

ESTUDIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA LUCIA UTATLÁN, SOLOLÁ



Octubre 2005

**Voluntario
Meison Frodson**

Ing. Carlos Simón Perén (SER)

Con el apoyo de: CORDAID

Servicios para el Desarrollo

**8va. Avenida A- 17, zona 1. Quetzaltenango, Guatemala
Teléfono: (502) 77612306, Fax: (502) 77611079
serxela@cabledx.com, serxela1@cabledx.com**

TABLA DE CONTENIDOS

<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</u>	2
<u>3. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA</u>	3
<u>3.1 Sistema de Medidas Hidrológicas</u>	4
<u>3.2 Aforos de los ríos</u>	5
<u>4. MARCO TEÓRICO</u>	5
<u>4.1 Definición de la recarga hídrica</u>	5
<u>4.2 El ciclo hidrológico</u>	5
<u>4.3 Impacto de la Cobertura en el Ciclo Hidrológico</u>	6
<u>4.3.1 Evaporación y Transpiración</u>	7
<u>4.3.2 Infiltración</u>	7
<u>4.3.3 Precipitación</u>	7
<u>4.3.4 Caudal Superficial</u>	8
<u>4.3.5 Recarga Hídrica</u>	9
<u>5. CLASIFICACIÓN DE TIERRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA POR INAB</u> ...	10
<u>6. DEFORESTACIÓN EN SANTA LUCIA UTATLÁN</u>	10
<u>7. METODOLOGÍA</u>	11
<u>7.1 Entrevistas en Campo</u>	11
<u>7.2 Observaciones geomorfológicos</u>	12
<u>7.3 Inventario de Nacimientos</u>	13
<u>7.4 Trabajo de los mapas</u>	14
<u>8. RESULTADOS</u>	15
<u>8.1 Información general sobre las entrevistas</u>	15
<u>8.2 Información de Tanques</u>	15
<u>8.3 Cuentos y observaciones de los ríos</u>	16
<u>8.3.1 Cuentos del Río Novillero</u>	16
<u>8.3.2 Observaciones geomorfológicos de Río Novillero</u>	16
<u>8.3.3 Cuentos del Río Parracaná</u>	17
<u>8.3.4 Observaciones geomorfológicos de Río Parracaná</u>	17
<u>8.4 Nacimientos</u>	17
<u>8.5 Cambios de Cobertura</u>	18
<u>8.6 Valoración del bosque por su regulación de procesos hidrológicos</u>	18
<u>8.7 Muestra de Nacimientos</u>	19
<u>8.7.1 Calidad del Agua</u>	20
<u>8.8 Trabajo de los mapas</u>	21
<u>8.9 Áreas de recarga Hídrica</u>	22

<u>9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</u>	23
<u>10. SUGERENCIAS</u>	26
<u>10.1 Métodos para mejorar el conocimiento de procesos hidrológicos en la Cuenca</u>	27
10.1.1 Aforos de Nacimientos.....	28
10.1.2 Medidas Pluviales	29
10.1.3 Aforos de ríos.....	30
<u>10.2 Métodos para aumentar el abastecimiento del agua</u>	30
<u>10.3 Métodos para disminuir la demanda para agua</u>	33
<u>10.4 Comentarios Finales</u>	34
BIBLIOGRAFÍA	35
<u>Apéndice I</u>	36

1. INTRODUCCIÓN

Servicios Para El Desarrollo cuenta con una relación de tres años con la municipalidad de Santa Lucia Uatlán, y durante este período ha apoyado con la construcción y mejoramiento de sistemas del agua potable en varias comunidades del municipio. La misión de SER no se limita a asuntos de infraestructura, sino también involucra la capacitación de los miembros de las comunidades para manejar y operar sus sistemas de agua, el desarrollo de la participación activa de las mujeres de las comunidades en los asuntos del agua, y talleres educacionales sobre el uso del recurso de agua.

Durante esta relación, SER ha observado un hecho que complica la escasez general del agua en el municipio, lo que es la disminución de los caudales de los nacimientos aprovechados por los sistemas del agua, especialmente durante el verano. El resultado desafortunado que los comités del agua tienen que racionar el servicio durante este período. La explicación general para dicha situación involucra una combinación de lo siguiente, dependiendo de quien hable: 1) disminución de las cantidades del agua disponible por la deforestación general 2) disminución de la cantidad del agua disponible por cada cabeza por el crecimiento de la población 3) disminución de la lluvia como un cambio en el tiempo. A despecho de la condición general de escasez del agua por la municipalidad, existe una falta de datos hidrológicos que describen la situación actual del agua en la municipalidad.

El intento del estudio actual es investigar la disponibilidad de los recursos hídricos en Santa Lucía Uatlán. Las metas específicas del estudio son:

- 1) Recopilar información hidrológico y meteorológico existente, a nivel regional y nacional, pertinente al municipio de Santa Lucia Uatlán.
- 2) Describir los vínculos teóricos entre el uso de la tierra y el ciclo hidrológico.
- 3) Describir los cambios en la cobertura de vegetación del municipio en una manera cuantitativo y explícito espacialmente.
- 4) Investigar cambios hidrológicos en el campo.
- 5) Definir las áreas de recarga hídrica que alimentan los nacimientos del municipio.
- 6) Realizar un inventario piloto de los nacimientos en la municipio, incluso aforos de caudal y muestras de calidad.
- 7) Proveer sugerencias para el manejo de los recursos hídricos al nivel de la cuenca.

En este estudio se explora más los procesos hidrológicos que aprovechan los sistemas de agua, y las acciones humanas que les impactan. No es un estudio de fuentes inexplorados, ni de nuevas fuentes de explotación de los recursos hídricos como pozos o tratamiento superficial. La tesis del trabajo actual, y lo que este estudio pretende investigar, es que se puede manejar el uso de la tierra en el municipio para un aprovechamiento mayor de la cantidad de lluvia usando los sistemas ya existentes. Los

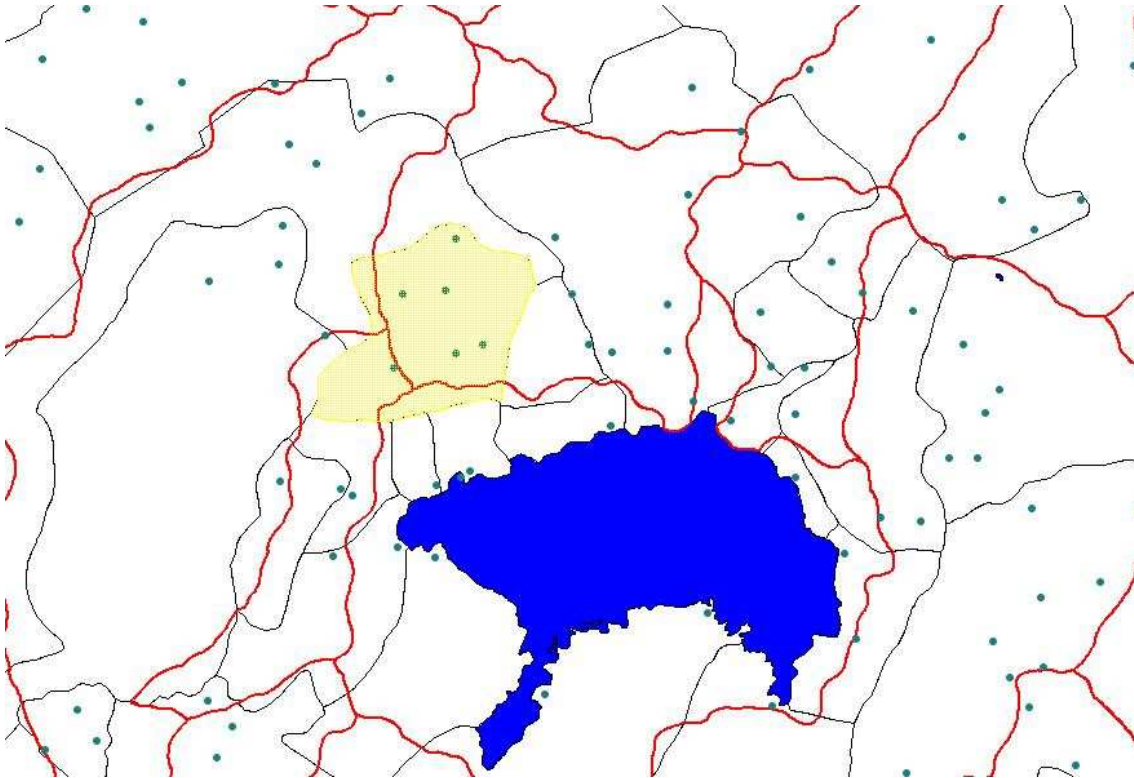
sistemas construidos requieren una gran inversión de recursos, y todavía a veces no alcanzan.

En cambio mejorar el uso de la tierra no requiere tanto inversión en infraestructura, y en al mismo tiempo ofrece otras ventajas ambientales, como protección de suelos, habitado por flora y fauna nativa, crecimiento de madera sostenible, y captura de carbono. El Plan de Desarrollo del Municipio de Santa Lucia Uatlán habla del vinculo de uso de bosque a la disponibilidad del agua (Santa Lucia Uatlán, pg 89). El intento del estudio se dirige a este asunto, para definir algunas acciones que pueden revertir la tendencia de disminución de caudales. Mientras que es verdad que un manejo de la cuenca integral y racional no va resolver todos los problemas del agua en el municipio, en todo caso el funcionamiento de los sistemas de agua potable se vincula a los procesos naturales hidrológicos.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Santa Lucia Uatlán esta ubicado dentro de la cadena volcánica llamada Sierra Madre, que corre paralelo al Costa Pacifica al largo del país. Su región fisiográfica se llama “tierras altas volcánicas”, y el suelo predominante esta el tipo andisol (Rafael Landivar 2004), o los que proviene más que 50 % de la ceniza volcánica. Estos suelos se caracterizan por buena fertilidad, pero requiriendo manejo adecuado para sostenerle para usos agrícolas (UWSP 2005). La topografía del municipio es diversa, incluyendo partes relativamente planos, algunos cerros, y también esta dividida por algunos barrancos de gran profundidad, los que contienen ríos perennes alimentados por nacimientos. Un hecho sumamente importante para la situación de los recursos hídricos es su posición como cabeza de la cuenca (Figura 1), que significa que el municipio no recibe escurrimiento de afuera, pero pierde agua en los caudales de los ríos. La mayoría del municipio se ubica dentro de la cuenca de Lago de Atitlán. Esta porción también recibe escurrimiento de una porción pequeña de Nahualá alta y plano. La parte del municipio al sur-oeste, que contiene la comunidad de Buena Vista y Pamezabal, corre al oeste y se junta con el río Nahualate y corre por la costa Sur.

Figura 1. El municipio. Se puede ver la ubicación de Santa Lucia Uatlán en las porciones mas arriba de la cuenca de Lago Atitlán y el río Nahualate.



3. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

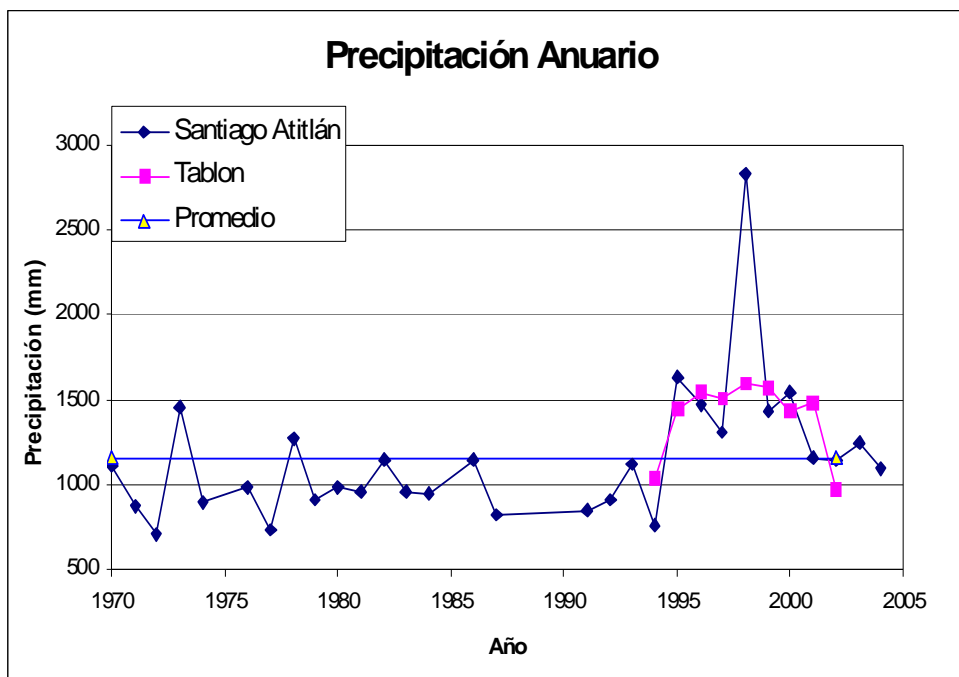
Algunos estudios a nivel nacional proveen un resumen de la situación general de los recursos hídricos en Santa Lucia Uatlán. Figura 1 en Apéndice I muestra los isohyetales, o líneas de igual lluvia por el país, desarrollada por INSIVUMEH. Santa Lucia cae en el área amplia, correspondiente principalmente a su grupo fisiográfico en las tierras altas volcánicas, que recibe más o menos un mil milímetros de precipitación por año. Figura 2 en Apéndice I se llama “Disponibilidad de Recursos Hídricos Superficiales,” provee información promedia sobre precipitación, evaporación, y la disponibilidad del agua basada al nivel de cuenca. En la cuenca de Lago de Atitlán, la precipitación promedio anual es 1100 milímetros, mientras que la evaporación promedio anual es 611 mm. El municipio queda finalmente con un recurso hídrico neto de 489 mm usables, que se puede comparar con el promedio nacional de 857 mm. Por eso, se ubica Santa Lucia Uatlán en la categoría “muy baja” relacionada a la disponibilidad de recursos hídricos superficiales. Este hecho destaca la necesidad de manejar la cuenca de tal manera para conservar y utilizar el agua natural.

