por depósitos no consolidados de materiales sueltos, tales como arena, grava y mezcla de ambos, pudiendo ser su origen geológico muy distinto (fluvial, deltaico, depósitos sedimentarios acumulados por viento, gravedad o hielo). Debido, en general a sus buenas condiciones de recarga, a su permeabilidad, y poca profundidad de su nivel

piezométrico, suelen dar notables caudales de agua si se explotan convenientemente. (Custodio y Llamas, 2001)

Dos son las funciones importantes que realiza un acuífero, a saber: una función almacenadora y otra transmisora. Este almacena agua, sirviendo como depósito y transmite agua como lo hace un conducto. Las aberturas o poros de un acuífero sirven tanto de espacio para almacenamiento como red de conductos. El agua subterránea se mueve constantemente a través de distancias extensas y desde las áreas de recarga hacia las de descarga. El desplazamiento es muy lento con velocidades que se miden en metros por día y a veces en metros por año. Como consecuencia de ello y del gran volumen que su porosidad representa, un acuífero retiene grandes cantidades de agua en almacenamiento inestable. (Johnson, 1975)

Para determinar las características de los acuíferos es necesario realizar una prueba de bombeo en un pozo, la cual en la mayoría de los casos, se efectúa simplemente para observar como se comporta este. Es importante cuando, conjuntamente con las observaciones del caudal se toman algunas medidas del abatimiento producido. Estas dos magnitudes, rendimiento y abatimiento, tienen una aplicación directa en la selección de los elementos de un equipo permanente de bombeo que se ajuste a las características de operación del pozo.

Si se ejecutan en la forma correcta, las pruebas de bombeo logran otros objetivos importantes. Planeadas en forma apropiada y realizadas cuidadosamente, las pruebas revelan hechos importantes relativos al depósito de agua subterránea que no se pueden establecer de ninguna otra manera. La utilización práctica y la aplicación de tales pruebas se han visto aumentadas por un mejor conocimiento de la hidráulica de pozos conjuntamente con el desarrollo de métodos que utilizan la información brindada por las pruebas para calcular los factores principales del funcionamiento de los acuíferos.

Un pozo de agua se prueba para lograr cualquiera de dos propósitos principales. El objetivo más usual es el de obtener información acerca del comportamiento y eficiencia del pozo mientras éste se bombea. En tal caso, el resultado se reporta en términos de la

descarga, el abatimiento observado y la capacidad específica calculada. El otro objetivo de las pruebas y que ha adquirido gran importancia, es el de suministrar datos de los cuales se obtienen los factores principales para calcular el comportamiento de los acuíferos. Una prueba organizada con este propósito puede denominarse, con más propiedad, una prueba de acuífero, pues es éste o sea la formación productora, la que más que el pozo, se está probando.

Una prueba de acuífero consiste en bombear de un pozo y registrar tanto el abatimiento en éste, como el producido por el bombeo en otros pozos vecinos de observación. Si la prueba se ha realizado adecuadamente, los datos que se obtengan pueden analizarse para descubrir las características hidráulicas del acuífero. El procedimiento que se sigue para una prueba de acuífero es algo más complicado que el que se utiliza con el fin de determinar la capacidad de un pozo de producción determinado. Sin embargo, la diferencia es pequeña en cuanto a la manera en que la descarga y el abatimiento se miden y registran en ambos casos. (Johnson, 1975)

Como en el régimen no permanente se toma agua del almacenamiento en el acuífero, además de la transmisividad entra en juego el coeficiente de almacenamiento. Los ensayos de bombeo con medidas durante el régimen no permanente permiten determinar T y S con un único punto de observación distinto al pozo y aun con solo el pozo como punto de observación se puede obtener T con buena aproximación, da resultados que reflejan mejor las condiciones del acuífero y además con una duración de los ensayos menor. (Custodio y Llamas, 2001)

El método de Theis (1935) es utilizado para el cálculo de estas características. Theis desarrolló la fórmula de no equilibrio que se aplica a pozos que funcionan dentro de este régimen. La fórmula de Theis fue la primera que tuvo en cuenta el efecto del tiempo de bombeo en la descarga. Su derivación constituyó un avance importante en el campo de la hidráulica de agua subterráneas. Mediante el uso de la fórmula, se puede predecir el abatimiento a cualquier tiempo después de iniciado el bombeo. La transmisividad y la permeabilidad promedio pueden determinarse desde las primeras etapas de una prueba de bombeo, sin esperar a que los niveles en los pozos de observación se hayan

virtualmente estabilizado o alcanzado el equilibrio. Los coeficientes del acuífero se pueden determinar a partir de las mediciones de tiempo – abatimiento realizadas en un solo pozo, en lugar de tener que utilizar dos pozos de observación, como lo exigen otras fórmulas. (Kruseman y Rider, 1994)

La fórmula básica de Theis es:

$$s = \frac{(Q)}{(4*\pi*T)} * W(u)$$

$$u = \frac{r^2 * S}{4*T*t}$$

Entre las características del acuífero podemos mencionar, la porosidad, la permeabilidad, el coeficiente transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

En este estudio se incluyen el coeficiente de almacenamiento y el de transmisividad, para estimar estas características se recopiló información sobre registros de pruebas de bombeo, en las municipalidades, empresas y fincas privadas del área, obteniendo registros de bombeo de los pozos municipales de la Aldea Chipilapa y Aldea Cerro Colorado, La Gomera; y de un pozo en el Ingenio Magdalena, S.A.

Además, se efectuaron pruebas de bombeo en los pozos mecánicos de las fincas San Francisco, San Antonio el Valle y del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación en Caña de Azúcar (CENGICANA). Y por último, se efectuó una prueba de bombeo en una noria o aguada para riego, que consiste en un pozo excavado de gran diámetro y de poca profundidad. En el Cuadro 17, se muestra la localización de los lugares para los cuales se analizaron pruebas de bombeo.

CUADRO 17. Localización de los pozos a los que se les analizaron sus pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Lugar	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm
		X	Y	
1	Finca San Francisco	0702085	1544965	8
2	Finca San Antonio El Valle	0694521	1548003	10
3	Finca Manglares	0709512	1543750	2
4	Aldea Cerro Colorado, La Gomera	0697814	1566022	48
5	Aldea Chipilapa, La Gomera	0710252	1559422	37
6	CENGICAÑA	0710105	1584402	285
7	Ingenio Magdalena S.A.	0723910	1562105	51

5.3.1 Coeficiente de almacenamiento (S).

Es el volumen de agua cedida o tomada del almacenamiento del acuífero, por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de carga.

También se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unitario del nivel piezométrico o carga hidráulica.

En los acuíferos freáticos, S equivale al rendimiento específico del material desecado durante el bombeo. En los acuíferos artesianos, S es el resultado de dos efectos elásticos, la compresión del acuífero y la expansión del agua contenida en este, cuando la carga o presión es reducida por el bombeo. El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional. El valor de S en los acuíferos libres varía desde 0.01 hasta 0.35; estos valores en un acuífero artésiano van desde 0.00001 hasta 0.001.

Para estimar esta característica es necesario efectuar pruebas de bombeo en lugares donde se tengan pozos de observación a una distancia corta de los pozos de bombeo, de esta forma los abatimientos se deben tomar del pozo de observación, de manera que se logre estimar de buena forma la magnitud de esta característica. Sin embargo, en las

pruebas de bombeo efectuadas no se puede cumplir con este requisito pues todos los pozos bombeados y los registros de bombeo recopilados, correspondían a pozos de bombeo y no de observación, por lo tanto se optó por efectuar esta estimación dentro del mismo pozo de bombeo, utilizando el radio del pozo como distanciamiento del pozo de observación, lo cual no es lo ideal, pero el análisis si muestra un dato aproximado de esta característica, considerando las condiciones de los pozos del área.(Custodio y Llamas, 2001; Johnson, 1975)

Los análisis efectuados muestran que los pozos están captando acuíferos confinados, con excepción del de la Aldea Chipilapa y la noria de la Finca Manglares. En el caso de la noria se esperaba que el análisis mostrara un acuífero libre, pues es un pozo de poca profundidad (5 m) y en el perfil de sus paredes no se ve ninguna capa confinante y se esta captando un acuífero superficial únicamente. El pozo de Chipilapa, al igual que los otros pozos, son profundos de mas de 100 m, y captan todos los acuíferos posibles y por lo tanto las características de los acuíferos confinados por capas de sedimentos finos como arcillas y limos son los expresados en el análisis. Los registros litológicos del pozo no son claros como para poder explicar este resultado con suficiente base, por lo tanto, coeficiente obtenido puede ser la combinación de las características de un acuífero superficial freático, con otro(s), confinado(s) debajo de él, debido a que regularmente los pozos profundos captan más de un acuífero. En el Cuadro 18, se muestran los coeficientes de almacenamiento obtenidos en el análisis de las pruebas de bombeo.

CUADRO 18. Coeficientes de almacenamiento obtenidos, mediante el análisis de pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Lugar	Coeficiente de almacenamiento (S)
1	Finca San Francisco	$4.17 * 10^{-6}$
2	Finca San Antonio El Valle	$2.11 * 10^{-5}$
3	Finca Manglares	$2.95 * 10^{-2}$
4	Aldea Cerro Colorado, La Gomera	$7.04 * 10^{-5}$
5	Aldea Chipilapa, La Gomera	$2.69 * 10^{-1}$
6	CENGICANA	$2.03 * 10^{-4}$
7	Ingenio Magdalena S.A.	$8.61 * 10^{-4}$

En un estudio realizado por Barahona (2001), se obtuvo un rendimiento específico del 37% para el acuífero superficial, el cual fue evaluado en una noria de riego localizada en la Finca Churubusco, La Gomera, Escuintla, de la parte media de la cuenca. Lo cual confirma que el acuífero superficial es freático.

5.3.2 Transmisividad (T).

Es la razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a 1, o sea 100 por ciento.

Los valores del coeficiente de transmisividad varían desde un poco menos de 12 hasta más de 12,000 m²/día. Un acuífero cuya transmisividad sea menor a 12 m²/día, puede únicamente suministrar agua para usos domésticos o similares. Cuando la transmisividad es mayor a 100 m²/día, el rendimiento será adecuado a propósitos industriales, municipales o de riego.

