



Volumen XXVIII No. 1-2010

tikalía

ISSN 2221-5964



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL DEL LAGO DE ATITLÁN

ING. AGR. OVIDIO DE LEÓN



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



Vol. XXVIII, No. 1



Guatemala
2010

**Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva

| | |
|--|------------|
| Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez | Decano |
| Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales | Secretario |
| Ing. Agr. Waldemar Nufío Reyes | Vocal I |
| Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria. | Vocal II |
| Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Dávila | Vocal III |
| P. For. Axel Esau Cuma | Vocal IV |
| P. Contador Carlos Alberto Monterroso González | Vocal V |

Comité Editorial

Dr. Hugo Cardona
Ing. Agr. Byron Zúñiga
Pdsta. Dennis Escobar Galicia

Revista  **tikal**
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfonos: (502) 2476-9770
Fax: (502) 2476-9770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXVIII, No. 1-2010) contiene valiosos estudios sobre la importancia económica y social del lago de Atitlán. Este lago es el accidente hidrográfico más importante del departamento de Sololá en Guatemala; constituye una de las fuentes económicas del departamento y uno de los centros turísticos de mayor atractivo para turistas nacionales y extranjeros. Es tal su atractivo que su *slogan* turístico lo define como uno de los lagos más lindos del mundo, en virtud de su belleza escénica y porque está rodeado de 10 poblaciones étnicas que tienen nombres bíblicos.

Empero, recientemente se ha descubierto que el lago está siendo seriamente dañado por la alta contaminación y por el surgimiento de una bacteria que daña a los peces y plantas acuáticas.

Con el propósito de sensibilizar a la población y al Estado guatemalteco de la importancia económica, social y cultural que tiene el lago de Atitlán, y para que se le preste la debida atención como uno de los más importantes recursos naturales con que cuenta el país, se realizaron los estudios que a continuación damos a conocer.

“Valoración económica del lago de Atitlán”, de Marvin Alfonso Romero Santizo, Hugo Cardona Castillo, Marino Barrientos y Ted Horbulik. En este estudio se determinó que el valor económico total del lago de Atitlán, para los habitantes de su cuenca hidrográfica, es de gran importancia para el bienestar

de la población que hace uso del lago y para la economía nacional.

“Aguas residuales y futuro del lago de Atitlán”, de Marvin Alfonso Romero Santizo y Hugo Cardona Castillo. En este estudio se analizaron las aguas residuales domésticas, tanto en sus volúmenes, como en términos del nivel de contaminación de las mismas y el impacto potencial de esta contaminación. También se estudia las aguas residuales producto del lavado de ropa en las aguas del lago.


“Desechos sólidos y futuro del lago de Atitlán”, de Marvin Alfonso Romero Santizo y Hugo Cardona Castillo. Se estudia el fenómeno de los desechos sólidos en la cuenca del lago. Se analizan los siguientes elementos: hábitos higiénicos y culturales, infraestructura y equipo, controles municipales, basureros, sistemas de recolección, tarifas de recolección.

“El área de captación de la cuenca y el lago de Atitlán”, de Marvin Alfonso Romero Santizo y Hugo Cardona Castillo. El estudio trató de encontrar una relación directa entre el proceso de deforestación y el descenso en el nivel freático del acuífero de la cuenca en el corto plazo, mediante el análisis de la relación entre los tiempos del fuerte proceso de deforestación y los tiempos de avance de la asociación edáfica seca y el de disminución de los causales.

Los editores.

CONTENIDO

- 7 **Valoración económica del lago de Atitlán**
*Marvin Alfonso Romero Santizo, Hugo Cardona Castillo,
Marino Barrientos, Ted Horbulyk*
-
- 37 **Aguas residuales y futuro del lago de Atitlán**
*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*
-
- 57 **Desechos sólidos y el futuro del lago de Atitlán**
*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*
-
- 73 **El área de captación de la cuenca y el lago de Atitlán**
*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*
-



Valoración económica del lago de Atitlán

*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo
Marino Barrientos
Ted Horbulyk*

INTRODUCCIÓN

Los países como Guatemala son altamente dependientes de su base de recursos naturales para poder alcanzar el desarrollo económico, ya que éstos proveen bienes y servicios que generan beneficios que garantizan el bienestar de la población. Muchos analistas en países desarrollados creen que mantener una base de recursos sana no conduce al crecimiento económico y que son mutuamente excluyentes. Sin embargo, Cardona (2001), indica que se hace imprescindible e impostergable reconocer las ventajas competitivas que tiene el país en términos de recursos naturales y ambiente, pero también, la responsabilidad que se tiene porque dichos recursos sean valorados justamente, para bien de las generaciones presentes y futuras.

La valoración económica de las aguas nacionales en las políticas, programas y acciones en materia de recursos hídricos es un asunto de seguridad nacional (Esch *et al.*, 2006) que conduce hacia una gestión más eficiente y sostenible del agua. En ese sentido los principios de Dublín base del Manejo Integrado de los Recursos Hídricos señalan claramente que para conseguir una gestión sustentable del agua eficiente en costos, el agua debiera ser reconocida como un bien económico que posee un valor económico en todos sus usos competitivos (Global Water Partnership, 2000). La no valoración del agua es uno de los principales problemas que incentivan y conducen al derroche y acentúan la escasez del recurso.

La valoración económica, es el esfuerzo de asignar valores monetarios a los bienes y servicios ambientales y a los impactos en los cambios de la calidad ambiental (Cardona, 2001), para poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad, que permita compararlos con otros componentes ambientales y económicos (Azqueta, 1994).

El estudio de valoración económica determinó que el valor económico total del lago de Atitlán, para los habitantes de su cuenca hidrológica, varía entre los Q.54.28 millones/año y los Q.62.85 millones/año; indicando la importancia que este recurso tiene sobre el bienestar de la población que hace uso del lago y sobre la economía nacional, comparador indicativo de su importancia respecto a otros recursos naturales.

METODOLOGÍA

El lago de Atitlán de 130 Km² de espejo de agua, se localiza en el departamento de Sololá, a una altitud de 1,550.98 msnm, entre las latitudes norte 14°36'45.61" y 14°44'52.31" y entre las longitudes oeste 91°06'58.47" y 91°17'14.63"; dista de la ciudad capital de Guatemala a 148 Km. vía carretera interamericana (CA1), y de la cabecera departamental de Sololá a 8 Km, vía ruta nacional (RN1).

El lago de Atitlán se encuentra ubicado en la zona de vida Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PMTr), de acuerdo a la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, caracterizándose por presentar una temperatura media anual de 18.6°C y una precipitación total anual de 1,214.01 mm (Apéndice 1, Capítulo 4).

MÉTODO DE MUESTREO

Se consideró como población susceptible de muestreo a los jefes de hogar y en su defecto a otro miembro de la familia que también aporte al mantenimiento económico del mismo. El marco de muestreo para este estudio lo constituyó el número de hogares dentro de la cuenca del lago de Atitlán.

Tomando en cuenta que no todos los municipios del departamento de Sololá, que se ubican dentro de la cuenca del lago de Atitlán, contribuyen de igual manera y en igual intensidad a la degradación de la calidad de las aguas del lago y a la degradación ambiental del área de captación de la cuenca hidrográfica, se decidió emplear el muestreo aleatorio estratificado, considerando a cada uno de los municipios de la cuenca como un estrato, obteniéndose un tamaño de muestra estratificado $n = 370$.

MÉTODO DE VALORACIÓN CONTINGENTE

Se utilizó el Método de Valoración Contingente basado en un escenario real de cambio futuro del lago de Atitlán. Para ello, se aplicó una encuesta basada en entrevistas personales en donde el entrevistador jugó el papel de la oferta y el entrevistado el papel de la demanda, obteniendo así de los entrevistados la máxima disposición a pagar (DAP) por el lago de Atitlán y su paisaje; DAP que equivalió a las medidas del bienestar relevantes para el análisis.

Boleta de entrevista

Se diseñó y elaboró una boleta de entrevista para recoger los datos de DAP basados en un escenario real de cambio futuro del lago de Atitlán. La boleta fue estructurada en tres partes:

Parte 1: Interrogaba al entrevistado sobre su relación con el lago.

Parte 2: En esta etapa se describía al entrevistado el escenario de valoración, y posteriormente interrogaba al entrevistado sobre la disposición a pagar (DAP) para mantener la calidad de las aguas del lago y evitar su futura degradación, así como sobre la DAP para mantener el paisaje. También en esta parte se interrogaba a los entrevistados sobre los motivos de protesta en aquellos usuarios que se negaron a proporcionar la DAP; y a los no usuarios, entrevistados, se les interrogaba sobre la DAP para tener la opción de convertirse en el futuro en usuarios del lago o sobre la DAP de existencia, esta parte de la boleta de entrevista también cuestionaba a los entrevistados sobre la mejor opción institucional para el manejo de los fondos generados en beneficio del lago de Atitlán.

Parte 3: Interrogaba al entrevistado sobre aspectos socioeconómicos.

La boleta final de entrevista, empleada en el estudio, estuvo compuesta por una mezcla de preguntas cerradas y abiertas; las preguntas de la misma, que recolectaban la información sobre las DAP se dejaron en el formato abierto (Riera, 1994 y Haab y McConnell 2002). El vehículo de pago de la DAP, que para el caso específico del estudio presentaba dos alternativas de pago: a) Un pago mensual en efectivo (Quetzales/mes), o bien, b) Un pago mensual en trabajo (horas ó días/mes).