3.1 Sistema de Medidas Hidrológicas

Guatemala cuenta con un sistema de medidores pluviales que registra información climática, incluyendo la cantidad de lluvia por cada mes. Cerca del área de Santa Lucia Utatlán, se cuenta con solamente dos medidores activos, aunque hay algunos que ya han terminado. El primero medidor, más cerca de Santa Lucia Utatlán, esta en el Tablón, que atraviesa desde 1992 a 2002, y tiene una altura de 1562 metros. Otra medidor, ubicado en Santiago Atitlán con una altura de 1580 metros, comenzó en 1970 y continúa actualmente.

Los datos de lluvia anual se presentan en una gráfica, Figura 2. Se puede notar que, a despecho de su ubicación en lados opuestos del lago, las grabaciones o registros tienen una correspondencia general, específicamente un aumento de las cantidades entre los años de 1995 – 2000. La diferencia más notable es una estación de lluvia extraordinaria en Santiago Atitlán en el año de 1998, la mayoría que cayó durante el mes de junio. Usando estos datos de los dos medidores, sin el año muy anormal de 1998 se calculó una precipitación promedio de 1162 mm anuales.

Figura 2. Precipitación anual por período de registro en Santiago Atitlán y en El Tablón.



Santa Lucia Utatlán esta ubicado más cerca de El Tablón, pero se queda en una altura entre 2400 y 3000 metros, casi un kilómetro mayor que las estaciones cercanas. Con esta diferencia de altura puede haber cambios micro-climáticos que afectan la cantidad de precipitación. Porque están ubicados en la misma región fisiográfica, se asume que las tendencias observadas en las dos estaciones representan las tendencias en las

cabeceras de las cuencas, como Santa Lucia Utlán, aunque probablemente no las cantidades específicos. Debajo de esta asunción, se puede ver que durante los años 1995 – 2000 se vio un aumento de lluvia, que después comenzó a bajar mas cerca del promedio por la época. El registro no sugiere una disminución de la cantidad de lluvia en este época, por el contrario un período de precipitación arriba del promedio durante la segunda parte de los 1990s.

La Figura 2 presenta solamente precipitación acumulada por año. La información dinámica en los patrones de los aguaceros, como su magnitud, duración, e intensidad, tiene gran impacto en el hado de la lluvia en el ciclo hidrológico, pero la discreción temporal de los datos no permite este nivel de análisis.

3.2 Aforos de los ríos

Santa Lucia Utlán se drena por un sistema de ríos, algunos de que existen al fondo de barrancos profundos. En adición a los ríos denominados por las mapas topográficos de escala 1:50,000 son un sistema secundario de ríos efímeros, que lleva caudal solamente después de los aguaceros. Ningún río en el municipio de Santa Lucia Utlán se afora regularmente. El río Nahualate, más cerca del municipio, se saca solamente muestras de calidad del agua. El río más cerca al municipio que tiene aforos de caudal es el Río Panajachel, que tiene datos de los años hidrológicos 62/63 a 75/76 y 81/82 a 85/86.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Definición de la recarga hídrica

La recarga hídrica puede ser definido como el volumen de la precipitación que alcance una zona de almacenaje subterránea, i.e. un acuífero. También la recarga hídrica puede ser definido como un proceso, en lugar de un volumen, como “el proceso hidrológico que describe dentro de la cuenca hidrográfica el movimiento o flujo del agua desde la superficie hasta los mantos acuíferos (Palacios 1998).”

Los lugares donde los mantos acuíferos se encuentran la superficie del terreno se llaman zonas de la descarga hídrica, o más común, nacimientos. Los nacimientos son los lugares donde el agua subterránea se convierte al caudal del sistema de drenaje superficial. Los nacimientos, son una fuente principal de agua potable en el municipio, se alimentan por la recarga hídrica. Por eso, los caudales de los nacimientos y la recarga hídrica se vinculan; una disminución en la recarga hídrica disminuye el caudal de los nacimientos. El caudal de los nacimientos refleja, además otras variables, la cantidad de recarga hídrica que pasa en su zona de recarga hídrica.

4.2 El ciclo hidrológico

La recarga hídrica es un componente del ciclo hidrológico, lo que defina la circulación del agua dentro de la atmósfera, la superficie de la tierra, y el área subterránea. Como tal, es vinculado fundamentalmente a los otros procesos del ciclo hidrológico. Es imposible que un cambio, aunque una disminución o un aumento, ocurre a un componte sin cambiar otro. Es este hecho que vincula las actividades de individuos en una parte

de la cuenca al impacto por otros en partes diferentes. Para entender este enlace, se puede definir un presupuesto, o balance, hídrico para la cuenca.

$$P = Ev + Tr + Qsup + Qsub + Re$$

P = precipitación

Ev = Evaporación

Tr = transpiración

Qsup = Flujo del agua superficial (ríos perennes y efímeros)

Qsub = Flujo del agua subterránea (de acuíferos, en piedra fracturada o porosa)

Re = Recarga hídrica

Esta ecuación explica el destino de la lluvia que cae, la que se divide por estos cinco senderos hidrológicos. Es importante definir bien el área del interés cuando se piensa en un presupuesto hídrico. Se puede definir por cualquier área, pero algunas divisiones son mas naturales, por ejemplo la cuenca definido por la topografía, que integra todo el flujo superficial.

4.3 Impacto de la Cobertura en el Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es conducido principalmente por la energía del sol, que provee el calor que evapora agua de la superficie a atmósfera, y que se necesita por el crecimiento de las plantas que transpira agua a la atmósfera. También la topografía y los patrones de clima en escala grande impactan la habilidad del aire para contener agua como vapor. Descontando el hecho de aumentando del calentamiento global, estos factores están fuera del control de los seres humanos. Aun no son estáticos, cambian en escalas de tiempo mucho más largo que el ciclo de la vida humano. En cambió la cobertura también tiene un impacto importante en los componentes del ciclo hidrológico, pero también esta íntimamente vinculado a las actividades de los seres humanos y puede cambiar significativamente durante el período de vida humano.

El papel del bosque es muy importante para los procesos hidrológicos en la cuenca. Se culpa la deforestación, hace muchos años, por sus impactos adversos en la disponibilidad del agua en la cuenca. Una descripción típica:

El agua superficial que se usa para suministro de agua para la población en aumento esta disminuyendo cada vez mas y consecuentemente menos cantidad de agua esta disponible cuando se necesita durante la estación seca. La disponibilidad de agua superficial ha disminuido de 60 a 70 por ciento durante los últimos 40 años, principalmente debido a la deforestación y al aumento de la población (USACE 2000)

Otro ejemplo, sacado del Plan de Desarrollo del Municipio de Santa Lucia Uatatlán Años 2,002-2,010, refiere al impacto de deforestación específicamente en su comunidad

El uso insostenible del bosque repercute directamente sobre la cantidad de agua disponible, tanto para consumo humano como para usos agrícolas como el riego. A menor cobertura forestal, aumenta la erosión de los suelos, disminuye la infiltración de las aguas de lluvia, y por lo tanto existe disminución de los mantos freáticos (agua subterránea). (Santa Lucia 2002)

Estos pasajes explican el pensamiento general del papel de bosque para regular los procesos hidrológicos en la cuenca. Existe el reconocimiento desde el nivel municipal hasta nacional, de la importancia del bosque para la salud ambiental, y específicamente su papel importante en el ciclo hidrológico. Pero un rasgo de casi todas las referencias al papel de bosque es la ausencia de datos para respaldar la aseveración. Por ejemplo, en la cita de USACE arriba, no se provee datos científicos para sostener la aseveración. Ni en la cita del Plan de Desarrollo- no habla de *la extensión* de deforestación en la cuenca, o *la disminución cuantitativo* en los caudales superficiales. Entonces, despecho del reconocimiento de la importancia del bosque en los procesos hidrológicos, no se sabe bien el funcionamiento mas específico- no existe estimaciones del impacto de reducción de tal por ciento de cobertura forestal en los recursos hídricos, ni estimaciones cuantitativos de la disminución de los caudales. Mientras que el bosque tiene impacto profundo en los procesos hidrológicos, el impacto no es mágico, pero se impacta cada componente del ciclo hidrológico. La cobertura de vegetación, incluso bosque, puede impactar todos los componentes de la balanza hídrica en la cuenca. El impacto neto es la agrupación de estos impactos, y por eso es importante considerar el impacto de cada componente.

4.3.1 Evaporación y Transpiración

Se considera estos componentes juntos porque son difíciles separar. El bosque generalmente aumenta las perdidas del agua de la cuenca vía evapotranspiración, la combinación de evaporación y transpiración, perdidas que pueden alcanzar 35% de la precipitación neta (Naciones Unidas 2005). El bosque generalmente transpira más agua que otras coberturas, pero este depende del tipo de árboles y también la etapa, por que los árboles jóvenes transpiran más agua durante su crecimiento. Por eso la selección de especies de árboles es crítico, y requiere la dirección de expertos familiares con la región. Con relación a evaporación, el agua se intercepta por las hojas del árbol, donde un fracción se queda, y después se evapora cuando sale el sol.

4.3.2 Infiltración

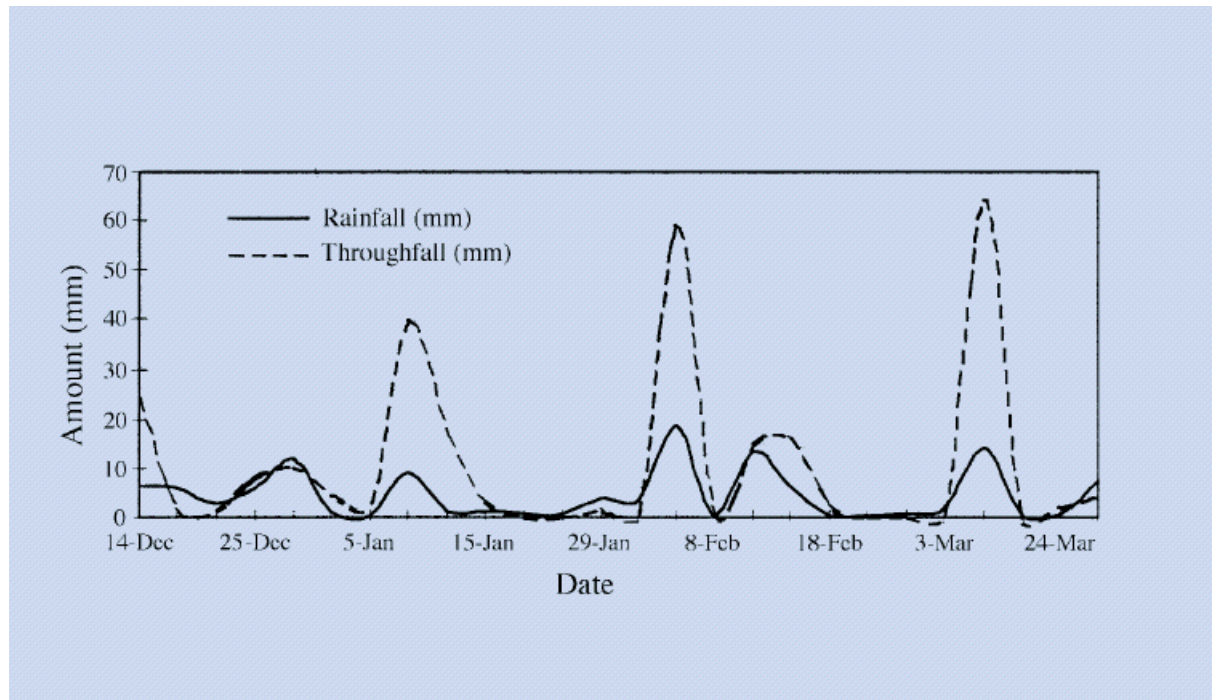
La infiltración generalmente aumenta con la presencia del bosque, el hecho principal que contribuye a su reputación como una fuente del agua en la cuenca. Por que la capacidad de la intercepción de las hojas es finita, después las hojas sirven para tardar el impacto directo de las gotas de agua. La tierra no se satura tan rápido, permitiendo un mejor cantidad de infiltración y menos escurrimiento superficial. Las raíces de los árboles también son vinculados a características de suelos que capacitan la infiltración de la precipitación. En cambio, la tierra que le falta cobertura de vegetación es expuesto más directamente al sol, lo que puede resultar en la formación de una capa costrosa que tiene menos capacidad de infiltrar.