Los coeficientes de transmisividad y de almacenamiento son especialmente importantes puesto que definen las características hidráulicas, de la formación acuífera. El coeficiente de transmisividad indica cuanta agua se mueve a través de la formación acuífera y el coeficiente de almacenamiento indica que cantidad puede ser obtenida por bombeo o drenaje. Si en un acuífero particular se pueden determinar ambos coeficientes, se podrán efectuar predicciones de gran significación. Algunas de estas son:

- Capacidad específica de pozos de diferentes tamaños
- Abatimiento en el acuífero a diferentes distancias del pozo de bombeo.
- El abatimiento en un pozo en cualquier tiempo después de haber comenzado el bombeo.(Johnson, 1975)

Para determinar esta característica se analizaron 7 pruebas de bombeo en las cuales se puede ver que el acuífero es de muy buena calidad, con coeficientes de transmisividad

altos. Por lo tanto, pueden ser explotados para fines de riego o fines industriales, con excepción de los pozos de Chipilapa y Cengicaña los cuales dieron transmisividades por debajo de los 100 m²/día, esto puede deberse a factores de construcción, como la colocación y calidad de la rejilla del pozo (zona ranurada), desarrollo del pozo para eliminar materiales utilizados en la perforación. Es importante mencionar, que los pozos profundos analizados en este estudio captan más de un acuífero y por lo tanto los valores de transmisividad obtenidos son el reflejo de las características de todos los acuíferos captados por el pozo en su conjunto. En el Cuadro 19 se muestran los valores de transmisividades obtenidos en el análisis de las pruebas de bombeo.

CUADRO 19. Coeficientes de transmisividad, obtenidos mediante el análisis de pruebas de bombeo, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Lugar	Transmisividad (T) (m ² /día)		
		Theis	Cooper - Jacob	Neuman
1	Finca San Francisco	207	361	217
2	Finca San Antonio El Valle	2,000	2,740	-----
3	Finca Manglares	2,070	2,550	2,130
4	Aldea Cerro Colorado, La Gomera	130	245	-----
5	Aldea Chipilapa, La Gomera	14.3	16.1	16.0
6	CENGICANA	22.5	20.4	23.0
7	Ingenio Magdalena S.A.	894	892	-----

5.4 Niveles y movimiento de las aguas subterráneas

Para determinar los niveles de las aguas subterráneas en el área, se inventariaron 106 pozos de agua, los cuales se encuentran distribuidos dentro y fuera de la cuenca.

La mayoría de los pozos son pozos excavados de gran diámetro, los cuales son utilizados para consumo humano.

Las profundidades del agua fueron obtenidas mediante una sonda eléctrica, luego con ayuda de un geoposicionador portátil se obtuvo la elevación del terreno y de esta forma se pudo obtener el nivel del agua con respecto al nivel del mar.

Los niveles freáticos van desde 0.16 msnm, en las zonas cercanas a la costa hasta 454 msnm en las partes altas de la cuenca. La zona más alta de la cuenca no pudo explorarse debido a que es una zona despoblada y por lo tanto no existen pozos de agua perforados mecánicamente o excavados manualmente.

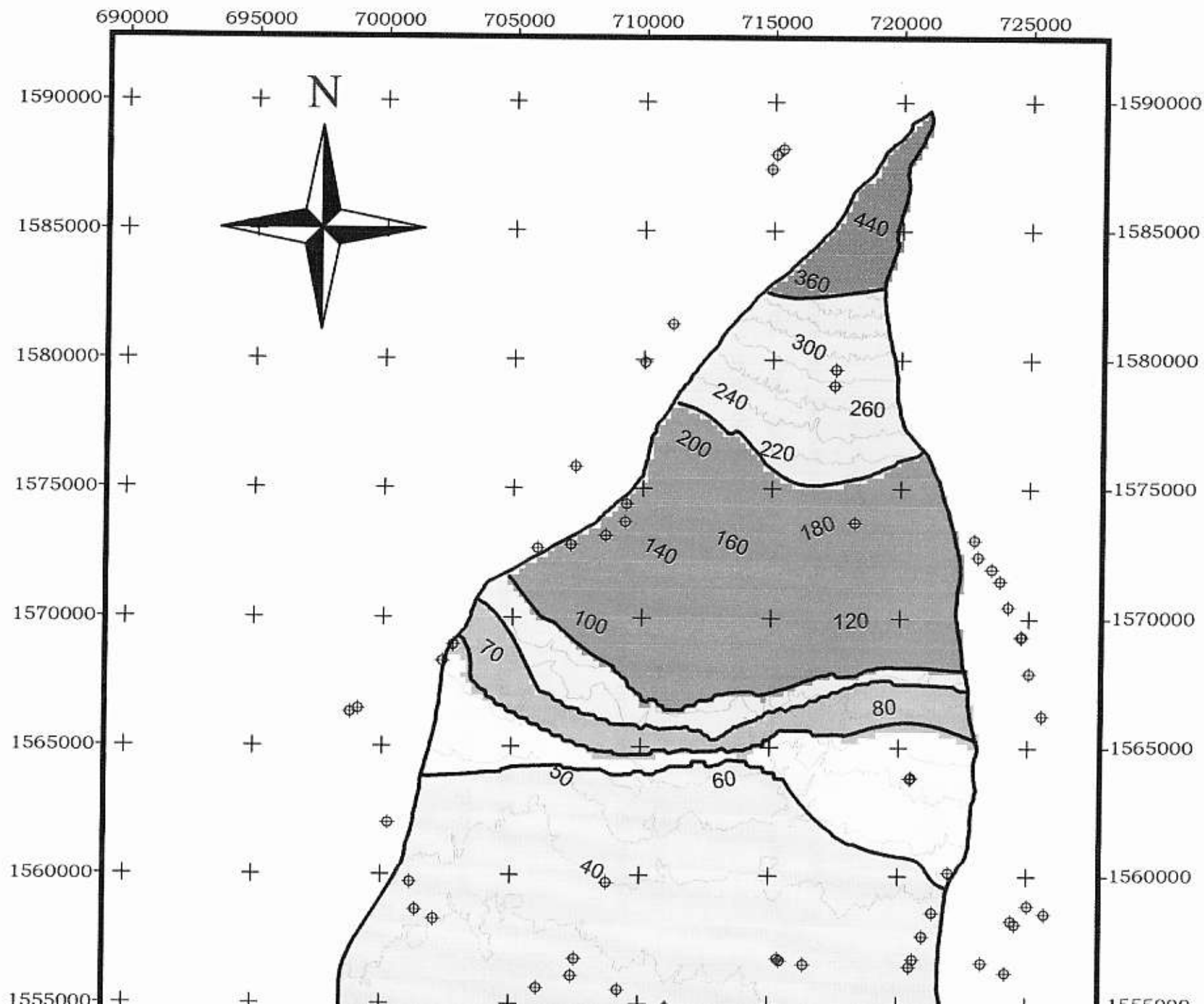
La profundidad del nivel freático va desde 1.01 m, hasta 8.99 m; lo cual indica que la superficie freática coincide en gran manera con la superficie topográfica del área. De esta manera, las líneas de igual nivel freático mantienen la misma tendencia que las curvas a nivel de los mapas topográficos respectivos.

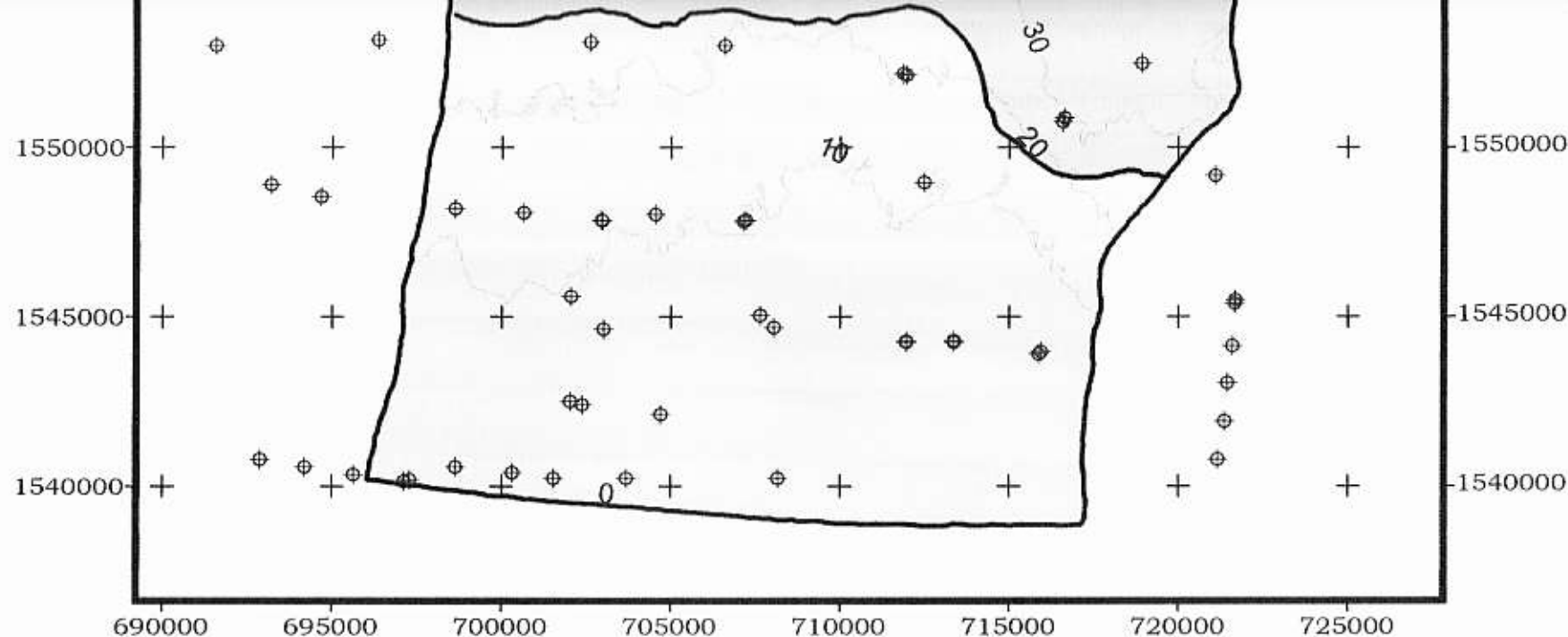
Los pozos profundos también mantienen esta tendencia, pues su nivel estático refleja la tendencia de los niveles freáticos del área.

Para determinar las fluctuaciones de los niveles freáticos, durante el año se efectuaron 2 campañas de muestreo de niveles de pozo, la primera en el mes de marzo y la segunda en agosto.

Al comparar los resultados obtenidos, se puede ver un ligero ascenso de los niveles para el mes de agosto en comparación con los registrados en el mes de marzo. Sin embargo, una zona ubicada en el centro de la cuenca mostró tendencia negativa al comparar dichos valores, lo cual puede deberse a que la recarga local aun no alcanzaba el nivel freático debido al grado de humedad de los suelos y a la necesidad de evapotranspiración de la vegetación, pues las lluvias aun no se habían normalizado completamente.

Con la finalidad de visualizar de mejor forma la tendencia de las líneas isofreáticas se elaboró un mapa de la superficie isofreática, el cual se observa en la Figura 6, en el que se muestra un movimiento del agua de Norte a Sur.