Escenario de Valoración

Para Del Saz (2002)¹ y para Horbulyk (2003)², el escenario de valoración debe ser un escenario creíble, objetivo, claro y bastante ajustado a la realidad, para evitar los sesgos en las respuestas de las DAP; un escenario real generará una simulación de mercado más real y por ende valores de uso y no uso más ajustados a la realidad.

Se determinó que el estudio para generar el escenario futuro de cambio real en el estado trófico del lago, debía de ser un estudio integral que analizara para el lago y su cuenca los siguientes temas importantes e incluíbles. Los temas a considerar se indican a continuación, indicando entre paréntesis el capítulo de este mismo artículo en el cual se desarrolla, la metodología específica y los resultados obtenidos: Las aguas residua

1. SALVADOR DEL SAZ, Ph.D. 2002. Comunicación personal. Economista, Profesor titular del Departamento de Economía Aplicada II, Universidad de Valencia, España. Consultor en valoración económica de recursos naturales con más de 10 años de experiencia.
2. TED HORBULYK, Ph.D. 2003. Comunicación personal. Economista experto en economía de bienes públicos y recursos naturales, economía del bienestar aplicada y en economía del desarrollo; profesor asociado de la Universidad de Calgary, Canadá, y miembro de la Red Centroamericana para el Manejo de los Recursos Hídricos.

les (**Parte II**), Los desechos sólidos (**Parte III**), La relación entre el área de captación de la cuenca y el lago de Atitlán (**Parte IV**); y, El mismo lago de Atitlán (**Parte V**).

La investigación para los temas antes referidos se dividió en cuatro áreas de trabajo: a) Trabajo con expertos; b) Consulta con expertos; c) Investigación de campo; y, d) Investigación bibliográfica.

Al finalizar el proceso de investigación se obtuvo como resultado el escenario futuro de cambio real en el estado trófico del lago de Atitlán (Cuadro 3).

Cuadro 3. Escenario de valoración para el lago de Atitlán y su paisaje.

| Cambios observables en el lago y su cuenca | Escenarios del lago de Atitlán | |
|--|---------------------------------|---|
| | Año 2004 (Lago Oligotrófico) | Año 2046 (Lago Mesotrófico) |
| Población en la cuenca | 175,010 personas | 631,654 Personas |
| Densidad de población | 425.82 personas/Km ² | 1,536.87 personas/Km ² |
| Presión sobre los recursos de la cuenca | Muy Alta | Exageradamente Alta |
| Capacidad de la cuenca para amortiguar el impacto humano | Ninguna | Ninguna |
| Aguas residuales que ingresan directamente al lago (Desagües) | 450,195.73 m ³ /año | 1,624,867.07 m ³ /año |
| Desechos sólidos (Basura) que entran a las aguas del lago | 1,928.26 Tm/año | 6,959.56 Tm/año |
| Gente lavando en las aguas del lago | 373 personas | 878 personas |
| Cobertura forestal (Bosques) | 143.37 Km ² | Cuenca deforestada |
| Claridad del agua del lago | Agua clara | Agua turbia |
| Color del agua del lago | Azul | Turquesa |
| Uso del agua del lago para consumo humano | Permitido | Permitido con restricciones |
| Uso del agua para recreación | Permitido | Permitido sólo para deportes acuáticos que no tienen contacto directo con el agua |
| Uso del agua para transporte | Permitido | Permitido |
| Limpieza de playas | Regular | Pésima |
| Presencia de natas verdes/café (de algas) sobre la superficie del lago | Bajo | Medio |
| Desarrollo urbano y construcción sobre las riberas del lago | Medio | Muy alto |
| Calidad del paisaje (Belleza escénica natural) | Poco degradada | Degradada |
| Atractivo turístico | Alto | Bajo |

Entrevistadores

Se contrató a 10 entrevistadores, con una escolaridad mínima de diversificado para asegurar el correcto manejo de la información en el campo, ocho de ellos bilingües (Español-Kakchiquel, Español-Quiché y Español-Tzutujil) y todos propios de los municipios que componen la cuenca del lago de Atitlán. Siguiendo lo propuesto por Cea D'Ancona (2005), Antes de levantar la encuesta, los entrevistadores fueron sometidos a un intenso proceso de capacitación.

En el estudio se empleó el tipo de entrevista personal o cara a cara. La encuesta se levantó los días 1, 2, 3 y 4 de diciembre del 2008.

METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

La información recogida en el campo fue tabulada y transcrita a una base de datos. Luego la información se sometió a análisis estadístico con los programas especializados STATISTICA 6.0 y SPSS 11.0, trabajándose tablas de contingencia para la determinación de inconsistencias en la información contenida en la base de datos y estadísticas descriptivas por estrato para todas las variables incluidas en la encuesta, así como pruebas de normalidad. Debido a que la información de campo se levantó empleando muestreo aleatorio estratificado con asignación proporcional, las medias y las proporciones, así como las varianzas, las desviaciones estándar y los límites de confianza para todas las variables, fueron estimadas empleando la metodología sugerida por Scheaffer *et al.*, 1986 y Cochran, 1980.

Modelos econométricos

Para determinar que los modelos econométricos censurados generados eran consistentes, eficientes e insesgados, empleando los software especializados LIMDEP 8.0, STATISTICA 6.0 y SPSS 11.0, se trabajaron para cada uno de los modelos las siguientes pruebas estadísticas: Prueba de Shapiro-Wilk, Matrices de correlaciones, Análisis de Tolerancias y Factor de Inflación de Varianza (FIV); Prueba de Durbin-Watson; y la Prueba de Breusch-Pagan chi-cuadrado.

Debido a que los modelos econométricos censurados de máxima verosimilitud desarrollados en el estudio exigen que las variables dependientes sigan una distribución normal; en los casos en los que se determinó que las variables dependientes manejadas no seguían una distribución normal, y considerando además la natu-

raleza de la misma, ésta fue transformada empleando logaritmo natural (\ln) para poder cumplir con la exigencia de normalidad del modelo econométrico. El método de regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), se empleó en el estudio únicamente para determinar el R^2 (Veall y Zimmermann, 1996).

METODOLOGÍA ECONOMÉTRICA

Modelo Tobit

Considerando la naturaleza de las variables DAP Lago, DAP Paisaje y DAP Opción, debido a que los valores de las DAP obtenidos en la muestra no incluían valores negativos, se emplearon modelos de máxima verosimilitud del tipo Tobit, censurados en cero, en el extremo inferior, para poder explicarlas. Las características socioeconómicas de la población determinadas en la entrevista, fueron incluidas como variables independientes explicativas. Se empleó el software especializado LIMDEP 8.0.

Se utilizó el modelo de máxima verosimilitud tipo Tobit, considerando que el número de usuarios no incluía valores negativos. En los modelos Tobit desarrollados como funciones de demanda se incluyeron las DAP como variables independientes. Los modelos Tobit censurados en el extremo inferior (cero), se determinaron empleando la metodología propuesta por Haab y McConnell (2002) y por Bleda y Tobias (2002);

Cálculo de los valores de uso y no-uso

Para agregar y determinar los valores de uso y no-uso para el lago de Atitlán, se emplearon los tres métodos indicados en la literatura (Mitchel y Carson, 1989; Kopp et al., 1997 y Alberini, 2006): a) Agregación por la media de la DAP; b) Agregación por la mediana de la DAP; y, c) Integración de la función de demanda dentro de límites de DAP definidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LOS ENTREVISTADOS

Las principales características socioeconómicas consideradas son, entre otras, las siguientes: sexo y estado civil, número de miembros del hogar donde vive, nivel de escolaridad, ocupación de los entrevistados, ingreso de los entrevistados, núme-

ro de familiares económicamente dependientes. Para cada una de ellas se desarrollaron las estadísticas descriptivas correspondientes.

USOS DEL LAGO DE ATILÁN

Se identificaron 11 usos principales para el recurso lago, siendo la recreación el mayor de los usos -65%-; mientras que otros usos como: transporte, agua potable y comercio, que muestran también proporciones importantes, representan cada uno de ellos menos de la mitad de lo que representa la recreación (Cuadro 9).

Cuadro 9. Usos del lago de Atilán.

| Uso | Proporción estratificada | Límites de confianza al 99% | Desviación estándar para la proporción estratificada |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|
| Recreación | 65.12% | 59.26% - 70.97% | 2.27% |
| Transporte | 28.59% | 23.87% - 33.31% | 1.83% |
| Agua para consumo humano | 24.50% | 21.26% - 27.75% | 1.26% |
| Comercio | 11.35% | 7.51% - 15.19% | 1.49% |
| Deporte | 7.31% | 3.85% - 10.77% | 1.34% |
| Pesca | 6.25% | 3.05% - 9.46% | 1.25% |
| Agua para riego | 3.82% | 1.32% - 6.32% | 0.97% |
| Religión | 2.95% | 0.73% - 5.17% | 0.86% |
| Turismo | 1.09% | 0.00% - 2.50% | 0.54% |
| Producción de tul | 0.54% | 0.00% - 1.52% | 0.38% |
| Lavado de ropa | 0.27% | 0.00% - 0.97% | 0.27% |

Nota: Las proporciones estratificadas, indicadas en el cuadro para cada uno de los usos identificados del lago, son proporciones no excluyentes.