4.3.3 Precipitación

Generalmente se dice que los bosques no tienen un impacto en la cantidad de lluvia que cae en una cuenca. La cantidad de lluvia es controlado más por la interacción entre las corrientes del aire pacíficos con la topografía de la tierra (Palacios 1998). Pero hay un fenómeno que esta estudiado más y más en las áreas tropicales y altas, se llama bosque

nublado. Este fenómeno ocurre cuando las nubes pasan por las cumbres de los montes que tiene cobertura forestal. En estas condiciones, las hojas de los árboles pueden “sacar” agua de los nubes, sin actualmente llover. Figura 3 por ejemplo muestra una hidrógrafa de la lluvia medida por un medidor típico, comparado con el ingreso neto de agua en el área.

Figura 4. Precipitación y ingreso neto de por bosque nublado. El papel de bosque nublado puede ser muy importante en las tierras más altas donde pasan los nubes. Datos de un bosque nublado en la Sierra de las Minas, Guatemala (UNEP WCMC 2005)

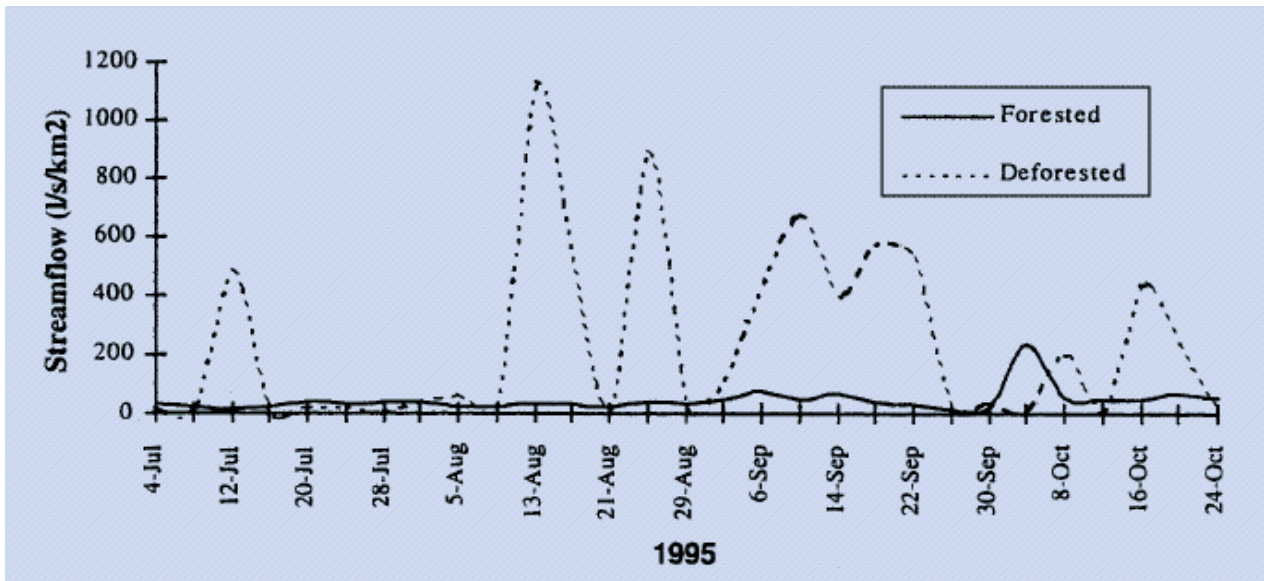


La diferencia entre la precipitación y el ingreso neto se debe al fenómeno de “bosque nublado.” Además, este aumentado ingreso de agua a la cuenca entra de una manera muy favorable a la infiltración, por que no cae en gotas pero más condensa y gota lentamente, suave a la tierra. Árboles coníferos generalmente tienen más capacidad por que sus agujas tienen más superficie.

4.3.4 Caudal Superficial

La ausencia de cobertura de vegetación puede cambiar la manera en que el aguacero se drena por la cuenca. Sin cobertura forestal, que tarda la lluvia medio intercepción de las gotas de la lluvia, más escurrimiento corre por rutas superficiales, menos infiltra y alcanzan las aguas subterráneas. El resultado es un aumento en el nivel máximo de inundaciones, y un angostamiento del higrógrafo. Se puede ver un ejemplo por un río en Honduras en la Figura 5 abajo. La deforestación no solo impacta los flujos máximos; por que una mejor cantidad de agua pasa por la inundación, hay menos corriente base, lo que se alimenta por los nacimientos y agua subterránea, entre eventos de precipitación.

Figura 5. Caudal superficial en una cuenca forestado (línea sólida), y deforestado (UNEP WCMC 2005)



4.3.5 Recarga Hídrica

Se dificulta observar la recarga hídrica por que ocurre de bajo de la tierra. Pero se puede inferir la recarga hídrica como el síntesis de los otros componentes en la balanza hídrica por la cuenca. En algunos lugares, especialmente los lugares áridos, la cobertura boscosa resulta en menos cantidades de recarga hídrica por que se pierde mas agua por transpiración. El impacto neto de la recarga hídrica incorporará los cambios de cada componente de presupuesto del agua, es decir los aumentos de infiltración y precipitación comparados con las perdidas aumentadas de transpiración y evaporación.

Hay algunos rasgos del paisaje que son asociados con mejor funcionamiento de la recarga hídrica. Primero, las porciones del paisaje que no han desarrollado un sistema de drenaje superficial extensivo. Los cauces perennes y efémeros los dos facilitan el drenaje superficial de la lluvia después de un evento de precipitación. También los ríos perennes son alimentados por los nacimientos y el agua subterránea, y por más se comprende áreas de descarga hídrica. En cambio, inclinaciones y cuevas sin un sistema de drenaje superficial aventajan la recarga hídrica. Las tierras de menor pendiente generalmente facilita la recarga hídrica que los mayores, por el fuerza de gravedad favorece la infiltración directo más bien que el escurrimiento superficial. Los suelos tienen un papel importante en la recarga hídrica, y los de permeabilidad mayores facilitan este proceso. Debajo del suelo, la estructura geológica define mucho del proceso de la recarga hídrica, por su permeabilidad entre fracturas de la piedra, o un sistema de poros capaz de conducir agua.

5. CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS DE CAPTACIÓN DE AGUA POR INAB

En reconocimiento del papel clave de la tierra y la cobertura para el regalamiento de los procesos hidrológicos, INAB ha producido, en una escala nacional, un mapa de las tierras de captación, que se define como los con “aptitud preferentemente forestal, para realizar un manejo forestal sostenible, orientado a la conservación o protección ambiental, con fines de captación y regulación hidrológica.” Para la producción de este mapa de las tierras, INAB ha integrado las siguientes capas en una escala de 1:250,000: las regiones geomorfológicas, la capacidad del uso de la tierra, pendiente, la textura del suelo, subórdenes de la taxonomía de suelo, el balance hídrico, y la susceptibilidad de erosión. En un serie de pasos, se aplica un matriz de evaluación desarrollado por las calidades se atribuyen a cada categoría, para producir al fin cinco clasificaciones de la clasificación de los suelos que va de “Muy Baja” a “Muy Alta,” y un categoría por las tierras inconsideradas.

Se desarrolló este mapa parar uso de planificación en una escala nacional, y ni su escala ni el método de su elaboración son adecuados para aplicación en niveles mas pequeños, como por ejemplo el nivel de la municipalidad. Las categorías son definidas en comparación con la variación que se ve por la nación, pero escala de variación no importa en la planificación al nivel municipal. En cambio, para el nivel municipal, es muy importante pensar en los rasgos del terreno el municipio y su relación con la recarga hídrica. La escala del estudio no puede resolver los rasgos geomorfológicos que impactan el drenaje y los procesos hidrológicos de la municipalidad, como los cerros, barrancos, y planos.

El intento de este estudio tiene algunas diferencias con el método de INAB, y por eso no se presenta un análisis profundo aquí. El mapa de tierras de captación de INAB se presenta en el apéndice INAB, pero la metodología se cambia por la aplicación al nivel municipal. La importancia del estudio INAB, en términos de este estudio, es que, usando mapas del terreno y uso de la tierra, se puede definir áreas de importancia por el manejo forestal para proteger y conservar agua en la cuenca. Tal mapa puede ser una herramienta para tomar decisiones, a nivel municipal, del uso de la tierra, considerando el impacto posible para los recursos hídricos.

6. DEFORESTACIÓN EN SANTA LUCIA UTATLÁN

Se habla mucho de la deforestación como problema en Santa Lucia Uatatlán, pero faltan datos específicos que caracteriza la tasa de deforestación en el municipio o el departamento de Sololá. El Plan de Desarrollo habla de los impactos malos de deforestación, incluso la disminución de algunas especies que peligran su extinción (Plan de Desarrollo 2002), y también su impacto en agua, pero no provee datos de la extensión de deforestación en el municipio. Se estima 250 cuerdas de bosque en el municipio (Plan de Desarrollo 2002). El crecimiento demográfico, incluso el uso para construir y leña, presionan los recursos forestales.

Se estima que Guatemala ha perdido 50% de los bosques que existían en 1950 (Rafael Landivar 2004). La tasa general de la deforestación dentro de los años de 1992 y 2000 esta estimada como 90,000 hectáreas por año. Es importante recordar que estos datos incluyen todo el país, y por eso es posible que no representen Santa Lucia Uatlán.

La ausencia de datos concretos sobre cambio forestal en el municipio, y también mapas de cambios en uso de la tierra, dificulta la investigación de cambios hidrológicos vinculados al manejo de la cuenca. Una meta de este estudio es definir con mapas la extensión de perdidas forestales hace 1991.

7. METODOLOGÍA

La faltan de datos meteorológicos e hidrológicos adecuados para definir términos promedios del presupuesto hídrico en Santa Lucia Uatlán, y realmente para entender la naturaleza de los cambios en el ciclo por cambios en la cobertura. Hay que buscar otras fuentes de información sobre la hidrología en la cuenca. La gente es una fuente de información valiosa, porque sus ritmos diarios de vida se vinculan al recurso del agua. Un segundo recurso es la tierra misma. Observaciones geomorfológicas proveen información sobre los acontecimientos de la cuenca. Tercera, aprovechando de mapas específicas se puede aplicar conocimiento general para definir las áreas que tienen más probabilidad para ser importante zonas de la recarga hídrica.

7.1 Entrevistas en Campo

Entrevistas en el campo fueron realizadas por un ingeniero ambiental y un compañero del departamento de planificación de la municipalidad de Santa Lucia Uatlán. Aprovechando un mapa de los sistemas del Plan de Desarrollo, comunidades con sistemas del agua actuales fueron escogidos para hacer una entrevista. Debido a constreñimientos del tiempo y recursos en el campo, la meta de esta inspección no fue una cuenta exhaustiva de cada sistema de agua dentro del municipio, pero un reconocimiento general de los sistemas del agua, y más amplio, del estado de recursos hídricos en la comunidad. Los presidentes de las comunidades fueron buscados aprovechando una lista de la municipalidad. En el evento que el presidente del comité no se encontró, se buscaron otro miembro del comité del agua para hablar sobre su sistema.

Para comenzar la entrevista, nos identificamos como un miembro voluntario de SER y un miembro de la municipalidad, y explicamos que este estudio no se relaciona a un sistema ni proyecto del agua específico, sino es un estudio más amplio sobre la disponibilidad del agua dentro del municipio. Después, se hecho las preguntas siguientes, con modificaciones como fue necesario, depende de la dirección de las respuestas:

¿Cuántos sistemas del agua tiene en esta comunidad?