Leyenda

- Cuenca
- Curvas a nivel
- Pozos monitoreados
- Nivel freático (m.s.n.m.)
- 0 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- 100 - 200
- 200 - 300
- 300 - 400
- 400 - 500



Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator
 Datum Horizontal: Norteamericano 1927
 Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866
 Espaciamientos de la cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 6. ISOFREÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
 PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA**

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

5.5 Características y producciones de pozos

La captación de agua subterránea más común en el área es la vertical o pozo cilíndrico y de diámetro menor que la profundidad, los cuales son utilizados para obtener agua para consumo humano, aunque en algunas ocasiones son utilizados con fines de riego. Sin embargo, existen captaciones de agua cuya profundidad es menor que su relación de diámetro y este es el caso de las aguadas o norias utilizadas para riego, las cuales consisten en excavaciones de forma rectangular de 20 m de ancho por hasta 100 m de largo, las cuales tienen una profundidad de 8 a 10 metros, con una columna de agua de 5 m aproximadamente.

La mayoría de los pozos perforados mecánicamente son de 0.2 m de diámetro y revestidos con tubería metálica. Los diámetros varían y llegan hasta 0.25 m, encontrándose además pozos de 0.1 m de diámetro con fines domiciliarios.

Los pozos excavados manualmente tienen 0.9 a 1 m de diámetros habiendo algunos de hasta 3 m, están revestidos de concreto en su mayoría, algunos con metal y en menor número sin revestimiento.

Los pozos perforados identificados presentan profundidades de hasta 168 m (550 pies), los pozos para agua potable son en su mayoría de 100 metros, mientras que existen sistemas de abastecimiento domiciliarios con pozos de 15 y 30 m.

La explotación de las captaciones de agua subterránea varía según el destino de los mismos. Los pozos para abastecimiento de agua para consumo humano son explotados en un rango de 12 a 20 L/s. Mientras que hay pozos con fines industriales como el del Ingenio Magdalena, S.A., cuyo aforo es para ser explotado con cerca de 75 L/s. Además existen pozos perforados con una explotación de 0.3 a 3 L/s los cuales son utilizados para abastecimiento de agua potable.

Los sistemas de captación de norias son explotados con una caudal de hasta 100 L/s, sin embargo el más común es 50 L/s.

Los pozos perforados utilizan unidades de bombeo sumergibles, que utilizan energía eléctrica en su mayoría, existiendo sistemas de turbinas que utilizan motores de combustión interna como fuentes de energía.

Además de estas características, es importante mencionar otras que corresponden al funcionamiento de los pozos entre los que se mencionan:

Nivel estático del agua. Este es el nivel a que el agua permanece dentro de un pozo cuando no se está extrayendo agua del acuífero por bombeo o por descarga libre. Generalmente se expresa como la distancia desde la superficie del terreno (o desde algún punto de referencia cercano a este) hasta el nivel del agua en el pozo. En el caso de un pozo surgente, el nivel estático se halla por encima de la superficie. Este se puede medir una vez que se impida la salida del flujo natural. El nivel estático en estos casos se denomina algunas veces carga de cierre.(Johnson, 1975)

Los niveles estáticos de los pozos se encuentran muy cercanos a la superficie del suelo, varían de 1 m, como en pozo ubicado en la Aldea La Empalizada a menos de 400 m del Océano Pacífico, hasta pozos con niveles estáticos de hasta 26 m como es el caso del pozo de CENGICANA, ó de 19.76 m como el caso del pozo del Ingenio Magdalena S.A. (Cuadro 20)

Nivel de bombeo. Este es el nivel a que se encuentra el agua dentro del pozo, conforme avanza el bombeo. En el caso de los pozos surgentes, es el nivel al cual el agua fluye desde el pozo. El nivel de bombeo también se denomina nivel dinámico. Aunque menos empleado nivel dinámico del agua es la más descriptiva de las dos definiciones.(Johnson, 1975)

Los niveles de bombeo son variables dependiendo de la magnitud de la descarga sin embargo llegan hasta los 61 m como en el caso del pozo de CENGICANA, el cual después de 35 minutos de bombeo aun no estabilizada y tenía ese nivel, en otros casos llega a 20

m y en algunos estabilizan en menos de 3 m, como es el caso de los menos profundos. (Cuadro 20)

Abatimiento. El abatimiento en un pozo significa el descenso que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando o cuando el pozo fluye naturalmente. El abatimiento es la diferencia, medida en metros, entre el nivel estático y el nivel dinámico. Este representa la carga, en metros de agua, que produce el flujo desde el acuífero hacia el pozo y al caudal que se está extrayendo. (Johnson, 1975)

El abatimiento es igual de variable y puede ser de pocos centímetros como en los pozos de San Francisco, San Antonio; hasta varios metros como el pozo de Ingenio Magdalena y CENGICANA. (Cuadro 20)

Abatimiento residual. Una vez que el bombeo se ha detenido, el nivel del agua asciende y trata de alcanzar el mismo nivel existente antes de empezar el bombeo. Durante este periodo de recuperación, la distancia a que el agua se halla por debajo del nivel inicial estático recibe el nombre de abatimiento residual. (Johnson, 1975)

Los abatimientos residuales son del orden de los pocos centímetros en la mayoría de los pozos y se tienen recuperaciones de varios metros en los primeros minutos de haber cesado el bombeo. (Cuadro 20)

Caudal específico.

El caudal específico corresponde al caudal extraído por unidad de descenso de nivel que se presente en el pozo.

Los Caudales específicos son el orden de 0.35 L/s/m, hasta 18 L/s/m; además existen casos como las norias que tienen un rendimiento de 91.82 L/s/m.

Esta es una característica muy importante en los pozos pues de esta manera se calcula el rendimiento del mismo, sin embargo mucho de ello depende de las características del pozo como: colocación de zona ranurada (rejilla de pozo), diámetro, desarrollo del pozo,

etc. A continuación, se muestra el Cuadro 20, conteniendo el resumen de las características de los pozos analizados en el estudio.

CUADRO 20. Características principales del funcionamiento de los pozos analizados, para el estudio hidrogeológico de la cuenca del río Acomé, Escuintla.

Pozo	Rendimiento específico (L/s)	Abatimiento (m)	Abatimiento residual (m)	Nivel Freático (m)	Nivel de bombeo (m)	Rendimiento (L/s)
Ingenio Magdalena	18.00	4.06	2.45	19.76	23.82	73.06
Aldea Chipilapa	0.81	16.30	1.52	5.80	22.10	13.25
Aldea La Empalizada	1.70	8.14		1.00	9.14	13.88
Aldea Chontél	5.17	3.05		6.10	9.15	15.76
Aldea Ceiba Amelia	0.35	51.60		10.00	61.6	18.29
Noria Manglares	91.82	0.55	0.50	1.55	2.10	50.50
Cerro Colorado	1.12	10.67	3.54	4.57	15.24	12.00
CENGICAÑA	0.45	34.54	18.20	26.92	61.46	15.77
Finca San Francisco	2.18	0.17	0.02	2.51	2.68	0.37
Finca San Antonio	18.52	0.39	0.04	1.75	2.74	6.30

la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda.(Custodio y Llamas)

5.6 Potencial del recurso hídrico subterráneo

La forma adecuada de cuantificar la potencialidad del acuífero, es mediante la comparación de los volúmenes de agua recargados en la cuenca, con los volúmenes de agua subterránea extraídos del sistema en un determinado periodo de tiempo. Con el fin de determinar las reservas potenciales reguladoras, sin tomar en cuenta las reservas permanentes.(Herrera, 1998)

De esta manera, analizando la recarga total anual que se produce en la cuenca por concepto de infiltración profunda de agua de lluvia la cual asciende a 213.30 millones de m^3 /año. De este volumen se puede aprovechar un 75% lo que equivale a 160 millones de m^3 al año.

Determinar la extracción de agua subterránea es difícil, debido a la cantidad de usuarios del agua subterránea de la cuenca, todas las poblaciones dentro de la cuenca se abastecen de agua subterránea, y además se hace uso de este recurso para fines agrícolas e industriales; sin embargo, se puede estimar que se tiene una extracción de no más de 50 millones de m^3 /año, los cuales equivalen a la extracción que pudieran hacer 50 equipos de bombeo con fines agrícolas de un caudal de 50 L/s, operando las 24 horas, durante 6 meses al año; conjuntamente con la extracción efectuado por 20 pozos de agua para consumo humano, de un caudal aproximado de 20 L/s, operando las 24 horas, durante todo el año, lo cual equivale a agua para abastecer a 185,000 personas a razón de 175 L/día/persona.

Si la extracción fuera de 50 millones de m^3 /año, equivaldría a 23.47% de la recarga anual de la cuenca (213 millones de m^3), es decir que aun se puede explotar 76.53% de las reservas potenciales reguladoras.

De acuerdo con este análisis, el recurso hídrico subterráneo se encuentra en un estado de desarrollo juvenil, donde las entradas al sistemas son mayores que las salidas. Por lo tanto, el manejo del recurso hídrico subterráneo en la cuenca es deseable y posible.

El acuífero se encuentra actualmente sub-explotado. Sin embargo cabe mencionar que un 70% aproximadamente de las extracciones de agua subterránea se realizan del acuífero superficial a no mas de 10 metros de profundidad del nivel del suelo. Por lo tanto se deberá de planificar la extracción de agua subterránea con una adecuada distribución geográfica, y además de las profundidades de extracción.

Se establecer un registro de las extracciones de agua subterránea, tomando en cuenta todos los usos que se da dentro de la cuenca, para poder planificar el aprovechamiento de los recursos temporales, sin afectar las reservas permanentes de agua subterránea.

5.7 Desarrollo de las aguas subterráneas

El desarrollo de las aguas subterráneas en el área fundamentalmente del manejo de la cuenca de una forma integral y de la debida planificación del uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales.

5.7.1 Consideraciones sobre el manejo de la cuenca

El potencial del recurso hídrico subterráneo en el área es alto, lo cual permite utilizar parte de este potencial con fines de riego en la parte baja de la cuenca que es la que mayores requerimientos de riego presenta.

Este potencial está determinado por las condiciones actuales de los recursos de la cuenca, por lo tanto se debe realizar un manejo integral de los recursos existentes, para que esta oferta de recurso hídrico subterráneo se mantenga o mejore en un futuro.

La cuenca tiene la desventaja de no poseer una cabecera de cuenca lo suficientemente grande para convertirse en una zona de recarga potencial, los árboles son escasos y no se cuenta con una zona de bosque a excepción de la zona de mangle, la cual por encontrarse en la parte más baja de la cuenca y en una zona que permanece inundada, la recarga que ahí sucede no es aprovechable. Sin embargo, dentro de la cuenca existen

áreas no aptas para desarrollar actividades agrícolas o pecuarias, cuyos principales problemas son la pedregosidad y las vetas arenosas, las que pueden reforestarse.

Es importante además controlar la escorrentía superficial, mediante un adecuado desarrollo de las tierras agrícolas, pues con esto se lograría una mayor infiltración del agua de lluvia y se detendría el proceso de degradación de los suelos por la erosión.