DISPOSICIÓN A PAGAR (DAP)

Respuestas de protesta y ceros verdaderos

De los 320 usuarios del lago a los que se les preguntó su Disposición a Pagar (DAP), solamente 43 entrevistados (proporción estratificada de 14.20%) se negaron a revelarla. Dos de las 43 respuestas negativas de la DAP se clasificaban como ceros verdaderos. Cuarenta y un respuestas se clasificaron como respuesta de protesta con las razones que se presentan en el Cuadron 10.

Cuadro 10. Motivos de protesta para expresar la DAP.

| Motivo de protesta a expresar la DAP | Número de entrevistados que protestaron | Proporción | Clasificación de la respuesta |
|---|---|------------|-------------------------------|
| Altos niveles de corrupción en las instituciones públicas y privadas que trabajan por proteger el lago. | 27 | 62.79% | Protesta |
| Es responsabilidad del gobierno proteger y conservar el lago, no mía. | 10 | 23.26% | Protesta |
| Limitaciones presupuestarias del entrevistado. | 4 | 9.30% | Protesta |
| No me interesa el lago ni lo que pase con él en el futuro. | 2 | 4.65% | Cero Verdadero |
| Total | 43 | 100% | |

Disposición a pagar por mantener la calidad del agua del lago (DAP Lago)

Para la determinación de la DAP Lago, se dejaron fuera del modelo las 41 respuestas de protesta y se consideraron inicialmente las 277 respuestas positivas para la DAP así como los dos ceros verdaderos; siguiendo lo propuesto por Alberini *et al.* (2006) y Bishop *et al.* (1998) para el manejo de datos continuos, éstos fueron sometidos a un análisis de datos extremos mediante el uso de diagramas de cajas (Figura 1), con el que pudo determinarse que los valores de DAP Lago $> Q_{.65,00}$

eran considerados datos extremos (11 casos), por lo que fueron eliminados del análisis estadístico y del modelo explicativo, dejando en el análisis únicamente 268 valores válidos de DAP.

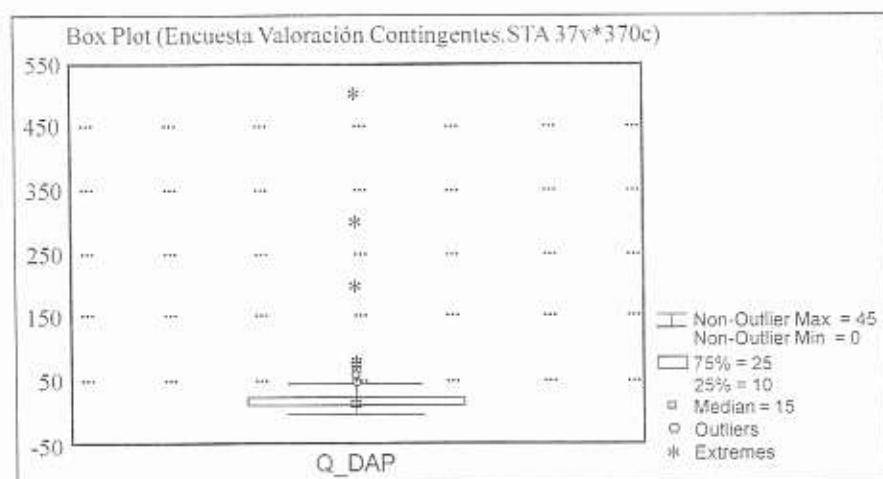


Figura 1: Diagrama de cajas para la determinación de valores extremos en la DAP Lago.

El cuadro 11, muestra que la media estratificada de la DAP para el lago de Atitlán es de Q.17.87/persona mes. El mismo cuadro y la figura 2, muestran que el 75% de los casos se encuentran agrupados en valores $d \leq Q.25.00$.

Para la FAO (2000), el tipo de distribución que presenta la DAP Lago, es una distribución de respuestas típica “Lumpy” (Figura 2 y 3), este tipo de distribuciones es característico de los estudios donde se emplean cuestionarios con respuestas abiertas para determinar la DAP.

Cuadro 11. Características de la DAP Lago (Q/persona.mes).

| | |
|--|---------------------|
| Datos válidos de DAP Lago | 268 |
| Media estratificada | Q.17.871 |
| Límite para el error de estimación al 99% de confianza | Q.2.023 |
| Límites de confianza para la media al 99% | Q.15.848 – Q.19.894 |
| Mediana | Q.15.00 |
| Valor mínimo | Q.0.00 |
| Valor máximo | Q.65.00 |
| Cuartil inferior | Q.10.00 |
| Cuartil superior | Q.25.00 |
| Desviación estándar de la media estratificada | Q.0.785 |

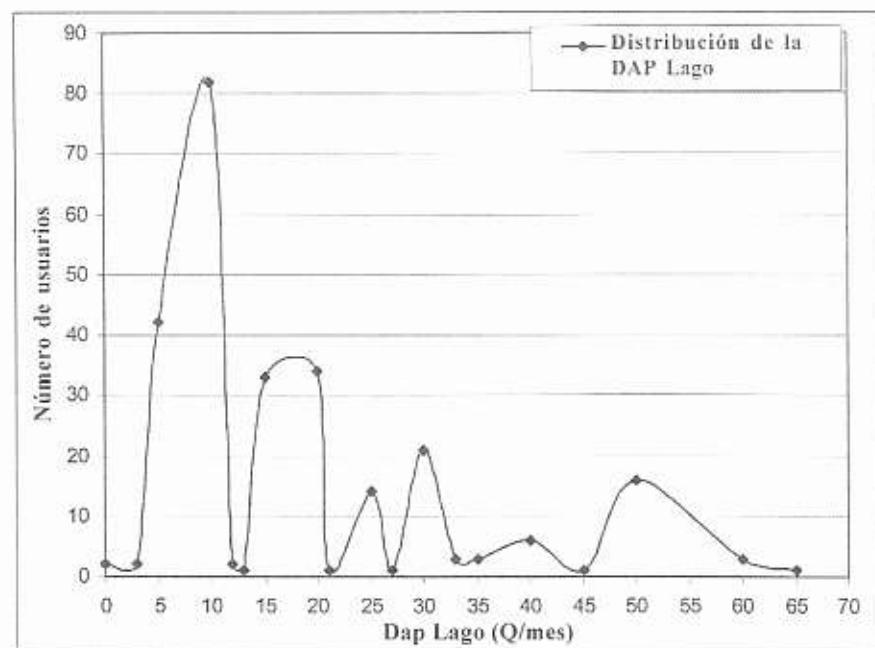


Figura 2. Distribución de la DAP para mantener la calidad del agua del lago de Atitlán.

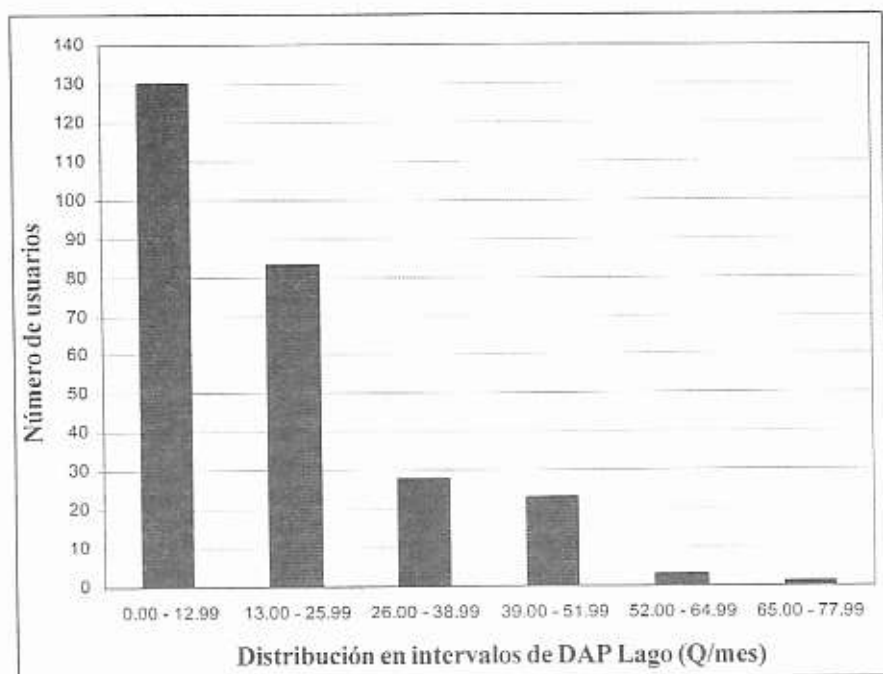


Figura 3. Distribución en intervalos de la DAP para mantener la calidad del agua del lago de Atitlán.

Modelo econométrico de la DAP Lago

Se empleó un Modelo de Máxima Verosimilitud del tipo Tobit, censurado en cero en el extremo inferior.

Se determinó a través de la prueba de Shapiro-Wilk que la variable dependiente DAP Lago no seguía una distribución normal ($n=268$, $W=0.834$ y $P=4.088 \cdot 10^{-16}$) por lo que se transformó la misma empleando la transformación de Logaritmo Natural (\ln), (Prueba de Shapiro-Wilk $n=268$, $W=0.948$ y $P=3.328 \cdot 10^{-8}$).

Se encontró que no existen problemas de Colinealidad, ni de Autocorrelación, ni problemas de heterocedasticidad, por lo que el modelo es consistente, insesgado y eficiente.

El modelo Tobit para explicar la DAP Lago tiene un ajuste de 92.34% (R^2 ajustado= 0.9234), lo que indica que el modelo explica la mayoría de los datos (Cuadro 13).