¿Cuándo fue construido este sistema?

¿De donde viene el agua para este sistema?

¿Cuánto usuarios hay ahora? ¿Cuándo inició el sistema?

¿Cuánto tiempo se necesita para llenar este tanque en el verano ahora? ¿En el invierno?

¿Cuánto tiempo se necesita para llenar este tanque en el verano al inicio del proyecto? En el invierno al inicio?

La razón para esta línea de investigación fue hacer un apoderado por la caudal de los nacimientos del área. En la ausencia de datos sobre la caudal de nacimientos o ríos dentro del municipio, esta información sirve como una estimación del caudal. Cada tanque tiene un volumen fijado, y con el tiempo para llenar este volumen provee un caudal.

Después de estas preguntas, se sigue con algunas más generales sobre cambios en el uso de la tierra en su comunidad, o cerca de los nacimientos. Estos son más generales y oferta la oportunidad al entrevistado para mencionar asuntos de importancia a la comunidad.

Otro tipo de entrevista fue conducido cerca de los nacimientos y ríos en la cuenca. Se entrevistaron a los que tienen contacto diario con estas aguas por su trabajo. La forma de pregunta varía dependiendo del entrevistado, y con la situación específica, pero las preguntas generales fueron las siguientes:

¿Hay diferencia en el nivel del río entre la estación verano e invierno?

¿Ha cambiado el nivel del río durante la estación de verano?

¿A veces deja de pasar agua durante la estación verano?

¿En los inviernos de los últimos años, cambia mucho el nivel de los ríos y se sale mucho sobre sus orillas?

¿Ha cambiado el color del agua del río comparado con otros años?

Se realizó preguntas similares sobre los nacimientos, los cambios de la fuerza del agua entre las estaciones distintas, y la diferencia en la fuerza entre este tiempo y el pasado.

La intención de las preguntas era para investigar cambios al ciclo hidrológico. Como se explico en el marco teórico, cada componente del ciclo hidrológico se vincula a los otros. Como no puede ver cambios en la recarga hídrica directamente, tal vez se puede inferir dicho cambios por cambios a otros componentes, por ejemplo un aumento en la magnitud y frecuencia de crecidas. Crecidas más grandes tiene mas fuerza para arrastrar sedimentos y hacer erosión al cauce. Por esta razón también importan las observaciones geomorfológicas.

7.2 Observaciones geomorfológicas

Se observaron las condiciones geomorfológicas de los ríos en varios lugares para definir el estado del río en cada lugar. Primero, se observó el uso de la tierra al lado del río, para notar si la cobertura es natural o agrícola, también si la tierra tiene cobertura de vegetación o esta expuesta a las fuerzas erosivas del escurrimiento. Después, se observó el agua corriendo, para ver la oscuridad, una indicación de la cantidad de cieno trasladado, y también para ver el tamaño y cantidad de la arena y grava fina trasladado.

Se observaron las orillas por señas de inundación, por ejemplo lodo o desechos depositados. Finalmente, se observó el cauce y las orillas para notar si el río tiene un régimen erosivo o de deposición. Se nota los bancos y las orillas, y si tiene vegetación, o estaba desnudo con señas de la raspa.

7.3 Inventario de Nacimientos

Las comunidades de Santa Lucia Uatlán cuentan con sistemas de agua potable numerosos e independientes. Casi todos aprovechan de los nacimientos que están ubicados por el área del municipio y sus vecindarios Nahualá y Totonicapán. Aunque las cuentas del tiempo para llenar el tanque pueden servir como un aproximado para los caudales de los nacimientos, estas cuentas no son exactas, generalmente no son recordadas, y no proveen un registro histórico para exhibir cambios de caudales. Por esta razón se inició un inventario de los nacimientos en Santa Lucia Uatlán.

Este estudio piloto tiene tres metas generales. Primero, se puede recoger información general que puede demostrar el beneficio de este trabajo. Por ejemplo, recogemos las coordenadas del nacimiento para que se pueda hacer un mapeo de los nacimientos para definir las áreas de recarga hídrica. Segundo, este trabajo comienza con la recopilación de datos sobre la disponibilidad de recursos hídricos al nivel del municipio. Se puede formar una base de datos para comparaciones en el futuro sobre la variabilidad de caudales entre estaciones y años. Tercera, podemos usar la experiencia de este trabajo para sugerir métodos de ejecutar un estudio similar en el tiempo más crítico de verano.

Se solicitó acompañamiento municipal para la realización del trabajo de campo. Esto se considera necesario para validar el intento del estudio, asegura el intento del estudio con la gente, y apoyar con la coordinación con comités de agua si las circunstancias la requieren. El alcalde estuvo dispuesto a proveer dos días de acompañamiento para realizar este estudio. El inspector ambiental del Centro de Salud apoyo con el trabajo de campo el otro día.

Se organizo un horario de 9 comunidades, lo que era limitado por la dificultad de hacer contactos por teléfono para ordenar las visitas. Aunque seria ideal seleccionar las comunidades para cubrir el área del municipio entero, la necesidad de coordinar con los comités de agua determino que se selecciono las comunidades que ya tenían relaciones con SER. Planificando dos horas para cada visita, se estimó que puede realizar este trabajo en tres jornadas. En el sitio de cada nacimiento, se notó la información siguiente:

- a. Las coordenadas de longitud y latitud.
 - Usando el GPS (Sistema de posición geográfico) prestado por AMSCLAE se saco las coordenadas del nacimiento. Este procedimiento requiere una vista del cielo abierto para comunicarse con los satélites.

- b. La altura
- El GPS también proveyó la altura del nacimiento calculando como una función de la presión atmosférica
- c. Una descripción del sitio, incluso una foto
- d. Aforo de caudal
- Se usó un cupo de dos litros o de 11 litros, dependiendo del caudal del nacimiento. Usando un cronometro, se midió el tiempo para llenar el recipiente. Se repitió el aforo tres veces para usar el promedio. Se calculó el caudal así:
- $$\text{Caudal (litros / segundo)} = \text{Volumen (litros)} / \text{Tiempo (segundos)}$$
- e. Muestra bacteriológica
- Se compraron botellas de vidrio con bocas grandes para usar como recipiente de muestra bacteriológica. Se lavaron estas botellas, y después se esterilizaron hirviéndolo por 15 minutos. Se tuvo mucho cuidado de no tocar a dentro de la botella o la tapa con las manos. Después de sacar la muestra, se rotuló con marcador permanente. Se enfriaron las muestras bacteriológicas en un termo con congelantes para prevenir la reproducción de los microorganismos después de sacar la muestra.
- f. En tres casos se sacaron muestras físico químicos
- Se sacaron muestras bacteriológicas usando un recipiente de plástico con un volumen de un galón.

Las muestras físico químicas se llevaron a la capital con el apoyo del centro de salud, que también apoyó para entregar muestras bacteriológicas al área de salud en Sololá.

7.4 Trabajo de los mapas

Se contrató un ingeniero agrónomo de la capital, Ing. Laurencio Catú, para elaborar una serie de mapas de escala 1:50,000 para uso en el estudio. Se definió el área de estudio incluyendo no solamente el municipio sino también la parte de Nahualá que se llama El Rancho, donde proviene mucha agua para el municipio. Estos mapas incluyen: mapa base, mapa de red de drenaje y curvas de nivel, mapa de pendientes, mapa de uso de la tierra en 2001, mapa de uso de la tierra en 1991, mapa de capacidad del uso, mapa de serie de suelos, mapa geológico, mapa de unidades fisiográficas.

Se usa estos mapas principalmente en la definición de características de las áreas de recarga hídrica. Usando las coordenadas de los nacimientos del inventario piloto, se ubica los nacimientos en las hojas topográficas de escala 1:50,000. Después, se puede definir el área de recarga hídrica por los contornos de nivel. Este método asume que los patrones de flujo subterráneo siguen los contornos superficiales. Se sobreponen las áreas de recarga hídrica, se puede estimar los usos de la tierra en 1991 y 2001, la capacidad de los suelos y la pendiente. Si en el futuro estos mapas se digitaliza para uso en un SIG, será posible hacer operaciones mas exactas con los áreas de recarga hídrica.

8. RESULTADOS

8.1 Información general sobre las entrevistas

La mayoría de las entrevistas fueron realizadas con miembros de los comités de agua. También se hizo entrevistas con agricultores, lavanderas, y dueños de viviendas al lado de los ríos. La mayoría de los entrevistados fueron hombres. En general, la gente estuvieron dispuestos a contestar las preguntas, pero varias dificultades complicaron la recopilación de información de campo. Primero, algunas personas tenían miedo de confiar a desconocidos. Este problema no existió con los miembros de los comités de agua, y se observó más reserva para hablar entre las mujeres que los hombres. Con respecto a los miembros de los comités, hubo una dificultad para encontrarlos durante el día, especialmente durante las mañanas cuando muchos trabajan fuera de la casa. Una tendencia que se observó entre los miembros de comités del agua fue contestar, a despecho de la pregunta, en términos de las necesidades específicas de su comunidad. Los que ya sabía de SER y su misión estaban más dispuestos a responder en términos de las necesidades más inmediatas. Algunas sentían que ya han contestado preguntas similares de SER. Finalmente algunos entrevistados querían saber para qué sirve esta información. Se explicó el propósito de las preguntas para mejorar la comprensión de los vinculados entre la cobertura de la tierra y agua en el municipio. Finalmente hubo algunas dificultades de comunicación, particularmente con los nombres de lugares desconocidos, que el entrevistador no podía entender.

8.2 Información de Tanques

Los resultados de las entrevistas en el campo demuestran una variedad de experiencias relacionada al abastecimiento del agua en el municipio. Primero, se nota que la mayoría de los sistemas fueron construidos en los últimos veinte años. Hay fuentes que se escaseó durante este tiempo, y otros que continúan abasteciendo su población dependiente. Mientras la escasez del agua no se duda, con frecuencia es difícil decir si la escasez resulta de la disminución de los caudales, el crecimiento de la población, o en que grado una combinación de los dos. La respuesta del campo puede reflejar tanto la percepción del entrevistado como la realidad. Benito Chávez del Cantón Pamezabal asevera que no hay cambios en caudal, “siempre sigue el mismo,” pero en cambio “nuestra gente aumenta.” En Paxub / Los Planes, la población ha aumentado más de tres veces comparado con el inicio, pero Andrés López, miembro del comité del agua, atribuyó la escasez a los dos incendios, que implica un disminución de caudal, y el aumento de la población.

Generalmente, las fuentes disminuyen durante el verano, pero a este respecto resalta dos sistemas de Chuitzam. El construido en 1987, saca agua de Nahuala, se siente solamente un poco los cambios en caudal entre las estaciones, mientras que el construido en 1997, que saca agua de Totoncapán, no siente cambios de caudal entre las estaciones.

8.3 Cuentos y observaciones de los ríos

8.3.1 Cuentos del Río Novillero

Se realizaron dos entrevistas al lado de Río Novillero, una en el parque de ecoturismo Corazón del Bosque, la otra río arriba, en un área de campos al lado del Río Novillero afuera de la aldea de Novillero. En las dos entrevistas se dijo que el cauce ha disminuido significativamente desde antes. Según el Agrónomo Selvin Pérez de Corazón del Bosque, el cauce del Río Novillero ha disminuido mucho desde el tiempo de su abuelo, él atribuye al aumento de sedimentos que proviene de tierras convertidas del bosque a usos agrícolas sin medidas de conservación de suelo. En otro caso, el agricultor que trabaja en las orillas del Río Novillero cuenta que los cauces han disminuido hace 10 años. Él atribuye este cambio en tamaño del río a la captación de entre 5 y 7 fuentes que alimentan el río durante este tiempo.

Se dijo que el nivel de río cambia bastante entre las estaciones, aumentando su nivel entre julio y octubre, y después baja durante febrero y marzo durante el verano. Durante el invierno el agua corre más oscuro, especialmente después de los aguaceros, cuando “se puede tomar chocolate,” pero el próximo día el río corre más limpio. El río corre mucho más transparente durante el verano, cuando no arrastra cieno y suelo fino de las tierras.

No han observado cambios de magnitud ni frecuencia de las crecidas durante los últimos años. Se recordó una inundación de gran tamaño hace 2-3 años en Corazón del Bosque, pero según los agricultores afuera de Novillero el río generalmente no se sale de sus orillas.

8.3.2 Observaciones geomorfológicas de Río Novillero

Se observó una distancia del Río Novillero, separado principalmente por campos agrícolas, incluyendo también pastos y algunos árboles al lado del río. La observación principal fue la existencia de un gran número de bancos, con vegetación, adentro de las orillas del Río. En esta porción del río no hubo evidencia de erosión, y los dos los bancos y las orillas sustentan vegetación. No se ve piedras en el lecho del río. En esta porción, el río está muy lodoso.