Se debe proteger los nacimientos de los ríos y realizar actividades de monitoreo de su caudal y su calidad, debido a que la fuerte actividad agrícola sus alrededores puede causar problemas de calidad y cantidad.

5.7.2 Planificación del uso de los recursos hídricos subterráneos

La planificación del uso de los recursos naturales debe de iniciar desde el concepto de la sostenibilidad del sistema de aguas subterráneas, desde ningún punto de vista se debe de realizar extracciones mayores a las recargas potenciales del área.

La explotación de agua subterránea debe de hacerse preferentemente a través de pozos perforados de una profundidad mayor de los 20 m, tomando en cuenta que la mayor extracción actual de agua subterránea se realiza de los primeros 10 m de acuífero. Esta consideración debe de tomarse en cuenta cuando en áreas vecinas aguas arriba ya se tengan aprovechamientos de tipo norias o aguadas.

Debido a que los niveles freáticos del agua subterránea son bastante superficiales en toda el área y mantienen un comportamiento similar a los gradientes topográficos, las posibilidades de extracción de agua subterránea son buenas en toda el área. Sin embargo basándose en el comportamiento de los pozos analizados con el estudio, las condiciones por debajo de los 50 msnm son las mejores para establecer algún campo de pozos.

CAPITULO 6

CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

En este capítulo se caracteriza de forma general el recurso hídrico de la cuenca, principalmente el agua subterránea, realizando un análisis de las características físicas (conductividad eléctrica), químicas (pH, Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn) y biológicas (Coliformes totales, fecales, presencia de *E. coli*), con la finalidad de determinar la aptitud del agua para ser usada básicamente en riego agrícola y para consumo humano.

Se determinó la calidad del agua para riego según la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), y la calidad del agua para consumo humano sobre la base de las Normas para Agua Potable, establecidas por el Comité Guatemalteco de Normas (COGUANOR).

6.1 Características del agua subterránea.

El movimiento relativamente lento del agua que percola a través del suelo le permite a esta mantener un contacto prolongado y estrecho con los minerales que constituyen la corteza terrestre. Estos minerales son solubles en mayor o menor grado, de tal forma que el agua aumenta su contenido mineral conforme se desplaza, hasta que se alcanza un balance o equilibrio combinado de las sustancias en solución. Son muchas las variables del medio ambiente que afectan los procesos químicos; se han encontrado amplias variaciones en el carácter químico del agua subterránea, aún dentro de pequeñas regiones. (Custodio y Llamas, 2001)

En una agua natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentra en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones presentes; estos son los iones fundamentales. Los iones fundamentales son los cloruros, sulfatos y bicarbonatos (aniones); sodio, calcio y magnesio (cationes). Es frecuente que los aniones nitratos y carbonatos y el catión

potasio, se consideren dentro del grupo de iones fundamentales aun cuando en general su proporción es pequeña. Otras veces se incluye además el ión ferroso.

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que las anteriores y se llaman iones menores a aquellos que se encuentran formando generalmente menos del 1% del contenido iónico total y elementos traza a aquellos que aunque presentes, están por lo general en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales.

Los iones menores más importantes son el nitrato, carbonato, potasio, hierro, nitritos, fluor, amonio y estroncio los cuales suelen estar en concentraciones entre 0.01 y 10 ppm.(Custodio y Llamas, 2001)

La utilidad del agua para varios fines se ve afectada por su contenido de minerales disueltos. Si uno o más minerales exceden la cantidad que puede tolerarse para un uso determinado, debe de aplicarse al agua algún tipo de tratamiento que elimine el mineral indeseable y torne al agua apta para el propósito al que se le va a destinar.(Johnson, 1975)

La mayoría de las aguas subterráneas no contienen materia en suspensión y prácticamente esta libre de bacterias. Por lo general es clara y sin color. Estas características contrastan con las del agua superficial, puesto que esta última es corrientemente turbia y contiene considerable cantidad de bacterias. Por esta razón el agua subterránea resulta ser de una calidad sanitaria superior.

El uso que se le vaya a dar al agua o a los datos de prueba, es lo que en gran parte determina el número de constituyentes o propiedades que por lo general se determinan mediante un análisis de agua. Existen 50 propiedades que deberían determinarse, pero un análisis tal sería mucho más detallado que el que se requiere para obtener una idea de la calidad del agua subterránea que se va a usar en propósitos domésticos, industriales, municipales o de riego.(Johnson, 1975)

Toma de muestras. La toma de muestras de agua en pozos con bomba instalada puede hacerse de esta cómodamente. Es preciso esperar el tiempo suficiente para que el agua reemplazable en el pozo y los conductos haya sido extraída. En ocasiones ese momento se aprecia porque el agua comienza a salir ligeramente turbia o arenosa. El agua almacenada en el pozo puede haber perdido gases con la consiguiente variación de la alcalinidad y dureza, haber tomado oxígeno cambiando su potencial redox o bien puede contener residuos del ataque a las tuberías, su temperatura puede diferir ligeramente de la del acuífero. El agua bombeada es la mejor muestra si la composición del acuífero es uniforme; si hay estratificación de aguas se obtiene una mezcla. Cuando no exista bomba o no pueda muestrearse pueden utilizarse botellas lastradas que puedan llenarse a la profundidad deseada. El muestreo de agua de fuentes o nacimientos es similar al de pozos con la salvedad de que la toma se puede hacer directamente; conviene anotar el caudal que mana de la fuente.

El número de muestras que es preciso tomar para caracterizar a un acuífero es muy variable según el tipo de estudio que se desee realizar y las condiciones hidrodinámicas y de recarga. En ocasiones basta una muestra por cada 10 km², pero a veces esta resulta insuficiente. Las muestras deben tomarse en las condiciones de máxima representatividad eligiendo pozos bien contruidos y cuya zona filtrante esté situada en un lugar adecuado. Los registros de conductividad en pozos ayudan mucho al estudio de la estratificación del agua, en especial en zonas de intrusión marina.

Las muestras deben de ser analizados lo antes posible y, si es posible, tomar precauciones para que no se alteren ciertas características. Conviene evitar cambios de temperatura y agitaciones o vibraciones y el almacenamiento debe hacerse en un lugar fresco y oscuro.(Custodio y Llamas, 2001)

Ciertas propiedades que resultan del contenido y posibles combinaciones de los minerales presentes en solución, reflejan la utilidad del agua para varias condiciones.(Johnson, 1975)

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica es la habilidad de una determinada sustancia para conducir la corriente eléctrica. La conductividad de cada material es diferente. El agua químicamente pura ostenta una conductividad eléctrica relativamente baja, significando esto que es un buen aislante. Sin embargo, con la adición de una pequeñísima cantidad de minerales disueltos, el agua se vuelve conductiva. Esto tiene lugar cuando el material disuelto se separa en iones que llevan sus cargas negativas y positivas. Cuanto mayor sea la cantidad de iones mayor será la conductividad de la solución. La unidad de medida es mhos y en aguas subterráneas se expresa en micromhos.

Concentración de ión Hidrógeno (pH). La concentración relativa de los iones de hidrógeno en el agua, es la que indica si esta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. (Johnson, 1975; OPS, 1987)

6.2 Calidad para uso agrícola

La adaptabilidad del agua para fines de riego, depende tanto de los sólidos totales disueltos (propiedad conocida como salinidad) y el contenido de sodio con relación a las cantidades de calcio y magnesio. Cuando una agua de alto contenido de sodio se aplica al suelo, parte de ese sodio es retenido en la arcilla del suelo. La arcilla cede calcio y magnesio en intercambio con sodio. Esta actividad se denomina intercambio básico.

El intercambio de iones altera las características físicas del suelo. La arcilla que contiene un alto contenido de calcio y magnesio se labra fácilmente y tiene buena permeabilidad. Si la misma arcilla adquiere sodio se vuelve pegajosa y escurridiza cuando se humedece y tiene muy baja permeabilidad. Cuando se seca se contrae en la forma de duros terrones difíciles de cultivar.

Las altas concentraciones de sales de sodio desarrollan suelos alcalinos en los cuales crece muy poca o ninguna vegetación.

Si el agua de riego contiene calcio y magnesio en cantidad tal que exceda la del sodio, las partículas arcillosas del suelo retendrán una gran cantidad de calcio y magnesio para mantener una buena permeabilidad y labrabilidad. Esta agua es muy apropiada para el riego, aunque su contenido mineral sea bastante alto.(Johnson, 1975)

La calidad de una agua con fines de riego, debe de evaluarse sobre la base de la potencialidad de esta para producir efectos dañinos al suelo y a los rendimientos de los cultivos; debe tomarse tanto en cuenta la calidad química como la agronómica; la calidad química esta determinada por la composición y concentración de los constituyentes disueltos que tenga. La calidad agronómica esta determinada por los factores siguientes: calidad química, suelo a regar, método de riego, condiciones de drenaje, cultivo, clima y practicas de manejo de suelo, agua y plantas.(Sandoval, 1989)

Según Sandoval (1,989), las características que determinan la calidad del agua para riego varían de acuerdo al método de clasificación que se use. El método más difundido es el del Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), Riverside California (Manual 60 de Agricultura).

La clasificación hecha por el laboratorio de salinidad del USDA considera dos características básicas para determinar la calidad del agua para riego.

1. La concentración total de sales solubles (Conductividad Eléctrica, CE)
2. La concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes (Relación de Absorción de Sodio, RAS)

La RAS expresa la concentración relativa de Na con respecto al Ca y Mg, así:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

Donde las concentraciones de los iones están expresados en meq/L.