El modelo Tobit generado para la DAP Lago muestra que las variables explicativas Estado Civil (ESTCIV), Número de miembros del hogar (NUMMIEMH), Nivel de escolaridad (ESCOL), Sexo e Ingreso, son altamente significativas ($P < 0.01$).

Los coeficientes del modelo indican que existe una correlación positiva entre las variables explicativas y el valor de la DAP Lago (Cuadro 13); para las variables Escolaridad e Ingreso estos resultados obtenidos son consistentes con otros estudios (Varela, 1998). Los coeficientes de las variables Estado civil, Número de miembros del hogar y el Sexo merecen especial atención y para su correcta interpretación deben ser analizados en el contexto socio-cultural de los habitantes de la cuenca del lago de Atitlán.

Cuadro 13. Modelo Tobit de la DAP Lago

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P Z > z | Media de X |
|--|------------------------|------------------------|----------|----------|------------|
| ESTCIV | 0.3876 | $0.9437 \cdot 10^{-1}$ | 4.108 | 0.0000 | 0.7500 |
| NUMMIEMH | 0.1571 | $0.1695 \cdot 10^{-1}$ | 9.265 | 0.0000 | 5.1828 |
| ESCOL | $0.9043 \cdot 10^{-1}$ | $0.1022 \cdot 10^{-1}$ | 8.850 | 0.0000 | 6.3769 |
| SEXO | 0.4408 | 0.1044 | 4.223 | 0.0000 | 0.7164 |
| INGRESO | $0.3135 \cdot 10^{-3}$ | $0.4342 \cdot 10^{-4}$ | 7.220 | 0.0000 | 1691.4179 |
| Ajuste con MCO: $R^2 = 0.92486$, R^2 Ajustado = 0.92343 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 1.62979 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = -9.5944 con 4 grados de libertad | | | | | |

Función Tobit explicativa de la DAP Lago:

$$\ln(DAP \text{ Lago}) = 0.3876ESTCIV + 0.1571NUMMIEMH + 0.9043 \cdot 10^{-1}ESCOL + 0.4408SEXO + 0.3135 \cdot 10^{-3}INGRESO$$

Donde:

$\ln(DAP \text{ Lago})$ = Variable dependiente del tipo continuo censurada en cero, expresada en Q/persona.mes, que representa la DAP por mantener la calidad del agua

del lago de Atitlán, debido a que se encuentra expresada en términos logarítmicos el verdadero valor de la DAP se calcula empleando la expresión siguiente *DAP Lago* = $2.71828^{\text{Din(L)AP Lago}}$.

ESTCIV = Variable dicotómica que representa el estado civil de la persona, toma el valor de uno cuando ésta expresa estar casada y el valor de cero cuando expresa estar soltera, con ella se explica como el estado civil de la persona influye en el valor de la DAP Lago.

NUMMIEMH = Variable del tipo continuo, que explica como el número de miembros del hogar donde vive la persona influye en el valor de la DAP Lago.

ESCOL = Variable discreta, que explica como el nivel de escolaridad de la persona influye en el valor de la DAP Lago, la variable puede tomar los siguientes valores de acuerdo al grado de escolaridad: cero si no tiene estudios, uno para primero primaria, dos para segundo primaria, tres para tercero primaria, cuatro para cuarto primaria, cinco para quinto primaria, seis para sexto primaria, siete para primero básico, ocho para segundo básico, nueve para tercero básico, 10 para cuarto diversificado, 11 para quinto diversificado, 12 para sexto diversificado, 13 para el primer año de universidad, 14 para el segundo año de universidad, 15 para el tercer año de universidad, 16 para el cuarto año de universidad y 17 para educación universitaria completa o más.

SEXO = Variable dicotómica que toma el valor de uno para los hombres y de cero para las mujeres, con ella se explica como el sexo de la persona influye en el valor de la DAP Lago.

INGRESO = Variable continua expresada en Quetzales/mes, que explica como el ingreso de las personas influye en el valor de la DAP Lago.

Disposición a pagar por mantener la belleza del paisaje del lago (DAP Paisaje):

Aplicando, esencialmente los mismos criterios anteriores, se obtuvieron los valores DAP Paisaje. El cuadro 14, muestra que la media estratificada de la DAP para el paisaje del lago de Atitlán es de Q.11.07/persona.mes.

Al igual que la DAP Lago la DAP Paisaje también presenta una distribución de respuestas típica "Lumpy" en donde muchos individuos reportan un mismo valor de DAP, dando lugar a agrupaciones de individuos principalmente en valores bajos de la DAP.

Cuadro 14. Características de la DAP Paisaje (Q/persona.mes).

| | |
|--|--------------------|
| Datos válidos de DAP Paisaje | 261 |
| Media estratificada | Q.11.068 |
| Límite para el error de estimación al 99% de confianza | Q.1.236 |
| Límites de confianza para la media al 99% | Q.9.833 – Q.12.304 |
| Mediana | Q.10.00 |
| Valor mínimo | Q.0.00 |
| Valor máximo | Q.45.00 |
| Cuartil inferior | Q.5.00 |
| Cuartil superior | Q.15.00 |
| Desviación estándar de la media estratificada | Q.0.480 |

Modelo econométrico de la DAP Paisaje:

Se empleó un Modelo de Máxima Verosimilitud del tipo Tobit, censurado en cero como límite inferior. Obteniendo los resultados que se presentan en el Cuadro 15. Se determinó que el modelo Tobit utilizado para explicar la DAP Paisaje no presenta problemas de de Autocorrelación, de heterocedasticidad por lo que el modelo es consistente, insesgado y eficiente. El modelo Tobit para la explicar la DAP Paisaje tiene un ajuste de 90.96% (R^2 ajustado= 0.9096), lo que indica que el modelo explica la mayoría de los datos (Cuadro 16).

El modelo Tobit generado para la DAP Paisaje muestra que las variable explicativas Estado Civil (ESTCIV), Número de miembros del hogar (NUMMIEMH), Nivel de escolaridad (ESCOL), Sexo e Ingreso, son altamente significativas ($P < 0.01$), (Cuadro 16), aceptándose la hipótesis alternativa que planteaba que al menos una de las variables socioeconómicas estudiadas tendría influencia en el valor de la DAP Paisaje.

Cuadro 16. Modelo Tobit de la DAP Paisaje.

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P[Z >z] | Media de X |
|---|-------------------------|-------------------------|----------|----------|------------|
| ESTCIV | 0.2746 | 0.8700*10 ⁻¹ | 3.156 | 0.0016 | 0.7510 |
| NUMMIEMH | 0.1316 | 0.1552*10 ⁻¹ | 8.477 | 0.0000 | 5.1686 |
| ESCOL | 0.7976*10 ⁻¹ | 0.9558*10 ⁻² | 8.345 | 0.0000 | 6.3908 |
| SEXO | 0.3262 | 0.9635*10 ⁻¹ | 3.385 | 0.0007 | 0.7126 |
| INGRESO | 0.2778*10 ⁻³ | 0.4298*10 ⁻⁴ | 6.464 | 0.0000 | 1654.4061 |
| Ajuste con MCO: R ² = 0.91131, R ² Ajustado = 0.90957 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 1.68625 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = -12.0644 con 4 grados de libertad | | | | | |

Función Tobit explicativa de la DAP Paisaje:

$$\ln(DAP \text{ Paisaje}) = 0.2746ESTCIV + 0.1316NUMMIEMH + 0.7976*10^{-1}ESCOL + 0.3262SEXO + 0.2778*10^{-3}INGRESO$$

Donde:

ln(DAP Paisaje) = Variable dependiente del tipo continuo censurada en cero, expresada en Q/persona.mes, que representa la DAP por mantener la belleza del paisaje del lago de Atitlán, debido a que se encuentra expresada en términos logarítmicos el verdadero valor de la DAP se calcula empleando la expresión siguiente $DAP \text{ Paisaje} = 2.71828^{\ln(DAP \text{ Paisaje})}$.

ESTCIV, NUMMIEMH, ESCOL, SEXO, INGRESO = igual que para el modelo anterior, aplicados a DAP paisaje.

Disposición a pagar por tener la opción futura de ser usuarios del lago (DAP Opción):

El Método de Valoración Contingente empleado en el estudio de valoración económica del lago de Atitlán, no sólo permitió determinar una DAP dentro del sector usuario del lago y el paisaje, sino que también permitió medir dentro del sector no usuario la DAP por tener la opción de convertirse en el futuro en usuarios del lago y poder disfrutar de los beneficios que éste produce.

De los 370 entrevistados 50 dijeron no ser usuarios del lago de Atitlán (Proporción estratificada de 13.45%); sin embargo, 41 de ellos (Proporción estratificada de 86.75%) expresaron su interés por tener la opción en el futuro de ser usuarios, ellos y sus hijos, del recurso lago y poder disfrutar de los beneficios que éste ofrece, expresando además estar dispuestos a pagar una cantidad mensual por tener esa opción futura (DAP Opción).

El cuadro 17, muestra que la media estratificada de la DAP para tener la opción de convertirse en el futuro en usuarios del Atitlán es de Q.11.64/persona.mes.

Aunque se emplearon respuestas abiertas para medir la DAP Opción, ésta presentó una distribución más uniforme y no presentó los agrupamientos de datos alrededor de determinados valores de DAP característicos de las distribuciones *Lumpy* (Figura 8 y 9).