En otra parte más o menos 200 metros arriba, de extensión menor y de más curvatura, hubo evidencia de erosión en la orilla exterior, mientras que hubo depósito de cieno fino y mediano en la orilla interior. En esta porción se ve piedras de casi 30 cm de diámetro, y el color del río hubo mucho más transparente, aunque traslada una cantidad de arena de tamaño mediano.

En el Corazón del Bosque se ve la seña como basura que deja el río durante las últimas crecidas, pero no hubo evidencia que ha inundado la vega al lado del río. En los campos al lado del río afuera de Novillero, no hubo evidencia que las crecidas han salido de sus orillas en este tiempo.

8.3.3 Cuentos del Río Parracaná

Se realizaron tres entrevistas en el campo al lado de Río Parracaná, dos cerca de viviendas en Payajut, y una entrevista cerca de una vivienda más abajo, arriba de la carretera. Similar al Río Novillero, hay una disminución del caudal durante el verano. También, según una mujer que vivía al lado del río hace 17 años, el río estaba mucho más grande en el pasado. Ahora, durante el verano hay muy poca agua en el río, tanto que no puede lavar ropa en el río. Según una entrevista, las crecidas a veces cubren los cultivos, sin embargo la otra dijo que ahora las crecidas no alcanzan tanto por que ahora no hay tanta agua. Este hecho se lo atribuye a la captación de nacimientos arriba.

También se observó que hubo algunos sistemas de riego que sacan agua del río.

Más abajo, un residente describió que el río ha cambiado significativamente en los últimos 5 – 10 años. El dijo que el río bajó (su lecho) durante este tiempo, y por eso es más profundo ahora. En este tiempo, todas las piedras se las llevó el agua. También, el confirmó que el río ha disminuido su caudal durante este tiempo. Aseveró que las crecidas no salen de las orillas.

8.3.4 Observaciones geomorfológicas de Río Parracaná

Se observó el Río Parracaná el día después de un aguacero fuerte. Hubo por las orillas detrito de maíz y basura que indica el nivel que alcanzó el río, aproximadamente dos metros arriba del nivel base del río. A despecho de la proximidad del aguacero, el río no estaba muy lodoso, pero traslado una cantidad de arena y grava fina. En la distancia observada hubo evidencia de las dos erosiones de las orillas y deposición de bancos a dentro el cauce.

Río abajo, se vio una distancia con evidencia de un régimen erosivo. En esta porción, el río ha profundizado su cauce, pero no ha aumentado su ancho. No se puede observar piedras en este porción.

8.4 Nacimientos

Se realizaron dos entrevistas cerca de nacimientos que no están captados. El primer, conducido con agricultor Vicente Chávez en La Cumbre, fue un grupo de nacimientos ubicado en un barranco profundo al lado de un pequeño río que sus aguas alimentan. Según Vicente, ni los nacimientos ni el río dejan de pasar agua durante la estación seca. En cambio, se ve un fenómeno extraño, en que el nivel del río baja un poco durante los meses mas lluviosos de junio y septiembre. Pero aseveró que la caudal general no cambió entre ahora y el pasado. Un de los nacimientos se caracteriza por un color de naranja fuerte. En esta parte no existe la agricultura.

Otra entrevista se realizó abajo de Pamezabal Central, con una lavandera lavando al lado del riachuelo que proviene de este nacimiento. Ella dijo que el nacimiento baja durante el verano, pero nunca deja pasar agua todo el año. Durante la estación lluviosa el río corre más oscuro por el lodo. Cuando preguntada sobre cambios de “fuerza” del nacimiento en tiempo, ella respondió que el nacimiento ha bajado su nivel hace 4 – 5 años, y que este merma es más grande durante el verano que invierno.

8.5 Cambios de Cobertura

Se preguntó a algunas personas sobre cambios en la cobertura de la tierra en los últimos años. La intención de esta pregunta fue recibir información general por una comunidad. Generalmente los entrevistados respondieron en negativamente, que no hubo cambios de cobertura en esta área. Por ejemplo, en Novillero se dijo que “siempre aquí es para cultivos.” La respuesta implica que la tierra tiene un uso definido que ya ha existido por mucho tiempo. En Chuitzam, al contrario, el presidente del comité de agua describe que hace 35 o 40 años había muchos árboles de gran tamaño, pero principalmente para leña, según él, la gente cortó los árboles. El entrevistado Selvin Pérez de Corazón de Bosque aseveró que hubo muchos árboles en el Cantón Chuchexic durante los 1970s – 1980s, pero han cambiado mucho desde ese tiempo.

No obstante, él dijo que no hay mucha extensión de cultivos en esta época. El entrevistado Andrés López mencionó el acontecimiento de los incendios en los cerros como un cambio significativo en los cerros. La importancia de los incendios se averiguó por el Director Sub-Regional del INAB, que dijo que los incendios son un problema grande en los cerros. Una cuadra del Ministerio del Ambiente presenta que hubo 2 incendios forestales en 1998, 5 en 1999, y 4 en 2000. Otra observación de Miguel Say, residente de Cruz B y dueño de un vivero. La motivación para su vivero fue la tala en las áreas que rodean este parte. El habla de tierras que se han talados mucho en el pasado, pero el entrevistador no pudo determinar la ubicación de estas tierras.

8.6 Valoración del bosque por su regulación de procesos hidrológicos

Durante el curso de algunas entrevistas, se podía observar pensamientos y valores relacionado al bosque, muchas veces vinculado a los procesos hidrológicos. No se preguntó directamente sobre este asunto, por que es difícil evitar parcialidades en las respuestas que anticipan la intención del entrevistador. Un entrevistado, hablando de la ausencia de cambios de cobertura en la comunidad, explicó la conservación “lo (el bosque) están cuidando por que sabemos que el bosque es la base fundamental del agua.” Hubo un reconocimiento de que los incendios no solo botan los árboles sino puede tener un impacto para los recursos hídricos. Andrés López explicó la escasez de agua en su comunidad como una combinación de dos factores, el crecimiento de la población, y el hecho de los incendios, que han acontecido en áreas cerca de los nacimientos, según . Don Rodrigo de Chuitzam también mencionó el asunto de las quemadas, y el deseo de su comunidad de obtener apoyo para comenzar un vivero. El habló de un esfuerzo hace 8 o 10 años, con aporte de una institución, para reforestar algunas tierras de la comunidad. El resultado desafortunado fue que un rebaño de ovejas se comió los árboles. Miguel Say de Cruz B dice que hay mucho interés entre la gente para reforestar los montes, y el explica el papel de los árboles en las montañas como atraer las nubes. Según él, los cerros desnudos no reciben las nubes y por eso reducen

los caudales. También el dijo que el proyecto del vivero se dificulta por problemas con insectos. El notó dificultades de financiamiento y busca apoyo de la municipalidad o una institución.

8.7 Muestra de Nacimientos

Durante los días de 18,29, y 20 de Julio 2005, se realizaron entrevistas con siete comunidades, con el propósito de hacer aforos de caudales de 12 sistemas del agua, sacar las coordenadas de latitud y longitud de 9 nacimientos que aprovechan los sistemas de agua, realizar 8 muestras bacteriológicas y una muestra físico - químico. Un sumario de estos resultados se presenta en la tabla abajo.

Tabla 1. Los resultados del inventario piloto de los nacimientos en Santa Lucia Uatlán.

Comunidad	Día	Promedio	Muestra bacteriológica	Altura	Latitud	longitud
Chocol	18/07/2005	0.60	Si	2558	14 46´ 00.8"	091 16´ 39.0
Cruz b	18/07/2005	0.72	Si	2538	14 46´ 02.1	091 16´ 42.2
Buena Vista	18/07/2005	0.25	Si	2538	14 45´ 35.7	091 17´ 46.7
Paxac	19/07/2005	0.53	Si	2482	14 46´ 33.6	091 17´ 04.3
Pahaj 1	19/07/2005	0.24	Si		14 47´ 20.2	091 18´ 03.8
Pahaj 2	19/07/2005	0.22	No	2425	14 47´ 20.7	091 18´ 05.4
Pahaj 3	19/07/2005	0.15	Si	2582	14 45´ 23.0	091 17´ 39.0
Chochixcabel 1	19/07/2005	0.48	Si	2525	14 45´ 41.9	091 15´ 07.0
Chochixcabel 2	19/07/2005	0.12	No			
Chochixcabel 3	19/07/2005	0.11	No			
Ciénaga Grande 1	19/07/2005	0.39	Si	2388	14 47´ 12.7	091 16´ 50.1
Ciénaga Grande 2	19/07/2005	0.49	No			

Se realizo este estudio en las comunidades que ya tiene una relación con la institución SER, por la necesidad de ordenar compromisos con los comités de agua para aforar y sacar muestras de su sistemas. En algunas instancias, a despecho de tener citas ya ordenado, no se pudo encontrar al miembro del comité. El apoyo de los concejales era muy importante en tal instancia para encontrar otros miembros de los comités de agua para apoyar con acceso a las cajas de los nacimientos.

El apoyo del Centro de Salud fue imprescindible para realizar los análisis de las muestras bacteriológicas y físico químicos. Todavía, había un grado de incertidumbre sobre las logísticas y requerimientos para sacar las muestras. Por ejemplo, después de hablar con el Ministerio de Salud en Xela, SER proporcionó bolsas de plástico que tiene menos posibilidad para contaminación. Sin embargo, el Ministerio de Salud en Sololá

no acepta este tipo de recipiente, aunque es miembro del mismo Ministerio. Esta situación causó una dificultad innecesaria para encontrar, lavar, y esterilizar recipientes antes de comenzar el trabajo. También, hubo un grado de confusión sobre el número de muestras bacteriológicas y físico químicas que el ministerio de salud en Sololá y la capital podrían aceptar, respectivamente. Finalmente ellos aceptaron todas las muestras que se sacaron, pero tal vez con comunicación más clara y escrita, se pudiera realizar más muestras. Estos requerimientos necesitan ser bien aclarados antes de iniciar otra campaña de investigación.

Un resultado prometedor pero no cuantitativo fue la disposición de los miembros de los comités para apoyar con las muestras. A todos los que nos acercamos estaban dispuestos a permitir la toma de muestras y aforos, adicionalmente a dar períodos de su tiempo para apoyar con la recopilación de esta información. Mediante conversaciones sobre el uso de esta información, parece que los comités tal vez tienen interés de continuar este trabajo de aforos en el futuro. Sin embargo, es claro que la organización y desarrollo de un programa que bosqueja los beneficios en el largo plazo de tal programa es necesario para realizar un sistema de recopilación de datos en el futuro.

8.7.1 Calidad del Agua

La importancia del suministro dependable del agua no descuenta la necesidad de asegurar la calidad del agua. El consumo humano del agua contaminado puede resultar en enfermedades diarreicas y en algunos casos la transmisión de parásitos que causan enfermedades serias.

En el estudio se sacó la mayoría de las muestras bacteriológicas en el campo, del nacimiento. Este estudio cuenta más con los impactos ambientales de los seres humanos en el suministro del agua, por ejemplo el desecho de desechos humanos, y el crecimiento de ganados en la vecindad del nacimiento o su área de recarga hídrica. Los niveles de coliformes fecales que se sacaron en el nacimiento indican el nivel de contaminación de la fuente. Todavía hay más oportunidades de contaminación antes del consumo humano, por ejemplo la tubería, la tanque de distribución, y finalmente las actividades del usuario, como la higiene de las manos y los vasos. Por eso no se debe entender los resultados de nacimiento como prueba de la seguridad del agua. En cambio esos resultados más hablan de las condiciones de la cuenca que alimenta el nacimiento.

Se presentan los resultados físico-químicos y bacteriológicos en el Apéndice II. De las ocho muestras bacteriológicas realizadas en los nacimientos de Santa Lucía Utatlán, siete recuerdan niveles de 0 colonias de coliformes fecales por 100 mililitros, lo que las regulaciones juzgan adecuado para el consumo humano. El lavadero del Pahaj, lo que cuenta con 10 colonias por 100 ml, ya no sirve a una comunidad, pero el comité de esta comunidad lo considera como fuente posible para el futuro. Se preocupa este nivel de contaminación bacteriológica, hecho que sugiere que el comité debe investigar la fuente de la contaminación de este sistema antes de invertir mucho esfuerzo para desarrollar esta fuente. Segundo, en Pahaj el sistema que ya sirve a la comunidad, cuenta con dos colonias por 100 ml. Según este análisis, sería avisable investigar algunos tratamientos del tanque, por ejemplo clorinar, para proveer agua más adecuada para el consumo.