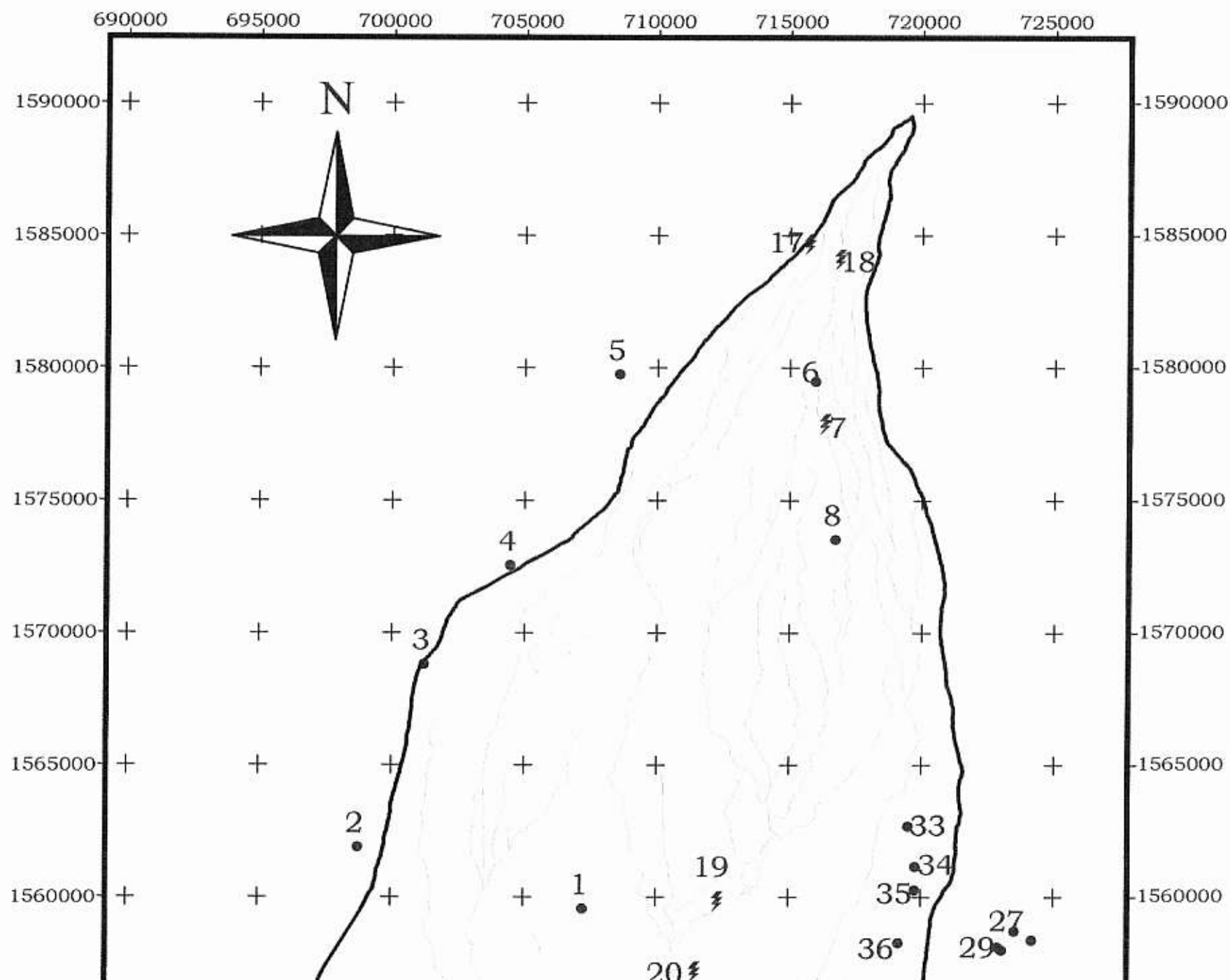
Esta relación representa la actividad de los iones solubles de sodio en la reacción de intercambio catiónico con el suelo. El peligro de la sodificación que representa el uso de un agua de riego, queda determinada por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción del sodio es alta, será mayor el peligro de la sodificación y, al contrario si predominan el Ca y Mg, el peligro es menor.(Sandoval, 1989)

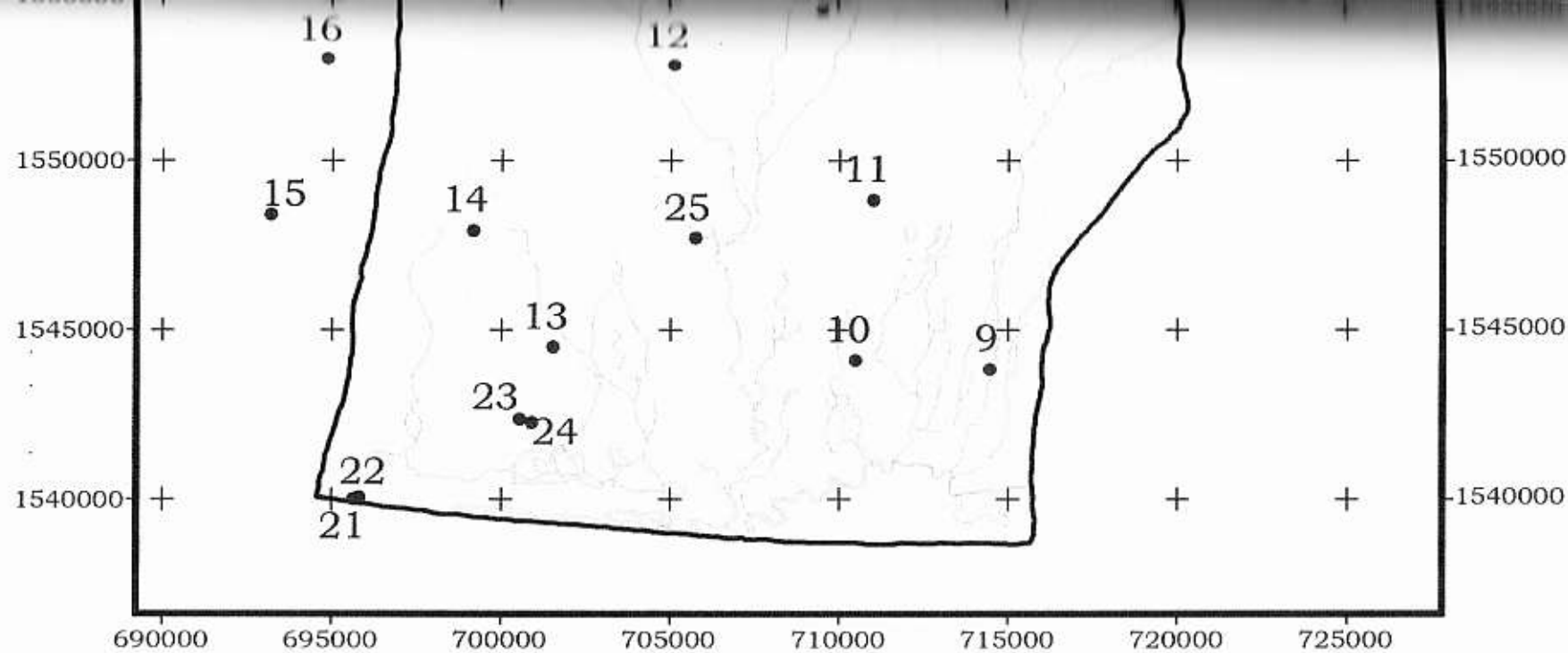
Al clasificar las aguas para riego, se supone que van a usarse bajo condiciones medias con respecto a la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualesquiera de estas variables puede hacer inseguro el uso de un agua que bajo condiciones medias sería de muy buena calidad o, al contrario, pueden podría llegar a considerar un agua como buena cuando en condiciones medias sería de dudosa calidad.(Sandoval, 1989)

Para la clasificación de las aguas para riego por este método se utiliza un diagrama basado en la conductividad eléctrica en micromhos/cm y en la relación de absorción de sodio (RAS)

Para el análisis de la calidad del agua para riego se obtuvieron un total de 60 muestras de agua de agua distribuidas en dos muestreos, 35 muestras a principios del mes de abril en la época de máximo estiaje y 25 muestras en el mes de agosto, al inicio de la época lluviosa. La localización de los puntos puede observarse en la Figura 7.

Los puntos muestreados corresponden en su mayoría a pozos excavados por ser estos los más abundantes en el área. En el segundo muestreo, se utilizaron en el primero, con excepción de los pozos del Parcelamiento El Pilar, Finca Santa Rita, Finca San Patricio y el agua de fabrica. El listado de los puntos muestreados, así como la fuente de la muestra se muestran en el Cuadro 21. En los Cuadros 22 y 23 se muestran los resultados de los análisis físico - químicos de los 2 muestreos.





LEYENDA

-  Cuenca
-  Pozo
-  Río Intermitente
-  Permanente

8 0 8 16 Km



Escala 1:200000

Proyección Universal Transversal Mercator

Datum Horizontal: Norteamericano 1927

Zona 15 extendida, esferoide de Clarke de 1866

Espaciamientos de la cuadrícula Horizontal y Vertical 5,000 m

Figura 7. UBICACIÓN DE MUESTREO DE AGUA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN MANEJO DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA

AÑO 2002

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOME, ESCUINTLA

Realizó: Ing. Agr. Marvin Salguero

CUADRO 21. Puntos de muestreo de agua seleccionados y las fuentes utilizadas, para la determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	LUGAR	Coordenadas UTM (m)		Fuente
		X	Y	
1	Finca El Paraíso	707714	1559994	Pozo excavado
2	Parcelamiento La Libertad Las Cruces	699245	1562327	Pozo excavado
3	Las Playas	701703	1569235	Pozo excavado
4	Campamento	704943	1572973	Pozo excavado
5	Aldea San Pedrito	709034	1580191	Pozo excavado
6	Finca Velásquez	716440	1579922	Pozo excavado
7	Río Parte media	716800	1578300	Cauce del río
8	Finca Velasquitos	717200	1573966	Pozo excavado
9	Finca Salamanca	714936	1544266	Pozo excavado
10	Finca Manglares	710954	1544532	Pozo excavado
11	Finca Bernarda	711480	1549266	Pozo excavado
12	Finca Victorias	705584	1553298	Pozo excavado
13	Noria de Finca San Francisco	702003	1544919	Noria para riego
14	Finca Montañesa	699630	1548368	Pozo excavado
15	Finca Santoña	693648	1548836	Pozo perforado
16	Finca Nueva Esperanza	695323	1553457	Pozo excavado
17	Agua de fabrica	716210	1585085	Salida del Ingenio
18	Río Parte alta	717350	1584512	Cauce del río
19	Río Parte baja (Monte Alegre)	712800	1560250	Cauce del río
20	Río Parte Baja (Puente)	711950	1557600	Cauce del río
21	San José La Empalizada	696108	1540437	Pozo excavado
22	San José La Empalizada	696277	1540478	Pozo perforado
23	Parcelamiento San Jerónimo	701030	1542791	Pozo excavado
24	Parcelamiento San Jerónimo (Pozo Mecánico)	701377	1542686	Pozo perforado
25	Escuela Parcelamiento Agrario Los Chatos	706208	1548142	Pozo excavado
26	Hacienda Lourdes	710010	1555130	Pozo excavado
27	Parcelamiento Agrario El Pilar	724022	1559148	Pozo excavado
28	Parcelamiento Agrario El Pilar	724682	1558823	Pozo excavado
29	Parcelamiento Agrario El Pilar	723392	1558560	Pozo excavado
30	Parcelamiento Agrario El Pilar	723534	1558448	Pozo excavado
31	Parcelamiento Agrario El Pilar	723188	1556563	Pozo excavado
32	Parcelamiento Agrario El Pilar	722252	1556938	Pozo excavado
33	Pozo San Patricio	719976	1563131	Pozo perforado
34	Pozo San Patricio	720258	1561595	Pozo perforado
35	Pozo Santa Rita	720243	1560716	Pozo perforado
36	Pozo Santa Rita	719621	1558716	Pozo perforado

CUADRO 22. Resultados de los análisis físico - químicos de agua realizados en el mes de abril, en la cuenca del río Acomé.