Cuadro 17. Características de la DAP Opción (Q/persona.mes).

| | |
|--|---------------------|
| Datos válidos de DAP Opción | 41 |
| Media estratificada | Q.11.641 |
| Límite para el error de estimación al 99% de confianza | Q.1.625 |
| Límites de confianza para la media al 99% | Q.10.016 – Q.13.265 |
| Mediana | Q.10.00 |
| Valor mínimo | Q.5.00 |
| Valor máximo | Q.25.00 |
| Cuartil inferior | Q.10.00 |
| Cuartil superior | Q.15.00 |
| Desviación estándar de la media estratificada | Q.0.631 |

Figura 8. Distribución de la DAP para tener la opción de convertirse en usuarios del lago en el futuro.

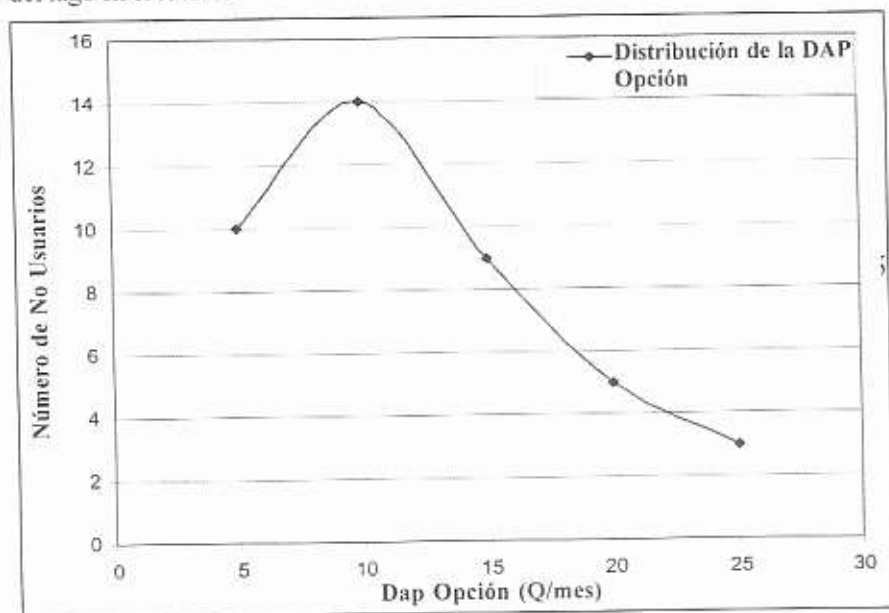
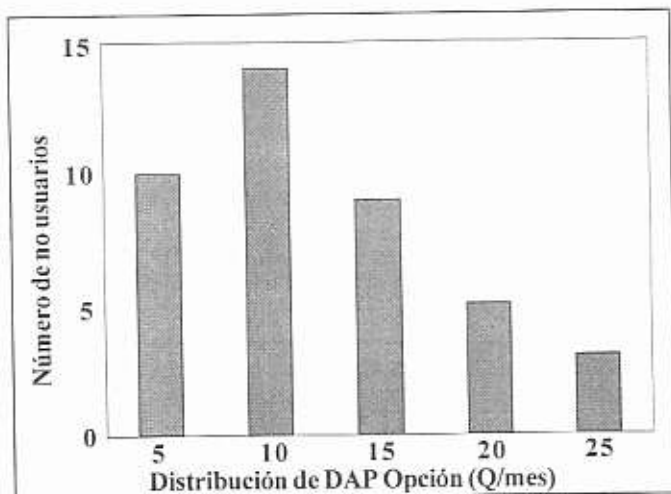


Figura 9. Distribución en clases simples de la DAP para tener la opción de convertirse en usuarios del lago en el futuro.



Modelo econométrico de la DAP Opción:

Se empleó un Modelo de Máxima Verosimilitud del tipo Tobit, censurado en cero como límite inferior, para poder explicarla.

Aplicando una prueba de normalidad Shapiro-Wilk a los datos observados se determinó que la variable dependiente DAP Opción seguía una distribución normal ($n=41$, $W=0.885$ y $P=6.056 \cdot 10^{-4}$). Se determinó que el modelo Tobit utilizado para explicar la DAP Opción no presenta problemas de de Autocorrelación, ni problemas de heterocedasticidad, lo que indica que el modelo es consistente, insesgado y eficiente.

El modelo Tobit para la explicar la DAP Opción tiene un ajuste de 88.51% (R^2 ajustado= 0.8851), lo que indica que el modelo tiene un buen ajuste a la realidad de los datos y explica la mayoría de los mismos (Cuadro 18).

El modelo Tobit generado para la DAP Opción muestra que la variable explicativa Ingreso, es altamente significativa ($P < 0.01$).

Cuadro 18. Modelo Tobit de la DAP Opción.

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P[Z >z] | Media de X |
|---|------------------------|------------------------|----------|----------|------------|
| INGRESO | $0.9347 \cdot 10^{-2}$ | $0.5176 \cdot 10^{-3}$ | 18.057 | 0.0000 | 1290.2439 |
| Ajuste con MCO: $R^2 = 0.88830$, R^2 Ajustado = 0.88551 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 1.87993 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = 3.1074 con 0 grados de libertad | | | | | |

Función Tobit explicativa de la DAP Opción:

$$DAP \text{ Opción} = 0.9347 \cdot 10^{-2} \text{INGRESO}$$

Donde:

DAP Opción= Variable dependiente del tipo continuo censurada en cero, expresada en Q/persona.mes, que representa la DAP por tener la opción de convertirse en el futuro en usuario del lago de Atitlán.

INGRESO= Variable continua expresada en Quetzales/mes, que explica como el ingreso de las personas influye en el valor de la DAP Opción.

VALOR DEL LAGO DE ATITLÁN

Valor de Uso del Agua del Lago:

Existen tres métodos aceptados para realizar la agregación de las DAP y calcular el valor del bien correspondiente para el total de la población estudiada: a) Agregación por la media de la DAP, b) Agregación por la mediana de la DAP, c) Integración de la función de demanda dentro de límites de DAP definidos (Mitchel y Carson, 1989; Kopp *et al.*, 1997 y Alberini, 2006).

Según el INE (2008), dentro de la cuenca del lago de Atitlán existe una población de 198,356 personas³; por lo que la población usuaria del lago de Atitlán que vive dentro de la cuenca es de 171,677 personas.

El estudio determinó que el valor de uso del lago de Atitlán, calculado empleando los métodos de agregación por la media y la mediana, para los 171,677 usuarios del lago que viven dentro de la cuenca es de: Q.3,067,867.99/mes, para una media estratificada de DAP Lago de Q.17.87/persona.mes y de Q.2,575,155.00/mes, para una mediana de Q.15.00/persona.mes; ambos valores representan un valor de uso anual para el lago de Atitlán de Q.36,814,415.88 y Q.30,901,860.00 para la media y la mediana respectivamente.

Para calcular el valor de uso del lago de Atitlán integrando la función de demanda, fue necesario primero generar la función de demanda del lago, misma que se determinó empleando los procedimientos propuestos por Bradley (1977) y McCartney para el modelamiento de datos continuos bajo una distribución *Lumpy*; y, siguiendo a McCartney (1977) y a Haab y McConnell (2002), se generó un modelo Tobit censurado en cero para incrementar la precisión del modelo.

La función Tobit de demanda para el lago de Atitlán, no presenta problemas de Autocorrelación ($Pd^{TM}0.01$) ni de heterocedasticidad ($Pd^{TM}0.01$), además presenta un ajuste de 97.05% (R^2 ajustado MCO= 0.9705), lo que indica que es un buen modelo y explica la mayoría de los datos (Cuadro 20), el mismo cuadro, muestra también que la variable independiente DAP Lago es altamente significativa dentro del modelo ($P<0.01$).

3. Proyección de la población para cuenca del lago de Atitlán para el año 2008, con base al XI Censo de Población del 2002. Sede Departamental de INE, Sololá.

Cuadro 20. Función Tobit de Demanda para el lago de Atitlán.

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P[Z >z] | Media de X |
|---|--------------|----------------|----------|----------|------------|
| Constante | 153584.4420 | 9146.3219 | 16.792 | 0.0000 | |
| ln(DAP Lago) | -36612.9668 | 2607.7720 | -14.040 | 0.0000 | 3.4133 |
| Ajuste con MCO: R ² = 0.97046, R ² Ajustado = 0.96308 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 3.19241 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = 0.0480 con 1 grados de libertad | | | | | |

Función de demanda encontrada para el lago de Atitlán:

$$Usuarios\ Lago = 153584.4420 - 36612.96679 * \ln(DAP\ Lago) \quad [1]$$

Donde:

Usuarios Lago= Número de usuarios del agua del lago asociados a una determinada DAP Lago.

DAP Lago= Disposición a pagar por mantener y conservar la calidad del agua del lago de Atitlán, expresada en Quetzales/persona.mes.

Resolviendo la integral definida para la función anterior [1], entre los límites de integración de DAP Lago, tenemos:

$$\int_{0.001}^{66.34} 153584.4420 - 36612.96679 * \ln(DAP\ Lago) dx$$

Se determinó que el valor de uso del agua del lago de Atitlán es de: Q.2,457,969.07/ mes, representando es valor un monto anual de Q.29,495,628.84.

Valor de uso del paisaje del Lago de Atitlán:

Para este fin se emplearon los mismos tres métodos de cálculo para generalizar el valor a la población usuaria.