Adicionalmente, se debe investigar el fuente de contaminación en el área de recarga hídrica de este nacimiento.

8.8 Trabajo de los mapas

Los mapas elaborados por Ing. Catu se colocan en el Apéndice. Los mapas de interés inmediato son los del uso de la tierra en 1991 y 2001. Las porciones del área de estudio en cada categoría se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Uso de la tierra como un porcentaje del área del estudio. Es importante recordar que el área no incluye solamente el municipio de Santa Lucia Utatlán, sino también porciones de los municipios adyacentes que influyen en la disponibilidad del agua en Santa Lucia Utatlán.

Símbolo	Descripción	% 1991	% 2001	% Cambio
1	Urbano	0.58	0.73	+0.15
11	Rurales	1.50	5.68	+4.18
212	Cultivos anuales, Maíz-frijol	50.49	44.88	-5.61
3131	Bosques mixtos, ralo	2.74	4.10	+1.36
3132	Bosques mixtos, denso	43.25	42.43	-0.82
314	Matorrales/Estado Sucesional	1.44	2.18	+0.74

Se puede notar que entre los años 1991 y 2001, no cambio mucho los usos de la tierra en el área de estudio, como un porcentaje del área de estudio. Las áreas de cultivos anuales disminuyen durante este período, con la mayoría de estas tierras convertidas a áreas rurales.

Tabla 3. Capacidad del uso de la tierra como un porcentaje del área del estudio. Las descripciones del uso de la tierra se toman del perfil ambiental de Guatemala 2004.

Clase	%	Descripción de las categorías USDA
I	2.99	Suelos con pocas o ningunas limitaciones para los cultivos
II	16.88	Suelos con limitaciones que restringen la selección de plantas, requieren de practicas de conservación especiales o ambas
III	4.84	Suelos con limitaciones fuertes, que reducen la selección de plantas, requieren practicas de conservación especiales o ambas
IV	6.75	Suelos con limitantes muy fuertes que restringen la selección de plantas, requieren practicas de manejo de suelos muy cuidadosas
VI	2.42	Suelos con fuertes limitaciones que los hacen inadecuados para la siembra y limitan su uso a pastos o bosque
VII	28.09	Suelos que tienen limitaciones muy fuertes que los hacen inadecuados para la agricultura y restringen su uso en gran parte a bosques
VIII	38.03	Suelos y formas terrestres que tienen limitaciones que excluyen su uso para la producción de plantas y los restringen a zonas recreativas o protección de cuencas, abastecimiento de agua, manejo de vida silvestre

Un resultado interesante es comparar la extensión de cultivos anuales al área de la tierra adecuado para su producción. Si se define Clases I, II, y III como las que tienen capacidad para producción agrícola, estas tierras se consisten en 24.7% del área de estudio, mientras que el uso para cultivos anuales es 50.5% y 44.9 % en 1991 y 2001 respectivamente. El resultado claro de esta comparación es que muchas tierras de cultivos anuales exceden la capacidad del uso de la tierra. Además, las clases II y III requieren prácticas de conservación de los suelos, de las que hay poca evidencia en el campo. Finalmente, es importante notar que la mayoría del área del estudio se califica como clase 8, los que se excluyen de la agrícola y tiene un papel importante por la protección de cuenca y captación de agua.

8.9 Áreas de recarga Hídrica

Las áreas de recarga hídrica se definió por los nacimientos del inventario donde se sacan las coordenadas de longitud y latitud. Se rotula los nacimientos con el nombre de la comunidad que lo aprovecha, no el nombre de la comunidad donde se queda.

Figura 6.

Usando las mapas del uso de la tierra en 1991 y 2001, capacidad del uso de la tierra, y pendiente, se estimaron estas categorías en cada área de recarga hídrica.

Tabla 4. Rasgos de las áreas de recarga hídrica

Comunidad	Capacidad del Uso de la tierra	Pendiente	Uso de la tierra 1991	Uso de la tierra en 2001
Choxichiqabel	VIII – 100%	B- 35%, C-20%, D-45%	212 – 75%, 3132 -25%	212 – 60%, 3132 -40%
Cruz B/Chocol	VII -25%, VIII-75%	A -20%, B-30%, D-30%, E 20%	212 – 50%, 3132 -50%	212 – 80%, 3132 -20%
Pahaj en Los Manantiales	VI-100%	A-40% B-60%	212 – 10%, 3132 -90%	212 – 60%, 3132 -40%
Buena Vista	VI-100%	A-50% B-50%	212 – 60%, 3132 -40%	212 – 90%, 3132 -10%
Paxac	I- 65% VIII-85%	A-60% B-40%	212 –85%, 3132 -15%	212 – 50%, 3132 -40%, 11-10%
Ciénaga Grande	I-60% II-20% VIII-20%	A- 50% B- 10% D-30% E-20%	212 – 90%, 3132 -10%	212 – 50%, 3132 -50%

Algunos hechos que destacan de esta tabla. Primero, aunque en el área del estudio entero no hay un cambio grande en el uso de la tierra, hay muchos cambios significantes en las áreas más pequeñas de recarga hídrica. En todas las áreas de recarga hídrica, hay una porción de 50 % o mas dedicada al crecimiento de cultivos anuales. En tres de las áreas de recarga hídrica, se observa una disminución del área de uso de cultivos (y por eso un aumento de la cobertura boscosa), mientras que en las otras tres áreas de recarga hídrica se observa un aumento de la extensión de cultivos y por eso una disminución de la cobertura de bosque.

También se puede observar que el uso de la tierra actual acontece en condiciones diferentes con relación a la capacidad de la tierra. Por ejemplo, mas de la mitad del área de recarga hídrica de Cienaga Grande y Paxac se queda con la capacidad del uso máximo, adecuado “con aptitud para cultivos agrícolas de forma intensiva o extensiva.” En cambio el área entero de recarga hídrica de Choxichiqabel se queda en el clase VIII, y la mayoría del área alimentan los nacimientos de Chocol y Cruz B también están en clase VIII.

9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las explicaciones comunes que se ofrecen por la gente con más frecuencia para explicar la escasez del agua son la deforestación el crecimiento de la población. Los resultados presentados arriba pintan un cuadro complejo de la situación de recursos hídricos en Santa Lucia Uatlán. La falta de datos cuantitativos de los componentes hidrológicos en Santa Lucia Uatlán- precipitación, caudales de ríos superficiales, caudales de nacimientos- dificulta declaraciones inequívocas sobre cambios en los procesos hidrológicos. Sin embargo el intento de este estudio es investigar la situación de agua y el impacto de las acciones humanas en el ciclo hidrológico en el municipio. En lugar de datos cuantitativos, este estudio aprovecha las opiniones de la gente que usan cada día este recurso vital, también observaciones en el campo junto con la recopilación de información geográfica sobre el área del estudio.

Es importante recordar que las opiniones de las personas son falibles. Sus memorias tienen la capacidad de ser incorrectos, y también ser influidos demasiado por condiciones actuales o recientes. También, cuando hablamos con un miembro de una institución del apoyo, es posible que se introduzca una inclinación inconsciente para responder de una manera que aumenta la posibilidad de apoyo institucional. Es importante recordar que el asunto de la hidrología es muy compleja, incluyendo la interacción de factores determinados y indeterminados que influyen en los caudales conjuntamente. Se puede ver tendencias sólo por observación sobre períodos de algunos años, aun decenios. Fue muy difícil extraer información de esta naturaleza de los entrevistados. Ellos tienden a recordar eventos grandes, y concentrarse en estos. Por eso, mientras que la gente es un recurso de mucha importancia por su conocimiento sobre los sistemas de agua, es importante recordar las limitaciones de su testimonio en la luz de los procesos complejos de interacción entre agua y tierra.

Existen dos líneas de evidencia que sostienen la teoría de un cambio sistemático en los procesos hidrológicos. Primero, miembros de algunos comités del agua cuentan que los tiempos para llenar los tanques del agua han aumentado significativamente en los últimos años. Ciénaga Grande (el sistema construido en 1980), Paxac (sistema que saca agua de Las Manantiales), Cruz B, Chocol- todos cuentan de disminución de caudales de los nacimientos y por eso un aumento del tiempo para llenar tanques en tiempos de racionamiento. Una segunda observación es de lavanderas quienes se aprovechan de pilas cerca de riachuelos alimentados por nacimientos. Dos mujeres contaron que hace 4-5 años, el caudal de este riachuelo han disminuido mucho.

Hay una ausencia de algunas evidencias por la reducción de recarga hídrica en la cuenca. Primero, el cambio neto de la cobertura para el municipio no es mucho durante los años de 1991 – 2001, según los mapas elaborados para este estudio. Mientras que hay reducciones del área boscosa en algunas áreas de recarga hídrica, no hay un cambio significativo para el área entero del estudio. Se debe notar dos calificaciones de esta observación. Primero, los mapas de uso de la tierra están elaborados por fotos aéreas de escala 1:50,000. Es posible que parcelas pequeñas convertidos a cultivos por expansión de la frontera agrícola no están captados en este estudio si son menores que la unidad de análisis. Segundo, la segunda instantánea de uso de la tierra en 2001 corresponde mas o menos al tiempo que la disminución de caudales paso, según versiones de la gente. Por eso es posible que la mapa de 2001 no capta la situación actual, si el régimen hidrológico ha cambiado.

Otra observación no sostiene la hipótesis de que la disminución de la recarga hídrica en la cuenca es la ausencia de evidencia de aumenta de flujos superficiales. Según la balanza hídrica planteado en el marco teórico, si hay una disminución de recarga hídrica, se espera un aumento de otro componente, probablemente el flujo superficial de los ríos durante crecidas. Como describe el USACE, “cada año que pasa los ríos y los arroyos fluyen mas como torrentes y menos como ríos permanentes y estables. Por lo tanto... menos cantidad de agua esta disponible cuando se necesita durante la estación seca (USACE 2000).” Las inundaciones más grandes tienen más poder para hacer erosión, teóricamente. Pero no se encontró evidencia de este tipo de cambio. Generalmente se vio evidencia de los dos regimenes erosivos y deposicionales, con una mayor frecuencia de lugares de deposición. Se cuenta que los riachuelos adentro del barranco no han cambiado su tamaño. Según dos testigos, el río novillero ha disminuido el tamaño de su cauce en los últimos años. A lo largo de río Parracaná, hubo un lugar donde el río ha profundizado su cauce, llevando algunas piedras del lecho, pero solo se ve este en un lugar, y no se observó en general a lo largo de estos ríos. Se debe notar que las observaciones de los ríos fueron limitadas, los dos en tiempo y espacio. La posibilidad de visitar los mismos sitios en el futuro, o también visitar una extensión mayor de sitios, mejorará la comprensión de estos sistemas en el futuro.

Las razones posibles para la disminución del río novillero destacan las dificultades de vincular las causas y los efectos en la hidrología de sistemas naturales. El río naturalmente tiene una extensión de caudales, desde la corriente base alimentada solo por los nacimientos a las crecidas grandes resultado de aguaceros fuertes. Generalmente se cree que es el flujo de las crecidas que ocurren con frecuencia de cada 1-5 años que

son responsables del mantenimiento del tamaño de cauce. Las captaciones de nacimiento río arriba, y extracciones por riego, reducen los caudales de flujo cuando no hay aguaceros, pero no impactan mucho el nivel de las crecidas, los flujos que probablemente son más responsables del tamaño del cauce y para trasladar los sedimentos. Pero, otra variable es el cambio de suministro de lodo al río. Si la cantidad de lodo suministrado aumenta, por la deforestación o agricultura sin medida de conservación de suelo, y el río no puede arrastrar la cantidad aumentada, el cauce disminuye. La posibilidad de cambio en los dos variables, caudales y cantidad de lodo, dificulta la determinación de cambios en los dos. También es posible que la balanza geomorfológica que sostiene el equilibrio de los ríos cambia en espacio, depende de las condiciones locales de suministro de lodo y drenaje superficial.

Las evidencias de los mapas, las observaciones del campo y las narraciones de la gente todos sugieren que no hay un factor causativo singular que es responsable de la escasez del agua. No parece ser que una deforestación sin límites que está trayendo una sequía más potente, por lo menos no en la escala del todo el municipio. De las áreas de recarga hídrica definidas, tres ganaron más área boscosa durante 1991-2001 mientras que tres lo perdieron, y el cambio neto por el área de estudio era mínimo. Los cambios de uso de la tierra parecen ser heterogéneos, que explica el hecho que algunos comités cuentan con disminuciones de sus nacimientos mientras que otros no. Aunque en los sistemas que no han disminuido, los miembros cuentan de presiones y escasez del agua por la razón, repetido en muchas comunidades, que la gente está creciendo. Este crecimiento pone presiones en la tierra por uso de tierra por la agrícola, uso de leña, y en adición a la demanda aumentada por agua de consumo, que resulta en más captaciones del agua. En algunos lugares, por ejemplo Los Manantiales, pueden ser numerosas captaciones muy cerca. Es posible que la sobreexplotación de captaciones en poco espacio puede bajar el manto freático con el resultado de menos agua para los sistemas del agua.