No.	pH	C.E.	meq/litro				RAS	ppm				meq/litro		CLASE
		μS/cm	Ca	Mg	Na	K		Cu	Zn	Fe	Mn	CO ₃	HCO ₃	
1	7.00	372	2.50	2.51	0.17	0.24	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	3.30	C2S1
2	6.80	432	2.62	3.15	0.20	0.21	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	3.89	C2S1
3	6.90	303	2.62	1.77	0.11	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	2.91	C2S1
4	6.70	265	0.75	1.25	0.15	0.19	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	2.40	C2S1
5	6.30	194	2.25	0.80	0.10	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	C1S1
6	6.40	153	2.12	0.56	0.08	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.71	C1S1
7	7.90	180	2.00	0.78	0.10	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	1.46	C1S1
8	6.60	143	2.00	0.66	0.06	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	C1S1
9	6.80	373	2.37	2.16	0.16	0.19	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	C2S1
10	7.10	878	2.99	4.69	4.17	0.47	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	8.19	C3S1
11	7.00	561	2.62	3.13	2.09	0.32	1.23	0.00	0.00	0.00	0.80	0.58	5.14	C2S1
12	7.70	1061	2.74	5.30	5.41	0.68	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	9.38	C3S1
13	7.30	988	1.00	4.21	5.41	0.41	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	6.35	C3S1
14	7.40	753	2.50	4.89	2.39	0.32	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	6.16	C3S1
15	7.30	933	3.24	4.81	3.98	0.46	1.98	0.00	0.00	0.00	0.10	0.45	7.24	C3S1
16	7.50	578	2.12	2.38	3.33	0.32	2.22	0.00	0.00	0.00	0.10	0.90	4.93	C2S1
17	6.20	376	2.37	1.46	0.19	0.45	0.14	0.00	0.00	0.40	0.10	0.00	2.06	C2S1
18	7.70	175	1.62	0.74	0.09	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	1.54	C1S1
19	7.20	301	1.75	1.23	0.13	0.13	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	2.98	C2S1
20	7.40	321	1.87	1.67	0.17	0.17	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	2.93	C2S1
21	8.00	752	1.87	3.23	2.65	0.56	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	C3S1
22	7.00	365	1.50	0.66	2.70	0.35	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	3.49	C2S1
23	7.20	1166	3.24	3.93	7.61	0.34	4.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	7.70	C3S1
24	7.10	332	2.00	1.23	0.27	0.14	0.21	0.00	0.00	0.00	0.50	0.29	3.18	C2S1
25	7.30	1422	3.12	4.13	10.11	0.39	5.31	0.00	0.00	0.00	0.10	1.28	9.79	C3S1
26	6.90	472	2.00	2.86	0.28	0.23	0.18	0.00	0.00	0.00	0.20	0.35	4.22	C2S1
27	7.00	396	2.00	2.45	0.17	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00	0.30	0.38	4.11	C2S1
28	7.00	410	2.00	2.45	0.18	0.22	0.12	0.00	0.00	0.00	0.80	0.35	4.27	C2S1
29	7.00	781	3.12	3.35	2.22	0.87	1.23	0.00	0.00	0.00	2.70	0.70	6.21	C3S1
30	7.00	402	2.00	2.10	0.18	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	7.90	1.15	2.80	C2S1
31	7.10	436	2.00	2.67	0.21	0.22	0.14	0.00	0.00	0.00	0.20	1.52	3.86	C2S1
32	7.20	706	2.37	5.14	0.30	0.22	0.15	0.00	0.00	0.00	1.10	0.45	7.34	C2S1
33	7.40	235	1.37	1.38	0.12	0.14	0.10	0.00	0.00	0.00	0.50	0.19	2.16	C1S1
34	7.70	234	1.25	0.57	0.13	0.14	0.14	0.00	0.00	0.60	0.50	0.22	2.02	C1S1
35	7.10	269	1.25	0.66	0.16	0.16	0.16	0.00	0.00	0.40	0.90	0.19	2.74	C2S1
36	7.10	287	1.25	0.67	0.17	0.18	0.17	0.00	0.00	0.00	0.90	0.22	2.98	C2S1

CUADRO 23. Resultados de los análisis químicos de agua realizados en el mes de agosto, en la cuenca del río Acomé.

No.	pH	C.E.	meq/litro				RAS	ppm				meq/litro		CLASE
		µS/cm	Ca	Mg	Na	K		Cu	Zn	Fe	Mn	CO ₃	HCO ₃	
1	6.70	330	1.00	1.95	0.61	0.14	0.50	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	4.28	C2S1
2	7.00	504	1.37	2.94	1.11	0.24	0.76	0.00	0.00	0.00	0.10	0.36	6.00	C2S1
3	6.90	319	1.37	1.46	0.52	0.17	0.44	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	3.45	C2S1
4	6.80	412	1.87	1.38	1.02	0.21	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	C2S1
5	6.50	191	1.87	0.64	0.41	0.10	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	C1S1
6	6.60	126	0.75	0.31	0.30	0.08	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	C1S1
7	7.40	155	0.75	0.56	0.35	0.08	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91	C1S1
8	6.80	141	0.75	0.51	0.26	0.03	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	C1S1
9	7.30	903	1.87	4.00	4.67	0.49	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	11.54	C3S1
10	7.20	913	2.12	4.48	4.02	0.49	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.81	C3S1
11	7.10	518	1.50	2.55	1.96	0.29	1.38	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	6.91	C2S1
12	7.70	1075	2.00	5.59	5.43	0.69	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	11.36	C3S1
13	7.20	360	1.50	1.27	1.30	0.13	1.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	4.27	C2S1
14	7.50	758	1.87	4.77	2.39	0.32	1.31	0.00	0.00	0.00	0.10	0.54	7.81	C2S1
15	7.50	874	2.37	4.11	3.80	0.45	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	7.91	C3S1
16	7.70	600	1.37	2.34	3.26	0.32	2.39	0.00	0.00	0.00	0.10	0.91	6.54	C2S1
18	7.30	401	0.87	2.30	1.09	0.42	0.87	0.00	0.00	0.00	0.50	0.54	4.27	C2S1
19	7.50	187	0.75	0.76	0.93	0.09	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	C1S1
20	7.60	210	0.87	0.90	0.37	0.11	0.39	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	2.73	C1S1
21	7.10	899	0.75	2.73	3.70	0.53	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	3.28	C3S1
22	7.90	363	0.75	0.56	2.50	0.34	3.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.64	C2S1
23	7.30	1102	2.62	3.41	6.34	0.31	3.65	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	10.00	C3S1
24	7.20	327	1.25	1.15	1.30	0.14	1.19	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	4.27	C2S1
25	7.40	1462	2.99	4.11	1.13	0.38	0.60	0.00	0.00	0.10	0.00	0.54	14.00	C3S1
26	7.10	458	1.37	2.49	1.41	0.22	1.01	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	5.64	C2S1

El pH de las muestras de agua se encuentra en un rango de 6.2 a 8, para el primer muestreo y de 6.5 a 7.9 para el segundo muestreo, de esta forma se observa que los valores no varían mucho en este aspecto de un muestreo al otro y las diferencias pueden tener su origen en la toma de las muestras o en el análisis de laboratorio. Los pH son ligeramente alcalinos y pueden dar problemas en la aplicación de productos agroquímicos sensibles a pH altos, aunque estos son ligeramente alcalinos. Las aguas más alcalinas son las más cercanas al mar. Las muestras 21 y 22 corresponden a pozos muy cercanos al mar y hay una diferencia de pH de 8 en el pozo somero y de 7 en el pozo

profundo por lo cual también hay diferencias en profundidad. El agua de la noria de la Finca San Francisco que es utilizada para riego tiene un pH de 7.2

La conductividad eléctrica de las muestras tiene valores que van de 1422 a 143, y de 1462 a 126, para el primer y segundo muestreo respectivamente, las diferencias son mínimas, debido a estas conductividades las aguas se clasifican de C1 a C3, las aguas localizadas más cercanas al mar a una altura menor de 20 msnm aproximadamente, son aguas C3, de esta altura hasta los 200 msnm aproximadamente son aguas C2 y la parte alta de la cuenca son aguas C1, esta tendencia puede deberse al efecto de la brisa del mar sobre el área, la que alcanza el acuífero superficial, debido a que en profundidad si hay diferencias como es el caso del pozo profundo de la Aldea Empalizada que es el punto más cercano al mar y presenta una conductividad media lo cual la ubica como agua C2, sin embargo el pozo somero en la misma localidad tiene clase C3.

Por lo tanto, para el uso de esta agua con fines de riego se deberán de tomar precauciones al momento de seleccionar las especies vegetales a cultivar, además de mejorar las áreas de drenaje deficiente.

La Relación de Absorción de Sodio de las aguas es baja, por lo tanto, todas las aguas se clasifican como S1, las cuales pueden usarse en la mayoría de los suelos. El rango en que se presenta la RAS va de 5.31 a 0.05 en el primer muestreo y de 0.33 a 3.65 en el segundo muestreo. Las cantidades de calcio son bajas, las de magnesio son mayores que las del calcio.

El cobre y el zinc se encuentran ausentes en las muestras analizadas, solo se encontró Zinc en el segundo muestreo en el pozo de la Finca Paraíso, La Gomera.

El hierro se encontró en tres de las muestras en cada uno de los muestreos, pero en ninguna se presentó en los dos muestreos. El primer muestreo fueron las muestras del agua de fábrica, un pozo de Santa Rita y un pozo de San Patricio, cabe mencionar que los pozos son profundos y el hierro puede venir del material geológico depositado por los lahares que han dado origen a la geomorfología del área. En el segundo muestreo se

presentó hierro en el pozo de la Finca Paraíso, en la parte baja del río y en el Parcelamiento Agrario Los Chatos.

El manganeso está presente en mayor número de muestras, este elemento puede tener su origen debido a un ambiente reducido en las aguas del acuífero, debido a los altos contenidos de materia orgánica, siendo estos acuíferos someros en su mayoría.

Estos dos elementos (hierro y manganeso), deberán de ser muestreados a más detalle debido a que están ligados a la geología de la cuenca (lahares) y además existen presencia de bacteria ferrosa en algunos pozos del área, tal es el caso de pozos en la Finca El Paraíso, en el municipio de La Gomera.

La presencia de estos dos elementos en solución en el agua del suelo se puede ver favorecida como se mencionaba anteriormente tanto por las características geológicas de la cuenca, como por altos contenidos de materia orgánica, lo crea un ambiente reducido en el cual el hierro y manganeso son solubles.