El estudio determinó que el valor de uso del paisaje del lago de Atitlán es de: Q.1,900,464.39/mes, para una media estratificada de DAP Paisaje de Q.11.07/ persona.mes y de Q.1,716,770.00/mes, para una mediana de DAP Paisaje de Q.10.00/

persona.mes; ambos valores representan un valor de uso anual para el lago de Atitlán de Q.22,805,572.68 y Q.20,601,240.00 para la media y la mediana respectivamente.

La función Tobit de demanda para el paisaje del lago de Atitlán, no presenta problemas de Autocorrelación ($Pd^{*}0.01$) ni de heterocedasticidad ($Pd^{*}0.01$), además presenta un ajuste de 77.33% (R^2 ajustado MCO= 0.7733), lo que indica que es un buen modelo y explica la mayoría de los datos (Cuadro 22), el mismo cuadro, muestra también que la variable independiente DAP Paisaje es altamente significativa dentro del modelo ($P<0.01$).

Cuadro 22. Función Tobit de Demanda para el Paisaje del Lago de Atitlán.

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P(Z >z) | Media de X |
|---|--------------|----------------|----------|----------|------------|
| Constante | 139617.5776 | 22023.1850 | 6.340 | 0.0000 | |
| ln (DAP Paisaje) | -35333.4445 | 7151.5785 | -4.941 | 0.0000 | 2.9797 |
| Ajuste con MCO: $R^2 = 0.82999$, R^2 Ajustado = 0.77332 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 2.68574 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = 0.5251 con 1 grados de libertad | | | | | |

Función de demanda encontrada para el lago de Atitlán:

$$Usuarios\ Lago = 139617.5776 - 35333.44450 * \ln(DAP\ Paisaje) \quad [2]$$

Donde:

Usuarios Lago= Número de usuarios del lago asociados a una determinada DAP Paisaje.

DAP Paisaje= Disposición a pagar por mantener y conservar la belleza del paisaje del lago de Atitlán, expresada en Quetzales/persona.mes.

Resolviendo la integral definida para la función anterior [2], entre los límites de integración de DAP Paisaje, tenemos:

$$\int_{0.001}^{52.01} [139617.5776 - 35333.44450 * \ln(DAP\ Paisaje)] dx$$

Se determinó que el valor de uso del agua del lago de Atitlán es de: Q.1,858,204.43/mes, representando es valor un monto anual de Q.22,298,453.16.

Valor de Opción del Lago de Atitlán (Valor de No-Usos):

La principal ventaja del Método de Valoración Contingente, es el hecho de que es el único que permite cuantificar valores de no-uso como los valores de Opción y Existencia (Azqueta, 1994 y Mitchell y Carson, 1989). El estudio únicamente permitió cuantificar el Valor de Opción del agua del lago de Atitlán, dentro de la población no usuaria que vive dentro de la cuenca del mismo.

Tomando en cuenta que únicamente el 86.75% de la población no usuaria del lago manifestó su interés por tener la opción de convertirse en usuarios del lago en el futuro, el dato estimado de población no usuaria empleado para generalizar el valor de opción del lago fue de 23,144 personas.

El estudio determinó que el valor de opción del lago de Atitlán, calculado empleando los métodos de agregación por la media y la mediana, para los 23,144 no usuarios interesados en el lago, que viven dentro de la cuenca es de: Q.269,396.16/mes, para una media estratificada de DAP Opción de Q.11.64/persona.mes y de Q.231,440.00/mes, para una mediana de DAP Paisaje de Q.10.00/persona.mes; ambos valores representan un valor de opción anual para el lago de Atitlán de Q.3,232,753.92 y Q.2,777,280.00 para la media y la mediana respectivamente.

La función Tobit de demanda para la opción futura del lago, no presenta problemas de Autocorrelación ($Pd^{TM}0.01$) ni de heterocedasticidad ($Pd^{TM}0.01$), además presenta un ajuste de 97.76% (R^2 ajustado MCO= 0.9776), lo que indica que es un buen modelo y que explica la mayoría de los datos (Cuadro 24), el mismo cuadro, muestra también que la variable independiente DAP Opción es altamente significativa dentro del modelo ($P<0.01$).

Cuadro 24. Función Tobit de Demanda para la Opción Futura del Lago de Atitlán.

| Variable | Coefficiente | Error estándar | b/St.Er. | P[Z >z] | Media de X |
|---|--------------|----------------|----------|----------|------------|
| Constante | 33494.0330 | 2127.8964 | 15.740 | 0.0000 | |
| ln (DAP Opción) | -10133.1665 | 767.7267 | -13.199 | 0.0000 | 2.7344 |
| Ajuste con MCO: R ² = 0.97756, R ² Ajustado = 0.96633 | | | | | |
| Autocorrelación: Estadístico de Durbin-Watson = 1.96314 | | | | | |
| Heterocedasticidad: Prueba de Breusch-Pagan chi-squared = 0.0707 con 1 grados de libertad | | | | | |

Función de demanda encontrada para la opción del lago:

$$No\ usuarios\ Lago = 33494.03302 - 10133.16652 * \ln(DAPOpción) \quad [3]$$

Donde:

No Usuarios Lago = Número de no usuarios del lago asociados a una determinada DAP Opción.

DAP Opción = Disposición a pagar por tener la opción de convertirse en el futuro en usuarios del lago de Atitlán, expresada en Quetzales/persona.mes.

Resolviendo la integral definida para la función anterior [3], entre los límites de integración de DAP, obtenemos:

$$\int_{0.001}^{27.26} 33494.03302 - 10133.16652 * \ln(DAPOpción) dx$$

Se determinó que el valor de opción del lago de Atitlán es de: Q.278,724.58/mes, representando ese valor un monto anual de Q.3,344,694.96.

Valor Económico Total del Lago de Atitlán (VET):

El Valor Económico Total de un bien público o ambiental es una medida agregada de valor que considera valores de uso y de no uso (opción y existencia) y que

debería permitir identificar o aproximarse al “óptimo social” en la toma de decisiones sobre el medio ambiente (Pearce y Turner, 1990). Así se tiene que:

$$VET = VU + VO + VE$$

Donde:

VET= Valor Económico Total

VU= Valor de uso

VO= Valor de Opción

VE= Valor de Existencia

El valor económico total del lago de Atitlán incluye el valor de uso del agua del lago, el valor de uso del paisaje y el valor de opción por tener en el futuro la oportunidad de ser usuario del lago; y dependiendo del método de cálculo empleado el VET del lago varía entre los Q.54.28 millones/año y los Q.62.85 millones/año (Cuadro 25).

Tomando en cuenta que el VET debe permitir identificar o aproximarse al óptimo social, el VET obtenido mediante el empleo de las medias estratificadas, que es el valor más alto, es una mejor medida del bienestar de la población de la cuenca del lago de Atitlán, considerando la optimariedad de Pareto.

Cuadro 25: Valor económico total del lago de Atitlán.

| Método de Cálculo del Valor | Valor de No-uso (Q/año) | | Valor de Uso (Q/año) | Valor Económico |
|-----------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| | Agua del lago | Paisaje | Opción | Total (Q/año) |
| Media | 36,814,415.88 | 22,805,572.68 | 3,232,753.92 | 62,852,742.48 |
| Mediana | 30,901,860.00 | 20,601,240.00 | 2,777,280.00 | 54,280,380.00 |
| Función de demanda | 29,495,628.84 | 22,298,453.16 | 3,344,694.96 | 55,138,776.96 |

US\$ 1.00= Q.8.00

El VET del lago de Atitlán es un valor anual que representa como el bienestar de los habitantes de la cuenca del lago, se ve afectado y reducido por la contaminación del agua del lago, por la degradación de la cuenca y por la degradación del paisaje.

ENTIDADES PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LOS FONDOS EN BENEFICIO DEL LAGO

Para los 318 entrevistados que expresaron una DAP positiva para el lago, el paisaje y para tenerlo como una opción futura de uso, la mejor alternativa para el manejo y administración de los fondos que se recauden, se donen o se asignen en beneficio del lago de Atilán, la representan los Comités Locales (65%), que son instituciones propias de las comunidades del área, integradas por los mismos pobladores de la zona, que permiten un control constante y una fiscalización comunitaria continua y un manejo de fondos más transparente (Cuadro 26). Como segunda opción aparece la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atilán y su Entorno (AMSCLAE), mientras que las Municipalidades y ONG's aparecen en tercero y cuarto lugar respectivamente.

Cuadro 26: Entidades para el manejo de los recursos financieros:

| Entidad idónea | Proporción |
|--|------------|
| Comités locales | 65.19% |
| AMSCLAE (Autoridad del lago) | 15.19% |
| Municipalidades | 13.60% |
| ONG's | 4.43% |
| Universidades | 0.63% |
| INGUAT | 0.32% |
| Comisión Permanente | 0.32% |
| Instituciones extranjeras de investigación | 0.32% |

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó el estudio de valoración económica del lago de Atilán, se generaron las siguientes conclusiones:

- De los 11 usos identificados en el estudio para el lago de Atilán, los principales son: Recreación (65%), Transporte (29%), Agua para consumo humano (24%) y Comercio (11%).
- Dependiendo del método empleado para cuantificarlo, el valor de uso para el agua del lago de Atilán varía entre Q.29.50 millones/año y Q.36.81 millones/año; mientras que el valor de uso para el paisaje del lago varía entre Q.20.60

millones/año y Q.22.81 millones/año. De igual forma el valor de no-uso para el lago de Atitlán (Valor de opción), varía entre Q2.78 millones/año y 3.34 millones/año.