Otro factor que complica el análisis es la variabilidad natural del clima y la precipitación. Figura 2 muestra las variaciones pluviales en las dos estaciones más cerca. Es importante mencionar que la precipitación, y también el flujo de los ríos y los nacimientos, son procesos estocásticos, que incluye fluctuaciones menores y mayores entre los años que no se puede prever. Muchos cuentan de 2004 como un año muy seco, pero bajo la asunción que los resultados de Santiago aplican a Santa Lucía Uatlán, las lluvias fueron más o menos el promedio y solo parecen menores en comparación a los años más lluviosos de 1995-2001. La variabilidad natural de los procesos climáticos destaca la importancia de un registro histórico de datos para ver tendencias adentro de la extensión de variabilidad natural.

Finalmente, no importa mucho, en términos de las acciones que la comunidad necesita tomar, la dificultad de vincular exactamente las causas a los efectos en los procesos hidrológicos en la cuenca. Aunque Santa Lucía cuenta con muchos árboles todavía y no ha disminuido mucho su extensión, hay bastante evidencia que una programa integral de manejo de la cuenca podría apoyar con el problema de abastecimiento del agua:

- 1) En muchos lugares el uso de la tierra excede su capacidad. Aunque no es factible convertir todas las tierras al uso mas adecuado, métodos de conservación podrían proteger los suelos y promover infiltración de la lluvia.
- 2) Santa Lucia se encuentra como cabecera de la cuenca, la parte mas arriba que fluye por la costa Pacifico y el Lago Atitlán. Lo importante es que Santa Lucia no recibe mucho ingreso de agua de otros municipios, sin embargo pierde bastante a sus vecinos por el flujo del sistema de ríos en la cuenca.
- 3) La escasez del agua es una razón importante para el manejo de la cuenca. Ya se sabe que hay mucha escasez, pero esta presión puede motivar esfuerzos de conservación.
- 4) el crecimiento de la población, que ha pasado y todavía continúa, va a poner más y más presión para el escaso recurso agua. Por esta razón, es muy importante manejar los recursos existentes de una manera racional y sostenible.
- 5) Los sistemas de agua en los comunidades varios de Santa Lucia Uatatlán son independientes. No hay coordinación entre las sistemas destinas que aprovechan de nacimientos.

10. SUGERENCIAS

Según INSIVUMEH, en su estudio de los impactos potenciales de los cambios de clima por los recursos hídricos del país, “las cabeceras de las cuencas son montañosas, por lo que deberían ser áreas exclusivamente de protección y captación de agua, para abastecer de ese recurso a toda la cuenca, en forma racional, integral, y equitativa (INSIVUMEH, año desconocido)” Como se ha destacado en este informe, Santa Lucia Uatatlán se queda en una cabecera de cuenca, hecho que explica en parte la escasez del agua, combinado con el crecimiento de la población. Pero a despecho de este meta, se ve realmente que la tierra de la municipalidad de Santa Lucia Uatatlán tiene que cumplir con un variedad de usos diferentes, incluyendo los necesidades que sostengan la población de este comunidad, incluso espacio para habitaciones, tierra para crecer cultivos para autoconsumo y vender, uso de bosque como fuente de energía como leña, y también los usos de captación y protección del agua. Se presenta las sugerencias que siguen en este marco de usos en competencia. Sera un reto a la municipalidad, los comunidades, y la gente definir lo que es el uso racional, como se interpreta los termos integral y equitativa en esta tierra de muchos usos y muchas necesidades.

Con base en los hallazgos de este estudio, se puede proveer algunas sugerencias para el manejo de los recursos hídricos en santa lucia Uatatlán. Se dan estas sugerencias con la imagen en la mente del Departamento de Agua municipal del futuro, que ya esta naciendo, como la parte que puede coordinar esfuerzos entre la municipalidad, los comités de agua, los usuarios, e instituciones interesadas como SER, para realizar un manejo de la cuenca integral. Parece claro que los usuarios, los que dependen en el agua cada día para sostener la vida, tiene el interés mas fuerte en los asuntos del agua. Pero los usuarios se dispersan por la municipalidad, aprovechando de sus sistemas independientes. Los procesos hidrológicos, en cambio, vinculan toda la cuenca. Por eso es importante que la municipalidad, lo que recibe su autoridad de los usuarios, sirve como un centro, por el Departamento del Agua, para que se puede vincular las demandas por agua de los comunidades en la situación natural del agua. Finalmente las

instituciones que trabajan en asuntos de agua tiene el conocimiento técnico para apoyar en la planificación y diseminación de proyectos, y en algunos casos recursos para facilitar la implementación de tal proyecto.

Estas sugerencias caen en tres categorías más amplias: **métodos para mejorar el entendimiento de los procesos hidrológicos en la cuenca, métodos para aumentar el abastecimiento del agua usable en la cuenca, y métodos para disminuir la demanda del agua.**

10.1 Métodos para mejorar el conocimiento de los procesos hidrológicos en la cuenca

Actualmente faltan datos cuantitativos de cada componente del ciclo hidrológico en Santa Lucia Utatlán. Los medidores pluviales del Tablón y Santiago Atitlán quedan lejos y de menor altura que la cuenca del municipio. Para los nacimientos, solamente existen cuentas del tiempo para llenar el tanque, generalmente no escritos y no exactos, sin un registro histórico. Para los ríos no hay ningún dato. Las narraciones de la gente son muy importantes, particularmente con la ausencia de datos científicos, sin embargo puede tener errores o particularidades, especialmente en tiempos de mucha sed cuando falta agua.

La intención de un programa de datos no es decir “no hay mucha agua,” lo que ya se sabe, pero para profundizar el conocimiento de agua en la cuenca, particularmente los cambios entre las estaciones y entre los años que dificulta la planificación de este recurso. Finalmente, como los seres humanos no tienen influencia en la cantidad de lluvia que cae, es importante pensar en los esfuerzos que pueden cambiar (impactar) los componentes de la balanza hídrica para aumentar la cantidad disponible por usos humanos. El método principal de influir el ciclo es promover una cobertura boscosa que aumenta la infiltración. Pero este proceso toma tiempo, y no se puede ver directamente los resultados. Por eso se necesitan datos que documentan el impacto de uso de la tierra en la disponibilidad del agua. Estos datos pueden confirmar o negar la eficacia de programas de reforestación/manejo de la cuenca, y en esta manera un barómetro crítico del éxito en términos de captación del agua por estas iniciativas.

Se listan las medidas para entender los procesos hidrológicos de bajo, en orden de importancia.

10.1.1 Aforos de Nacimientos

Figura 7



Este estudio inició un inventario de los nacimientos de Santa Lucia Uatlán. Mientras que existen algunos aforos del pasado, no hay un registro histórico bastante largo para ver los cambios entre estaciones, entre años, y muy importante en términos de manejo de la cuenca, la eficacia de programas con fines de aumentar la captación de agua en la cuenca. Durante el curso de este trabajo, como los comités del agua apoyaron para aforar sus nacimientos, se inició algunas conversaciones sobre la importancia de aforar para tener un registro de datos del caudal de su nacimiento.

Se explicó que las narraciones son fuentes importantes de información, especialmente con la falta de datos, pero no son suficientes para deducir cambios hidrológicos en el mediano y largo plazo. Se sugiere que el departamento de agua coordinar y hacer un inventario central de aforos mensuales de los sistemas de agua. Aunque en este estudio fue importante visitar el nacimiento para sacar las coordenadas, esto toma tiempo. Bajo la asunción de que no hay fugas en la tubería, los aforos en los tanques de distribución tienen el mismo caudal, y se puede alcanzar mucho más fácilmente para aforar. El equipo que se requiere consiste solamente de un recipiente, por ejemplo una cubeta de cinco galones, un cronómetro para medir el tiempo, y un cuaderno para registrar los datos. Las etapas:

- a. Anotar la fecha en el cuaderno.
- b. Un compañero lleno el recipiente, mientras que el otro mide el tiempo con el cronometro y registra el tiempo.
- c. Calcular el caudal. Si, por ejemplo, se toma 32 segundos para llenar una cubeta de cinco galones, el caudal es :

$$5 \text{ galones} / 32 \text{ segundos} = 0.16 \text{ galones por segundo.}$$
- d. Repetir dos veces más.
- e. Promediar los tres caudales: si, por ejemplo los caudales están 0.16, 0.18, 0.17, se calcula el promedio así: $(0.16 + 0.18 + 0.17) \text{ galones} / \text{segundo} / 3 \text{ aforos} = 0.17 \text{ galones por segundo.}$
- f. Registrar toda la información, y dar una copia de los resultados al departamento de agua para su registro.

Se ve este programa como sumamente importante para comenzar con una base de datos de buen calidad para observar las fluctuaciones de caudal en los sistemas del agua y vincular cambios del plazo medio a esfuerzos de reforestación y manejo de la cuenca.

10.1.2 Medidas Pluviales

Las estaciones pluviales del Tablón y Santiago Atitlán no están muy cerca, y también quedan a una altura bastante menor que la cuenca que contiene Santa Lucia Uatatlán. Por eso, se sugiere que la municipalidad, conjuntamente con los comités de agua, comiencen con una programa de tomar medidas pluviales diario. Seria importante tener una cobertura de medidores que cubra la extensión del municipio y también que represente la variedad de alturas en este terreno. El equipo es muy sencillo, nada mas que un vaso con una escala que se lee la cantidad de lluvia. La importancia de estos aforos es tener información de buen calidad para el ingreso de agua para la cuenca, el componente de precipitación en la balanza hídrica. Por ejemplo, muchos cuentan de la sequía del año 2004, sin embargo las medidas de la estación en Santiago Atitlán registra un año mas o menos promedio de lluvia. Puede ser que hubo una diferencia significativa entre Santiago Atitlán y Santa Lucia, pero faltan los datos para sostener este punto. Un programa de medidas pluviales proveería la información concreta para decir exactamente los ingresos de lluvia a la cuenca.

Metodología:

- a. Instalar un pluviómetro en un lugar abierto, sin árboles ú otras obstrucciones.
- b. Cada mañana chequear el pluviómetro para medir la cantidad de que hay agua adentro.
- c. Registrar el valor, aunque no haya agua.

d. Vaciar el pluviómetro.

La lluvia es el ingreso de agua al municipio, casi todo que ingresa para el uso de la gente. Para entender la cantidad del agua disponible, un componente de que se va por la recarga hídrica, es importante tener datos regulares y de confianza.

10.1.3 Aforos de ríos

Otro componente de importancia en la balanza hídrica es el flujo de los ríos. En el campo, las observaciones y preguntas a la gente, se entendió como manera para obtener información sobre los caudales de los ríos durante la estación de verano y también durante las crecidas. Se dificulta mucho recibir información de este tipo por conversación con la gente, por lo que sus observaciones generalmente son muy generales. Mucho mejor sería tener un registro diario de los caudales del río. Si con los cambios del uso de la tierra ha disminuido la recarga hídrica, esta agua tiene que desviarse a otra ruta, generalmente en caudales de los ríos aumentados.

Aforar ríos es mucho más difícil que los nacimientos y la lluvia, y también los caudales tiene muchos factores, dificultando la interpretación de los caudales. Un flume sencillo, parece un trecho cauce de concreto, puede ser calibrado para medición de flujos pequeños, los flujos sin impacto de aguaceros alimentado por la descarga hídrica de los nacimientos río arriba. Como una integración de toda la descarga hídrica río arriba, estos aforos son importantes indicadores de cambios hídricos. Pero la magnitud de crecidas y su hidrógrafo es la información más importante, como teóricamente aumenta las crecidas después de la deforestación por el agua superficial. Se dificulta medir estos flujos por que sobresalen los flujos, y es necesario equipo más complejo para medir las crecidas. Un palo con escala puede marcar la altura de la crecida, como la crecida deja una marca de agua en el palo. Se pone el palo a una distancia del río que no cambia su cauce mucho, la marca puede servir en lugar de un aforo. Es posible, con apoyo profesional, convertir los datos de las marcas a caudales usando la ecuación de Manning. Tomando cuenta del gasto de obtener un medidor pluvial, este método se sugiere por uno o dos ríos en la cuenca, con datos diarios, para mejorar el conocimiento de este componente, el flujo superficial, de la balanza hídrica.