En resumen las aguas subterráneas son de buena calidad para riego, presentando un moderado peligro de salinidad en las partes bajas principalmente, para lo cual deben de tomarse las precauciones respectivas. Son en su mayoría clasificaciones C1S1, C2S1 y C3S1. En cuanto a los elementos menores son de especial atención el hierro y el manganeso los cuales producen obstrucciones en los sistemas de riego presurizado principalmente

6.3 Calidad para consumo humano

Para la clasificación o estudio de la calidad del agua con fines de consumo humano, se cuentan con normas internacionales como las de la Organización Mundial de la Salud, las cuales se han venido aplicando desde 1971.

En Guatemala en el año de 1,984, se estableció la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), la cual está adscrita al Ministerio de Economía. Dicha comisión fijó las normas de calidad del agua potable, mediante la norma NGO 29 001 Agua Potable.(Ministerio de Economía, 2001)

Esta norma define los tipos de límites máximos para las características físicas, químicas y sustancias tóxicas presentes en el agua potable. Las normas contienen dos términos, el Límite Máximo Aceptable (LMA), que es la máxima concentración en la cual una sustancia química presente en el agua podría causar daño al consumidor y límite en el cual otras características podrían resultar desagradables al consumo.

Mientras que el Límite Máximo Permisible (LMP), es cuando la concentración supera el valor establecido, por lo que el agua representa un riesgo tóxico a la salud humana y esta agua no es adecuada para el consumo humano.(Ministerio de Economía, 2001)

Para determinar la calidad del agua con fines de consumo humano, se seleccionaron características químicas como el Calcio, Zinc, Cobre, Hierro, Magnesio y Manganeseo; características físicas como el pH y la Conductividad eléctrica; y características microbiológicas como Coliformes Totales, Coliformes Fecales y presencia de *Escherichia coli*.

Para esto se seleccionaron 10 puntos de muestreo distribuidos en toda la cuenca, se obtuvieron muestras tratando de establecer, en donde fue posible diferencias en profundidad, como es el caso de La Empalizada y del Parcelamiento San Jerónimo, de conocer el estado del agua en las fuentes superficiales, con puntos antes y después de la población principal que es la cabecera municipal de La Gomera, Escuintla.

Se realizaron dos muestreos, uno en el mes de abril y el otro en el mes de agosto para tratar de establecer alguna diferencia en el tiempo. Los puntos elegidos para el análisis se muestran en el Cuadro 24.

CUADRO 24. Puntos de muestreo seleccionados para el análisis de calidad del agua con fines de consumo humano

No.	Procedencia	Fuente
1	Pozo San Francisco.	Pozo perforado
2	Río Parte alta	Cauce del río
3	Río Parte baja (antes de La Gomera)	Cauce del río
4	Río Parte Baja (después de La Gomera)	Cauce del río
5	San José La Empalizada	Pozo excavado
6	San José La Empalizada	Pozo perforado
7	Parcelamiento San Jerónimo	Pozo excavado
8	Parcelamiento San Jerónimo	Pozo perforado
9	Parcelamiento Agrario Los Chatos	Pozo excavado
10	Hacienda Lourdes	Pozo excavado

Las muestras se analizaron las características químicas y físicas en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía de la USAC; mientras que los análisis microbiológicos los realizaron en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Farmacia de la USAC.

Los resultados de los análisis físico – químicos y microbiológicos para los dos muestreos, se presentan a continuación en los Cuadros 25 y 26 respectivamente.

CUADRO 25. Características físico – químicas de las muestras de agua analizadas en abril para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla

No.	pH	$\mu\text{S/cm}$	mg/litro				mg/L			
		C.E.	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn
1	7.30	988	20.04	51.15	124.38	16.03	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7.70	175	32.46	8.99	2.07	3.52	0.00	0.00	0.00	0.00
3	7.20	301	35.07	14.94	2.99	5.08	0.00	0.00	0.00	0.00
4	7.40	321	37.47	20.29	3.91	6.65	0.00	0.00	0.00	0.00
5	8.00	752	37.47	39.24	60.92	21.89	0.00	0.00	0.00	0.00
6	7.00	365	30.06	8.02	62.07	13.68	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7.20	1166	64.93	47.75	174.95	13.29	0.00	0.00	0.00	0.00
8	7.10	332	40.08	14.94	6.21	5.47	0.00	0.00	0.00	0.50
9	7.30	1422	62.52	50.18	232.43	15.25	0.00	0.00	0.00	0.10
10	6.90	472	40.08	34.75	6.44	8.99	0.00	0.00	0.00	0.20

CUADRO 26. Características físico-químicas de las muestras de agua analizadas en agosto para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	pH	$\mu\text{S/cm}$	mg/litro				mg/L			
		C.E.	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn
1	7.2	360	30.06	15.43	29.90	5.07	0.00	0.00	0.00	0.10
2	7.3	401	17.43	27.95	25.07	16.38	0.00	0.00	0.00	0.50
3	7.5	187	15.03	9.23	21.39	3.51	0.00	0.00	0.00	0.00
4	7.6	210	17.43	10.94	8.51	4.29	0.00	0.00	0.10	0.00
5	7.9	899	15.03	33.17	85.10	20.67	0.00	0.00	0.00	0.00
6	7.1	363	15.03	6.80	57.50	13.26	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7.3	1102	52.50	41.43	145.82	12.09	0.00	0.00	0.00	0.50
8	7.2	327	25.05	13.97	29.90	5.46	0.00	0.00	0.00	0.50
9	7.4	1462	59.92	49.94	25.99	14.82	0.00	0.00	0.10	0.00
10	7.1	458	27.45	30.25	32.43	8.58	0.00	0.00	0.00	0.40

En cuanto al pH se refiere no existe ninguna limitación para el consumo humano pues los valores oscilan entre 6.9 y 8, pues se encuentra entre los valores de 7.0 a 8.0 (LMA), solo la muestra 10 se sale de ella ligeramente en el muestreo de abril, pero esta dentro de 6.5 a 9.2 (LMP).

La conductividad eléctrica se encuentra en un rango de 175 a 1462 $\mu\text{Siemens/cm}$, lo cual esta fuera del valor del LMA, aunque todas las muestras se encuentran por debajo del LMP.

La mayoría de las muestras se encuentran dentro del límite LMA (75 mg/L) para agua potable, para el contenido de Calcio, pues las muestras tienen un rango de calcio de 15.03 a 64.93 mg/L, por lo cual no representa riesgo para el consumo humano.

El magnesio tiene un LMA de 50 mg/L, y el rango de valores de las muestras es de 6.8 a 51.15 mg/L, por lo tanto sobrepasa ligeramente este límite, mas no el LMP que es de 150 mg/L, por lo tanto esta característica no representa limitante para el consumo humano.

El zinc y el cobre no están presentes en ninguna de las muestras, mientras que el hierro aparece en dos de ellas pero su concentración igual al LMA (0.1 mg/L), por lo cual no representa ningún riesgo para la salud humana.

El manganeso está presente en 5 de las 10 muestras analizadas, y en 3 de ellas es igual al LMP (0.5 mg/L), y en las otras dos en menor al LMP, pero mayor al LMA (0.05 mg/L), por lo tanto este elemento se convierte en el único que pudiera ser limitante para el consumo humano.

Sin embargo, según la OMS, solo un incidente aislado se ha presentando de intoxicación por manganeso y es el de un pozo en Japón con un nivel de 14 mg/L, lo cual produjo problemas de salud, en otra área del Japón una concentración de 0.75 mg/L no produjo al parecer efectos adversos en la salud.

Otro aspecto respecto al manganeso es que en concentraciones mayores a 0.15 mg/L, el manganeso imparte un sabor desagradable al agua y mancha la ropa de lavado, los artefactos sanitarios y la fontanería, además de producir problemas de incrustaciones cuando se precipita, de ahí se establece el valor guía de 0.1 mg/L, basado en los estudios colorantes del manganeso, por lo cual se considera un valor por aspectos estéticos.(OPS, 1987))

En resumen, desde el punto de vista físico –químico las aguas son aptas para consumo humano, sin ningún tipo de consecuencia para la salud humana.

Otro aspecto que se debe de tomar en cuenta cuando se evalúa la aptitud de un agua con fines de consumo humano es la microbiología, a continuación en los Cuadros 27 y 28, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos realizados para determinar calidad del agua con fines de consumo humano.

CUADRO 27. Características microbiológicas de las muestras de agua analizadas en abril para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Procedencia	Bacterias Totales	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	<i>E. coli</i>
		UFC	NMP	NMP	
1	Pozo San Francisco.	32,300	>24,000	>24000	Si
2	Río Parte alta	1,881	>2,400	>2,400	Si
3	Río Parte baja (antes de La Gomera)	3,240	>2,400	>1,600	Si
4	Río Parte Baja (después de La Gomera)	3,100	>2,400	>2,400	Si
5	San José La Empalizada	1,400	>2,400	18	Si
6	San José La Empalizada	67	2	<2	No
7	Parcelamiento San Jerónimo	4,600	>2,400	70	Si
8	Parcelamiento San Jerónimo	110	2	2	Si
9	Parcelamiento Agrario Los Chatos	2,360	130	8	Si
10	Hacienda Lourdes	1,640	130	8	Si

UFC = Unidades formadoras de colonias; NMP= Número más probable

CUADRO 28. Características microbiológicas de las muestras de agua analizadas en agosto para la calidad con fines de consumo humano, en la cuenca del río Acomé, Escuintla.

No.	Procedencia	Bacterias Totales	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	<i>E. coli</i>
		UFC	NMP	NMP	
1	Pozo San Francisco.	3,135	350	8	Si
2	Río Parte alta	40	7	>2	No
3	Río Parte baja (antes de La Gomera)	5,020	>2,400	350	Si
4	Río Parte Baja (después de La Gomera)	23,300	>2,400	>2,400	Si
5	San José La Empalizada	18,400	>2,400	170	Si
6	San José La Empalizada	14,500	280	<2	No
7	Parcelamiento San Jerónimo	98,800	>2,400	1,600	Si
8	Parcelamiento San Jerónimo	560	1,600	<2	No
9	Parcelamiento Agrario Los Chatos	115,000	>2,400	350	Si
10	Hacienda Lourdes	1,540	920	7	Si

UFC = Unidades formadoras de colonias; NMP= Número más probable

En cuanto al análisis microbiológico de agua para consumo humano, la norma COGUANOR NGO 29 001, establece que el agua es potable si cumple con las siguientes condiciones:

- Menos de 2.2 organismos coli - erogenes en 100 cc de muestra, definiéndose como organismos de los grupos coliformes a todos los bacilos aeróbicos o anaerobios facultativos no esporógenos. Gram positivos, que fermenten el caldo lactosado con formación de gas.
- Menos de 200 colonias bacterianas por mililitro de la muestra, en la placa agar incubada a 20 y 35°C por 24 horas.(OPS, 1987)

Con base en estas indicaciones, nos damos cuenta que desde el punto de vista microbiológico, el agua no es apta para consumo humano, a excepción del pozo perforado de la Aldea La Empalizada, La Gomera, pues cumple con la norma en el muestreo del mes de abril, no así en agosto cuando aumentaron los coliformes totales, pero puede deberse contaminaciones externas del pozo, como la tubería.