- El Valor Económico Total (VET) del lago de Atitlán, de acuerdo al método de cuantificación empleado, varía entre los Q.54.28 millones/año y los Q.62.85 millones/año. Aunque no existe un consenso entre los economistas sobre cual es el mejor método para calcular el valor; desde el punto de vista del óptimo de Pareto el valor de Q.62.85 millones/año, calculado con las medias estratificadas de las DAP, es el mejor valor económico total para el lago de Atitlán.
- El Valor Económico Total (VET) del lago de Atitlán es un valor anual que representa como el bienestar de los habitantes de la cuenca del lago, se ve afectado y reducido por la contaminación del agua del lago, por la degradación de la cuenca, por la degradación del paisaje y por la falta de políticas, estrategias y acciones para protegerlo.
- Desde la perspectiva de los usuarios y no-usuarios del lago que emitieron una DAP positiva, la mejor entidad para manejar los fondos que se recauden, donen o se asignen para la protección y conservación del lago de Atitlán son: los comités locales.
- El Estudio de Valoración Contingente permitió medir el cambio en el bienestar, percibido por los usuarios actuales y potenciales del lago de Atitlán, basado en un escenario real de cambio futuro en la calidad de las aguas del lago.
- El escenario real de valoración empleado en el estudio, estima que a partir del año 2004 el lago de Atitlán sufrirá un cambio progresivo de degradación en la calidad de sus aguas, que lo llevará del estado Oligotrófico, en el que actualmente se encuentra, al estado Mesotrófico en un periodo aproximado de 42 años (2056); cambio influenciado principalmente por el acelerado deterioro de su cuenca producto de la actividad humana dentro de la misma y a la falta de políticas, estrategias y acciones tendientes a proteger y conservar el lago.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alberini, A; Kahn, J; Hendon, J. 2006. Handbook on contingent valuation. Cheltenham, Gran Bretaña, Edward Elgar. 448 p.
2. Azqueta O, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid, España, McGraw-Hill/Interamericana. 299 p.
3. Bishop, R; Romano, D. 1998. Environmental resources valuation: application of the contingent valuation method in Italy. Nueva York, US, Springer. 286 p.
4. Bleda, M; Tobías, A. 2002. Aplicación de los modelos de regresión Tobit en la modelización de variables epidemiológicas censuradas. Gaceta Sanitaria (ES) 16(2):188-195.
5. Bradley, J. 1977. A common situation conducive to bizarre distribution shapes. The American Statistician (US) 31:147-150.
6. Bowers, J. 1997. Sustainability and environmental economics: an alternative text. Wokingham, Gran Bretaña, Addison-Wesley. 238 p.
7. Cardona C, H. 2001. Importancia de la valoración económica de los recursos naturales. Agro Boletín Informativo no. 4:3.
8. Carson, RT. 2000. Contingent valuation: a user's guide. Environmental Science & Technology (US) 34(8):1413-1418.
9. Castro, E; Arreola, O; Jiménez, L. (eds.). 2003. Internalización del valor económico ecológico del agua como servicio ambiental de la biodiversidad. Heredia, Costa Rica, CRESEE. 116 p.
10. Cea D'Ancona, M. 2005. La senda tortuosa de la "calidad" de la encuesta. Revista Española de Investigaciones Sociológicas -REIS- (ES) 111:75-103.
11. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Cl.). 2002. Red de cooperación en la gestión integral de recursos hídricos para el desarrollo sustentable de América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, CEPAL / ONU. 8 p. (Carta Circular no. 17).
12. Cochran, W. 1980. Técnicas de muestreo. Trad. A Sestier B. México, Continental. 513 p.
13. Dixon, J; Scura, LF; Carpenter, RA; Sherman, PB. 1994. Análisis económico de impactos ambientales. Trad. T Saravi A. 2 ed. Londres, Gran Bretaña, Earthscan. 249 p.
14. Esch, S; Delgado, M; Helfrich, S; Salazar RH; Torregrosa, M; Zúñiga, I. 2006. La gota de la vida: hacia una gestión sustentable y democrática del agua. México, Frente & Vuelta. 400 p.
15. FAO, IT. 2000. Applications of the contingent valuation method in developing countries: a survey. Roma, Italia, FAO, Information Division. 69 p. (FAO Economic and Social Development Paper 146).

16. GWP (Global Water Partnership, SE). 2000. Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo, Suecia, GWP / Sida. 80 p.
17. Haab, T; McConnell, K. 1996. Count data models and problem of zeros in recreational demand analysis. *American Journal of Agricultural Economics (US)* 78:89-102.
18. _____. 2002. Valuing environmental and natural resources: the econometrics of non-market valuation. Cheltenham, Gran Bretaña, Edward Elgar. 326 p.
19. Hadker, N; Sharma, S; David, A; Murateed, T. 1997. Willingness to pay for Borivli national park: evidence from a contingent valuation. *Ecological Economics (US)* 21:105-122.
20. Hanemann, W. 1991. Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ?. *American Economic Review (US)* 81:635-647.
21. Hellerstein, D. 1993. Intertemporal data and travel cost analysis. *Environmental and Resource Economics (US)* 3:193-207.
22. Hyman, D. 1989. Modern microeconomics: analysis and applications. 2 ed. Boston, US, Irwin. 689 p.
23. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2008. Base de datos: población del departamento de Sololá. Sololá, Guatemala. s.p.
24. Kopp, R; Pommerehne, W; Schwarz, N. 1997. Determining the value of non-marketed goods. Nueva York, US, Springer. 333 p.
25. Kriström, B; Riera, P. 1997. El método de la valoración contingente: aplicaciones al medio rural español. *Economía Agraria (ES)* 179:133-166.
26. List, JA. 2003. Does market experience eliminate market anomalies?. *Quarterly Journal of Economics (US)* 118(1):41-71.
27. Maza, CL De la. 1996. Valorización contingente y su aplicación en el parque nacional La Campana: una discusión metodológica. *Revista de Ciencias Forestales (CL)* 11(1-2):37-43.
28. McCartney, A. 2006. The social value of seascapes in the Jurien bay marine park: an assessment of positive and negative preferences for change. *Journal of Agricultural Economics (US)* 57(3):577-594.
29. Mitchell, R; Carson, R. 1989. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. 3 ed. Washington DC, US, Resources for the Future. 463 p.
30. _____. 1995. Current issues in the design, administration and analysis of contingent valuation surveys. Eds. PO Johansson; B Krinstöm; KG Mäler. Manchester, Gran Bretaña, Manchester University Press. 199 p.
31. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, US). 1993. Report of the NOAA panel on contingent valuation. NOAA, Federal Register (US) 58(10):4602-4614.

32. NOVIB, NL; FUNSOLAR (Fundación Solar, GT). 2001. Estado del agua en Guatemala. Ed. E Colom de Morán. Guatemala, Novib. 75 p.
33. Pape, YE; Ixcot, GL. 1998. Economía ambiental y desarrollo sostenible: valoración económica del lago de Amatitlán. Guatemala, Supervinsa. 308 p.
34. Parkin, M; Bade, R. 1994. Economics: Canada in the global environment. 2 ed. Don Mills, CA, Addison-Wesley. 1104 p.
35. Pearce, D; Turner, R. 1990. Economics of natural resources and the environment. Baltimore, US, The Johns Hopkins University Press. 378 p.
36. Randall, A. 1985. Economía de los recursos naturales y política ambiental. México, Limusa. 475 p.
37. Riera, P. 1994. Manual de valoración contingente. Madrid, España. Instituto de Estudios Fiscales. 112 p.
38. Romero, C. 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales. 2 ed. Madrid, España, Alianza Editorial. 216 p.
39. Scheaffer, R; Mendenhall, W; Ott, L. 1986. Elementos de muestreo. Trad. G Rendón Sánchez; JR Gómez Aguilar. México, Grupo Editorial Iberoamérica. 321 p.
40. Shultz, S; Luloff, A; King, D. 1991. The CVM and hedonic pricing: techniques for valuing a community's natural resources. *Journal of the Community Development Society (US)* 22(2):33-46.
41. Shultz, S; Pinazzo, J; Cifuentes, M. 1998. Opportunities and limitations of contingent valuation surveys to determine national park entrance fees: evidence from Costa Rica. *Environment and Development Economics (US)* 3(1): 131-149.
42. Strazzera, E; Genius, M; Scarpa, R; Hutchinson, G. 2001. The effect of protest votes on the estimates of willingness to pay for use values of recreational sites. Milán, Italia, Fondazione Eni Enrico Mattei. 32 p.
43. Turner, R; Pearce, D; Bateman, I. 1993. Environmental economics: an elementary introduction. Baltimore, US, The Johns Hopkins University Press. 328 p.
44. Varela, V. 1998. Valoración económica de los recursos hídricos de la cuenca del Río Grande Tárcoles, Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 120 p.
45. Veall, R; Zimmermann, K. 1996. Pseudo-R² measures for some common limited dependent variable models. Munich, Deutsche, LMU. 34 p.
46. Whittington, D; Lauria, D; Mu, X. 1991. A study of water vending and willingness to pay for water in Onitsha, Nigeria. *World Development (CA)* 19(3):179-198.



Aguas residuales y futuro del lago de Atitlán

*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*

INTRODUCCION

La producción de aguas residuales dentro de la cuenca del Lago de Atitlán es estudiada en sus diversos componentes. Se estudian las aguas residuales domésticas, para los distintos municipios que se encuentran dentro de la cuenca, tanto en sus volúmenes, como en términos del nivel de contaminación de las mismas y el impacto potencial de esta contaminación. También se hace un estudio detallado de las aguas residuales producto del lavado de ropa en las aguas del lago, los impactos por sus niveles de contaminación y los efectos en las personas involucradas en esta actividad.