10.2 Métodos para aumentar el abastecimiento del agua

Los seres humanos no pueden cambiar la cantidad de lluvia que cae, lo que es definido por la geografía de un área y las corrientes del aire húmedo provenientes del océano Pacífico. Lo que pueden impactar los seres humanos es el destino del agua que cae la cantidad se puede captar para usos humanos. Las tecnologías de aprovechar de la lluvia incluyen los muy artificiales construidos, como las presas que abastecen el agua en estanques construidos y previenen la pérdida del agua por flujo superficial. Otras técnicas se concentran en el manejo de la cuenca con fines de realzar los procesos naturales que capacitan el abastecimiento de agua en almacenajes subterráneos. Esta técnica es mucho más adecuada considerando el terreno montañoso de Santa Lucía Uatlán.

Un punto muy importante destacar es que la prioridad principal en una programa de manejo de la cuenca, es guardar los bosques que ya existen, especialmente en las áreas altos y empinados de la cuenca que se importan para la captación del agua. Estos recursos que ya existen son ciertos, y es mucho menos caro protegerlos que implementar un proyecto nuevo de reforestación. También toma tiempo para nuevo arboles crecer, mientras los ya existentes ya proveen servicios hidrológicos a la cuenca. Es importante que la municipalidad se dirija a proteger estos recursos importantes que sirven todo la municipalidad y cuenca, por restringir la tala y eliminar incentivos para promover quemados en el monte.

Esfuerzos para el manejo de la cuenca toman tiempo, recursos, consejo de expertos, y mano de obra. También, los usos ideales desde el punto de vista de captación del agua pueden contestar con los usos actuales y tradicionales. Este hecho destaca dos consideraciones muy importantes en cualquier esfuerzo. Primero, es muy importante que se involucre la gente que impacta el cambio, especialmente los dueños de tierra en el área del proyecto. Es importante que la gente tenga confianza en la meta y el método del proyecto. Segundo, es muy importante poner prioridad en los proyectos que pueden entregar el mejor beneficio por su esfuerzo. El rendimiento de un programa depende de muchas cosas

Áreas de prioridad:

- a. Áreas de recarga hídrica, los que alimentan nacimientos captados por comunidades
- b. Pendientes altas, donde la cobertura es muy importante para promover la infiltración
- c. Tierras altas, importante por la recarga hídrica y algunas puede ser fuentes del ingresos de agua por bosque nuboso
- d. Suelos que requiere cobertura perenne como protección de erosión

Se sugiere un programa piloto, conjunto con un programa de aforar los nacimientos, en que se examina la eficacia de un plan de reforestación/conservación de suelos con el intento de aumentar la captación del agua. Se sugiere el área de recarga hídrica de Chocol/Cruz B (Figura B) para este trabajo, por las razones siguientes:

- a. El área de recarga hídrica no es muy grande, entonces hay más probabilidad de observar los efectos de esfuerzos limitados.
- b. Esta área se paso un extensión significativa, entre 1991-2001, en la área de cultivos, y consecuentemente un disminución en el área boscoso.
- c. La capacidad del uso en esta área están VII/VIII, los suelos menos adecuados para la siembra de cultivos. Por esta razón, se esperan resultados buenos con el uso de la tierra más de acuerdo con su capacidad.
- d. Estas comunidades han observado disminución en sus caudales en los últimos años.
- e. Esta área sirve a dos comunidades, entonces hay un número de usuarios que pueden beneficiarse del trabajo.

- f. Miembros de los dos comités participaron en el inventario de nacimientos, y parecen bien preparados para apoyar con aforos, con asesoría y motivación adecuada.

Se sugiere se que desarrolle un plan de acción conjunto con los miembros de las partes impactadas- los comités del agua, y los dueños de la tierra, también miembros de instituciones como el ministerio de salud y ministerio del ambiente, INAB, los que tiene conocimiento técnico sobre esfuerzos de reforestación. La selección de árboles adecuados, los que son nativos del área y no toman mucha agua, es importante.

Los mapas de este informe pueden ser de uso para definir que área ha cambiado su uso durante este tiempo. En estas tierras talvez hay menos resistencia a un cambio de uso que las tierras donde la milpa es tradicional, por ejemplo el declaración de Don Miguel de Cruz B, que “así es en todo la vida siempre hay milpa,” indica un actitud de resistencia a cambios.

Es importante recordar que hay métodos de conservación que no requiere un cambio en el uso de la tierra, solo en el manejo. Por ejemplo el uso de acequias, como ha implementado en Corazón del Bosque, puede minimizar la erosión de suelos y aumentar la captación del agua.

Es importante que el esfuerzo tenga el respaldo de la municipalidad por un numero de usos, por lo menos 10 años para ver los cambios. Algunas acciones, como la reforestación, toma tiempo para pasar, y durante su crecimiento los árboles toman mas agua. También la variación entre años en la lluvia puede confundir conclusiones y se necesita un período de algunos años para ver tendencias en los aforos.

Es verdad que este método toma tiempo para realizar, y muchos factores que impactan su eficacia. Sin embargo, en todo caso es de mucha importancia, considerando la situación del agua en el municipio, y de mayor importancia en las áreas donde los caudales han disminuido. El alcalde mencionó el uso de pozos como un fuente de agua con un rendimiento mas rápido y cierto. Aunque no es la intención del este estudio analizar la factibilidad de pozos como fuente del agua, parece que este método va a aumentar su frecuencia en años venideros, y por eso se merece un comentario. El uso de pozos aprovecha del agua subterránea, como nacimientos. La diferencia es que con los nacimientos el agua nace de su propio esfuerzo de gravedad, mientras que en pozo el agua se extrae con fuerza manual o de bomba de su almacenaje subterránea. El pozo puede servir como fuente del agua en el plazo corto, pero si no se rellena el agua subterránea, el manto freático baja y con tiempo el pozo no sirve. Por eso, es tan importante con el uso de los pozos como los nacimientos, la recarga hídrica y el manejo de la cuenca para proveer el abastecimiento del agua a los acuíferos subterráneas.

10.3 Métodos para disminuir la demanda para agua

Como el agua es un recurso escaso y vital en las vidas de todos, y la población de Santa Lucia continua creciendo, el problema de agua va a persistir. Pero aunque es imposible cambiar la cantidad del agua que se requiere para mantener la vida, es factible cambiar los hábitos de la vida- especialmente de los hábitos del uso de agua- para usar el agua con mayor eficiencia para que el abastecimiento finito alcance más por la población. El agua que cae del chorro pero no se aprovecha por un uso humano se llama **desperdicio**- puede pasar por no apagar el chorro, por hacer otras tareas mientras que corre el chorro, por olvidar apagar el chorro, por usar mas agua de lo que es necesario para una tarea, por fugas en la tubería. Toda esta agua se toma del abastecimiento finito de la recarga hídrica, pero no sirve ningún uso humano. Toda esta agua, particularmente en tiempos de escasez, podría servir para uso humano y representa una perdida del agua de la comunidad. Hay dos métodos generales que se sugieren para reducir agua perdida por desperdicio. Primero, esfuerzos de educación y capacitación puede aumentar el conocimiento sobre el problema de desperdicio. Instrucción de hábitos buenos para el uso del agua y conservación adentro de la casa puede apoyar a reducir la demanda de este recurso. Segundo, incentivos económicos pueden promover el uso responsable del agua. La instalación de contadores en los sistemas del agua puede cambiar mucho la dinámica del uso en la comunidad. En lugar de una tarifa fija, el usuario pague una tarifa proporcionado por su consumo del agua. De esta manera, el usuario tiene un incentivo fuerte para el uso responsable del recurso, y para arreglar fugas en su tubería, para que pague por toda el agua. También puede decir que la tarifa en una sistema con contadores es más equitativa porque cada familia paga por su uso actual, más si consume mas y menos si consume menos.

Se sugiere que la municipalidad considere un programa piloto de medidores en una comunidad que sufre una escasez del agua. Idealmente seria tres los requerimientos de la comunidad que participa en el proyecto piloto 1) que actualmente hay escasez del agua en la comunidad, y por eso incentivos para conservar 2) la comunidad es de acuerdo con el proyecto, lo que va a redistribuir los gastos del servicio del agua 3) la comunidad tiene algún estimado de consumo del agua actual, antes de implementar el proyecto. Es importante que se pueda comparar el consumo antes y después de instaurar los contadores.

Para realizar este programa piloto, el gasto principal es la compra de los contadores, pero este gasto puede ser menos que la construcción de un sistema nueva. Hay necesidad que la comunidad se capacita para implementar su sistema- el mantenimiento de los contadores, leer los contadores y recopilación de las tarifas. Es posible que una institución, como SER, que tiene experiencia en este tipo de programa, pudiera proveer el apoyo técnico de la implementación y la responsabilidad para capacitar los miembros de la comunidad. Por que al fin es su sistema, es necesario que la comunidad tenga la voluntad y capacidad para mantener el sistema de contadores.

Después de algunos anos de operación, se puede observar los beneficios en termos de cantidad del agua y compararlos a los gastos involucrados. Puede ser que en algunas comunidades, los contadores representan una alternativa mas económica para enfrentar la escasez de agua que una sistema nueva. En comparación con proyectos de manejo de

la cuenca, un beneficio de instaurar contadores es que tal proyecto no requiere tanto tiempo para implementar. Adicionalmente, los resultados son más claros, es decir, la eficacia es sujeta a menos variables que un proyecto de manejo de la cuenca o reforestación.

11. COMENTARIOS FINALES

Las sugerencias desarrolladas en este informe se ven como métodos de medio o largo plazo para aumentar la disponibilidad del agua. Es importante ser claro que ni el proyecto de manejo de la cuenca ni la recopilación de datos hidrometeorológicos va a cambiar la situación de escasez de agua en el corto plazo. Pero el reto de abastecer de agua se va a continuar por mucho tiempo, debido a la ubicación e hidrológica de Santa Lucia Uatlán en la cabecera de la cuenca. Por eso es vital que la municipalidad tenga un plan para manejar agua por el futuro, como la presión de población solo aumente. El programa de medidas es crítico para mejorar el entendimiento de variaciones climáticas en los procesos hidrológicos, y para distinguirlos de cambios que se debe a acciones humanas. .

También es preciso para definir un plan de manejo de la cuenca y como una medida de le eficaces de tal proyecto. Porque los proyectos requieren recursos de mano de obra e inversiones, es importante que los líderes de la municipalidad y de las comunidades tengan la voluntad política para sostener estos proyectos en el plazo largo. En este sentido es importante que estas personas tienen un entendimiento de los procesos que se explican en este informe, y pueden transmitir esta información a sus comunidades y gente, para rebalsar los proyectos de conservación de agua que no provean el beneficio concreto en el corto plazo como los nuevos proyectos de infraestructura. En esta manera, por un dialogo que continua entre las grupos informados, los partidos involucrados puedan definir los compromisos del esfuerzo, inversión, y de trabajo que se dedican a los proyectos de manejar y proteger la cuenca y conservar de agua.

BIBLIOGRAFÍA

Usando las mapas del uso de la tierra en 1991 y 2001, capacidad del uso de la tierra, y pendiente, se estimaron estas categorías en cada área de recarga hídrica.

Cuerpo de Ingenieros De los Estados Unidos de América. Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala. Junio 2000.

Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. Memoria técnica del mapa de tierras forestales de captación y regulación hidrológica de Guatemala. Editado en Guatemala, 2005. 52 p.

Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. Programa de Investigación de Hidrología Forestal. Editado en Guatemala, 2005. 38p.

Instituto Geográfico Nacional. Mapa Topográfico, Escala 1:50,000, 1967.

INSIVUMEH. Atlas Hidrológico. Accesible por el Internet.

Municipalidad de Santa Lucia Uatlán. Plan de Desarrollo del Municipio de Santa Lucia Uatlán Años 2,002-2,010. 2001.

Naciones Unidas, Organización de comida y agricultura. Forests and Floods; drowning in fictions or thriving on facts. Indonesia 2005.

Palacios, S S . Estudio inicial de la recarga hídrica.

Universidad Rafael Landívar Instituto de Ciencias Ambientales y Tecnología Agrícola. Perfil Ambiental de la República de Guatemala. Vista Hermosa?, Guatemala, 2004.

UNEP WCMC 2005, chequeado la ultima vez 17/8/2005
<http://www.unep-wcmc.org/index.html?http://sea.unep-wcmc.org/forest/cloudforest/~main>

UWSP, 2005. chequeado la ultima vez 17/8/2005
http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/soil_systems/soil_orders_p1.html

APÉNDICE I
FIGURA 1. LINEAS DE IGUAL LLUVIA ANUARIO EN GUATEMALA