Es de importancia mencionar que de la mayoría de las muestras analizadas, se aisló *E. coli*, por lo que es recomendable realizar análisis de nematodos intestinales en la población, según la recomendación del Laboratorio de microbiología.

Los organismos del grupo de los coliformes son buenos indicadores de la calidad del agua potable, son fáciles enumerar e identificar entre estos se encuentra *E. coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, estos pueden tener poca importancia desde el punto de vista sanitaria si se encontraran ausentes los coliformes fecales, pues estos pueden provenir de la vegetación y el suelo y se utilizan más como indicativos de la calidad de los sistemas de tratamiento.

Entre los coliformes totales se encuentra la *E. coli*, la cual tiene un origen específicamente fecal, y rara vez esta presente en el suelo o en la vegetación. Por lo tanto su presencia es indicativo de contaminación fecal del agua. Aunque existe la probabilidad

de que se desarrollen nuevamente en el sistema de distribución, en lugares con alto contenido de nutrientes bacterianos, bajo cloro residual, temperaturas mayores a 13°C y una demanda bioquímica de oxígeno mayor a 14 mg/L.(OPS, 1987; Tebbutt, 1990))

La alta contaminación del acuífero superficial de la cuenca se debe fundamentalmente a la falta de sistemas de tratamientos de aguas servidas, en este caso la mayoría de las comunidades carece de sistemas de drenajes y por lo tanto, las aguas servidas son vertidas superficialmente. Además las letrinas son otra fuente de contaminación puntual debido a que tienen contacto muchas veces con el nivel freático y se encuentran muy cercanas a los pozos de agua.

En resumen, con base en los análisis físico - químico y microbiológicos, el agua del acuífero superficial, utilizada para consumo humano en gran medida, no es apto para el consumo humano.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- 7.1.1 En el área de estudio existe un sistema de acuíferos, en una formación no consolidada de arena y grava, cuya extensión superficial es mayor que la de la cuenca hidrológica y posiblemente coincida con el abanico aluvial que se forma en los ríos Achiguate – Acomé – Coyolate.
- 7.1.2 El estudio de las características de los acuíferos, permite establecer que el sistema de acuíferos de la cuenca es de muy buena calidad para ser explotados con fines de riego.
- 7.1.3 El acuífero superior es libre o freático, con coeficiente de almacenamiento de 0.11 a 0.30. Una transmisividad de 1,280 a 2,550 m²/día. El nivel freático del acuífero es superficial (1 a 8 m), con fluctuaciones de 0.3 a 1.0 m durante el año, con gradiente igual al topográfico del área. El acuífero subyacente es confinado, con coeficientes de almacenamiento de $2.11 \cdot 10^{-5}$ a $1.40 \cdot 10^{-3}$, con transmisividades de 894 m²/día.
- 7.1.4 El estudio hidrológico permite establecer que el río Acomé, es influente en la parte alta de la cuenca y efluente en la parte media y baja de la misma.
- 7.1.5 La precipitación pluvial tiene un comportamiento orográfico, generando las necesidades de riego más grandes en la zona cercana al mar y produciendo la mayor recarga de acuíferos en la parte alta.
- 7.1.6 Con base en el cálculo de recarga, se determinó que en la cuenca existe un potencial del recurso hídrico subterráneo de 213 millones de m³/año.

- 7.1.7 La recarga de agua subterránea equivale al 15% de la precipitación pluvial de la cuenca.
- 7.1.8 Las aguas subterráneas pueden ser utilizadas con fines de riego, ya que sus características físicas y químicas permiten clasificar el agua en las clases C1S1, C2S1, C3S1; las cuales son aptas para riego, con algunas consideraciones de manejo.
- 7.1.9 Las aguas subterráneas del acuífero superficial no son aptas para consumo humano de acuerdo a las normas COGUANOR NGO 29 001, debido a que sus características microbiológicas se convierten en una limitante para su uso, por estar altamente contaminada, lo cual constituye un riesgo para la salud humana.

7.2 RECOMENDACIONES

- 7.2.1 Impulsar un plan de manejo integral de los recursos hídricos subterráneos y superficiales de la cuenca, en la cual participen todos los usuarios de los mismos.
- 7.2.2 Mantener un adecuado registro de los pozos públicos y privados del área de la cuenca y zonas aledañas. Y además, de otras formas de captación de agua subterránea como norias o aguadas de riego. Registrando los caudales extraídos, periodos que laboran, niveles estáticos, niveles de bombeo, profundidades, características de construcción y perfiles litológicos.
- 7.2.3 Realizar pruebas de bombeo de pozos para obtener mayor información hidrogeológica, que permita definir modelos matemáticos del agua subterránea y planificar el desarrollo del acuífero.
- 7.2.4 Realizar estudios geofísicos a fin de determinar de forma precisa la geometría del acuífero, principalmente el espesor del mismo.
- 7.2.5 Proponer la presencia de un geólogo ó hidrogeólogo, durante la perforación de nuevos pozos, para realizar un adecuado manejo de las muestras del acuífero y garantizar un perfil litológico confiable.
- 7.2.6 Proteger los nacimientos de los ríos Acomé y Colojate, reforestando las áreas cercanas a los mismos.
- 7.2.7 Manejar adecuadamente las áreas sujetas a erosionarse, con el fin de reducir al máximo la escorrentia superficial y favorecer la infiltración del agua de lluvia, lo que favorece la recarga del acuífero.
- 7.2.8 Establecer una red de piezómetros en el área, para monitorear las fluctuaciones de los niveles del agua subterránea durante el año. Y realizar pruebas de bombeo, para determinar los parámetros hidrogeológicos del área a mayor detalle.

- 7.2.9 Establecer una estación de hidrométrica en el río Acomé, para elaborar los hidrogramas de descarga respectivos y poder determinar el flujo base del río.
- 7.2.10 Mantener registro de la calidad del agua, realizando por lo menos una campaña de muestreo al año, para determinar cualquier variación en el tiempo y determinar impactos químicos y físicos a las aguas subterráneas.
- 7.2.11 Para establecer sistemas de riego localizado (goteo, microaspersión, etc), se deberá de monitorear elementos como tales el hierro y manganeso los cuales están ligados a la geología de la cuenca y pueden causar problemas de incrustaciones en los emisores del sistema y en caso de ser necesario implementar adecuados sistemas de aireación para precipitarlos antes de que ingresen al sistema.
- 7.2.12 Mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades, mediante la perforación de pozos profundos que no capten el acuífero superficial, y establecer sistemas de saneamiento (drenajes sanitarios), sistemas de potabilización de agua (cloración), tratamientos de desechos sólidos y de aguas servidas; para disminuir la contaminación del acuífero.
- 7.2.13 Cuando se utilicen aguas de clase C2S1 y C3S1 para riego se deberá de monitorear la salinidad de los suelos para determinar riesgo de salinidad en los mismos y tomar las medidas preventivas pertinentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARAHONA CARIAS, R. 2001. Estudio y aprovechamiento para riego del acuífero superficial de la zona baja de la Costa Sur de Guatemala. In: Congreso Nacional de Caña de Azúcar (10,2001, Guatemala). Memoria. Guatemala, CENGICANA. p. 115-121

2. CABRERA C., A. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachali del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis de Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 52 p.

3. CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR. 1996. Estudio semidetallado de los suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. 2 ed. Guatemala. 216 p.

4. CRUZ S., J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.

5. CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Ediciones Omega. v. 1-2, 2350 p.

6. FISHER, R. L. 1961. Middle america trech: Topography and structure. Geology Society Bull., 72. p. 703-720.

7. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1984. Mapa topográfico de la república de Guatemala. Hojas cartográficas Alotenango 1959 II, Santa Lucia Cotzumalguapa 1858 I, Escuintla 2058 IV, Obero 2058 II, La Gomera 1858 II, Sipacate 1957 I y Puerto de San José 2057 IV. Guatemala. Escala 1:50,000. Color

8. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1984. Mapa geológico de la república de Guatemala. Hoja cartográfica Guatemala. Guatemala. Escala 1:250,000. Color.
9. GUATEMALA. INSIVUMEH-BRGM. 1997. Modelización del transporte de agua y solutos en los estratos volcánicos y sedimentarios en la Ciudad de Guatemala. Proyecto de cooperación Franco-Guatemalteco. 144 p.
10. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN. DIRECCIÓN DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1991. Plan maestro de riego y drenaje. Guatemala. Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003. 71 p.
11. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN. UNIDAD DE POLÍTICAS E INFORMACIÓN ESTRATEGICA. 2001. Mapa fisiográfico-geomorfológico de la República de Guatemala. Memoria Técnica. 117 p. (<http://www.maga.gob.gt/sig>)
12. GUATEMALA. MINISTERIO DE ECONOMÍA. COMISION GUATEMALTECA DE NORMAS. Norma NGO 29 001 agua potable. Guatemala, Guatemala. 3 p.
13. HERRERA IBÁÑEZ, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 223 p.
14. _____. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, Departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis de Mag. Sc. Costa Rica , Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 104 p.
15. JOHNSON, E. E. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, EE.UU., Johnson Inc. 513 p.

16. KRASNY, J.; HECHT, G. 1998. Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región Pacífico de Nicaragua. Managua, Nicaragua, COSUDE-INETER-GTZ. 154 p.
17. KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. 1994. Analysis and evaluation of pumping test data. Wageningen, The Netherlands. International Institute for Land Reclamation and Improvement. 377 p.
18. LINSLEY, A. 1988. Hidrología para Ingenieros. 2 Ed. México D.F., McGraw – Hill. 386 p.
19. MACHORRO, R. 2000. Hidrogeología física principios y aplicaciones. Guatemala, Sociedad Geológica Guatemalteca. 113 p.
20. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 1987. Guías para la calidad del agua potable; criterios relativos a la salud y otra información base. Washington D.C., EE.UU. v. 2, 350 p.
21. ROLDAN PEREZ, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia, Antioquia, Universidad de Antioquia. 529 p.
22. SANDERS, L. L. 1998. A manual field hydrogeology. New Jersey, EE.UU. Prentice Hall. 381 p.
23. SANDOVAL ILLESCAS, J. E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
24. SCHOSINSKY, G. 1999. Notas del curso de hidrología. Maestría en manejo de recursos hídricos e hidrogeología. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. s.p.

25. SIMMONS, C.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Salsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 100 p.
26. TEBBUTT, T. H. Y. 1990. Fundamentos de control de calidad del agua. Trad. por Raúl Arriola Juárez. México D.F., Limusa. 239 p.
27. THEIS, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union. Vol 16. p 519-524.
28. WATERLOO HIDROGEOLOGIC INC. 1997. Manual de utilización de Aquifer Test v. 3.0. Ontario, Canadá. s.p.