METODOLOGÍA:

Para el análisis del componente de aguas residuales, se empleó información generada por el INE en el censo de población del 2002, además se trabajó en el área con los expertos internacionales en sistemas de aguas residuales Marvin Ocampo y Sergio Delfs¹, durante un período de tres semanas, en donde se hicieron recorridos por toda la cuenca del lago de Atitlán visitando pueblos, aldeas, caseríos y comunidades en donde los expertos iban analizando y evaluando los siguientes aspectos:

- a) Hábitos higiénicos y culturales de la población
- b) Cantidad de micro-medición del sistema de suministro de agua
- c) Instalaciones y equipos hidráulico-sanitarios de los inmuebles
- d) Control ejercido sobre el consumo de agua
- e) Valor de la tarifa y existencia o no de subsidios sociales o políticos
- f) Abundancia o escasez de manantiales
- g) Presencia de pozos perforados
- h) Caudales aprovechados
- i) Intermitencia o regularidad del abastecimiento de agua
- j) Presencia o ausencia de alcantarillado y condición de los sistemas
- k) Conducción a receptor final y receptor final de las aguas servidas
- l) Temperatura media de la región
- m) Renta familiar
- n) Disponibilidad de equipos domésticos que utilizan agua en cantidad apreciable
- o) Índices de industrialización
- p) Intensidad y tipo de actividad comercial.

La generación de datos se hizo a través de microencuestas a usuarios directos del lago de Atitlán, posteriormente se hicieron recorridos de campo para la verificación y ajuste de datos.

1. Marvin Ocampo y Sergio Delfs, Maestros Especialistas en Sistemas de Aguas Residuales, Departamento de Gestión ambiental e Ingeniería Sanitaria, Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados (INAA), 18 años de experiencia.

Todas las muestras de aguas residuales se analizaron en el laboratorio de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, al igual que las muestras de agua del lago, mismas que fueron enviadas al laboratorio siguiendo los procedimientos estándar internacionales para mantener su calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Aguas Residuales:

Las aguas residuales producidas dentro de la cuenca del lago de Atitlán (5,753,459.51 m³/año) en un 99.58% se clasifican como aguas residuales del tipo doméstico. Son aguas que se han utilizado con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.), que consisten básicamente de excretas humanas y residuos de jabones y detergentes que llegan a las redes de alcantarillado o corren a flor de tierra antes de alcanzar su receptor final (ríos, lago, acuífero), producto de las descargas de las instalaciones hidráulicas de las viviendas y también de establecimientos comerciales, públicos y similares. El 0.09% de estas aguas, se clasifican como aguas mieles (5,181.81 m³/año), producidas durante el proceso de beneficio de café, mismas que en su totalidad son descargadas al lago de Atitlán por los beneficios que las generan; y, el 0.33% restante se clasifican como aguas de tipo agroindustrial (18,910.18 m³/año), generadas principalmente en rastros, granjas, centros de acopio agrícolas y tintorerías de hilos y telas, las que son muy variadas en sus características ya que las mismas dependen del tipo de industria a la que pertenecen.

En la cuenca se tienen cuatro situaciones de la población respecto a su relación con la infraestructura básica para el manejo de las aguas residuales, siendo predominante la situación en donde la gente cuenta con letrina pero no con un sistema de drenaje, dificultando el manejo de la mayor cantidad de las aguas residuales producidas, la situación más crítica se presenta con la población que no cuenta ni con letrina ni con drenaje, volviéndola una fracción de la población de la cuenca muy vulnerable a padecimientos patológicos principalmente del tipo entérico (diarreas); apenas tres de cada 20 personas cuentan con servicio de drenaje, algunos conectados a redes de alcantarillado municipal que funcionan relativamente bien y otros conectados a sistemas de alcantarillado privado que muchas veces no llenan los requerimientos mínimos de la ingeniería sanitaria que garanticen una buena conducción de las aguas residuales y mucho menos su tratamiento. Más a la orilla

del lago se encontró el uso de fosas sépticas en donde muy pocas son verdaderamente fosas sépticas, porque la mayoría, son en realidad pozos de absorción de aguas servidas que provocan problemas de contaminación a las aguas subterráneas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Población de la cuenca del lago de Atitlán con infraestructura sanitaria básica.

| Municipio | Población con servicio de drenaje | Población sin drenaje y sin letrina | Población sin drenaje con Letrina | Población con fosa séptica |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Sololá | 9,870 | 7,315 | 39,275 | 2,151 |
| Panajachel | 7,068 | 430 | 1,422 | 2,854 |
| Santa Catarina Palopó | 60 | 240 | 1,945 | 786 |
| San Antonio Palopó | 65 | 756 | 4,532 | 473 |
| San Lucas Tolimán | 97 | 643 | 6,485 | 2,622 |
| Santiago Atitlán | 4,819 | 5,925 | 13,185 | 7,486 |
| San Pedro la Laguna | 96 | 1,215 | 7,678 | 558 |
| San Juan la Laguna | 455 | 1,051 | 3,017 | 18 |
| San Pablo la Laguna | 54 | 4,256 | 1,575 | 238 |
| San Marcos la Laguna | 60 | 764 | 491 | 1,026 |
| Santa Cruz la Laguna | 1,086 | 745 | 2,445 | 159 |
| Concepción | 566 | 1,548 | 2,453 | 7 |
| San José Chacayá | 133 | 248 | 1,980 | 223 |
| Santa Lucía Utatlán | 1,327 | 644 | 14,704 | 603 |
| San Andrés Semetabaj | 745 | 121 | 2,165 | 49 |
| TOTAL CUENCA | 26,501 | 25,901 | 103,354 | 19,255 |
| Porcentaje | 15 | 15 | 59 | 11 |

Los problemas por falta de infraestructura sanitaria básica no se circunscriben sólo al área rural de la cuenca, aunque en ella se tienen fuertes problemas al respecto, sin embargo, en mucho del área urbana, principalmente la que se concentra a la orilla del lago de Atitlán, también se está padeciendo de la falta de esta infraestructura; se ven aguas servidas corriendo a flor de tierra, se sienten olores fétidos, se padecen problemas de moscas y enfermedades diarreicas. El Cuadro 2, muestra que el mayor volumen de las aguas servidas producidas en la cuenca (más de 65%), corren a flor de tierra, evaporándose, infiltrándose o contaminando terrenos, calles y cuerpos de agua receptores (ríos, lago, acuíferos), sirviendo de medio

para el crecimiento, propagación y distribución de patógenos y vectores de enfermedades, siendo al final de todo la misma población la más afectada por los efectos contaminantes de los desagües. Herrera (2005)², considera que los volúmenes de aguas residuales depositados en las fosas sépticas podrían generar problemas de contaminación de las aguas subterráneas ya que por geología queda claro que el acuífero es libre o freático y esto lo hace vulnerable a la contaminación por aguas residuales, sobre todo en los pueblos de la orilla del lago donde los niveles están entre 15 a 30 metros de profundidad en arenas y lavas volcánicas.

Cuadro 2. Volúmenes de aguas residuales generados en la cuenca del lago de Atitlán.

| Municipio | Aguas Servidas sistema de drenaje (m ³ /año) | Aguas servidas a flor de tierra (m ³ /año) | Aguas servidas fosa séptica (m ³ /año) |
|-----------------------|---|---|---|
| Sololá | 518,765.84 | 1,360,408.30 | 62,809.14 |
| Panajachel | 371,512.20 | 54,083.02 | 83,342.18 |
| Santa Catarina Palopó | 3,155.28 | 63,813.77 | 22,965.17 |
| San Antonio Palopó | 3,398.39 | 154,390.52 | 13,811.29 |
| San Lucas Tolimán | 5,072.13 | 208,147.10 | 76,570.76 |
| Santiago Atitlán | 253,295.93 | 558,017.93 | 218,602.13 |
| San Pedro la Laguna | 5,068.08 | 259,676.13 | 16,280.29 |
| San Juan la Laguna | 23,917.40 | 118,791.35 | 530.44 |
| San Pablo la Laguna | 2,831.99 | 170,276.79 | 6,936.94 |
| San Marcos la Laguna | 3,151.42 | 36,670.85 | 29,968.61 |
| Santa Cruz la Laguna | 57,091.22 | 93,144.61 | 4,649.46 |
| Concepción | 29,768.01 | 116,833.16 | 213.74 |
| San José Chacayá | 6,980.45 | 65,051.30 | 6,518.71 |
| Santa Lucía Utatlán | 69,746.20 | 448,173.84 | 17,608.09 |
| San Andrés Semetabaj | 39,141.62 | 66,746.87 | 1,438.90 |
| TOTALCUENCA | 1,392,896.15 | 3,774,225.54 | 562,245.82 |
| Porcentaje | 24.31 | 65.88 | 9.81 |

2. HERRERA, I. 2005. Comunicación personal. M.Sc. Hidrogeólogo experto, Profesor de Hidrogeología en la Maestría de manejo de recursos hídricos, Facultad de Agronomía, USAC; y consultor independiente.

Los expertos (Marvin Ocampo y Sergio Delfs) después del análisis de las variables que caracterizan a la población de la cuenca, consideran que la dotación promedio de agua por persona por día es de 180 litros en el área urbana y 100 litros en el área rural, de la cual en ambos casos el 80% termina convirtiéndose en agua residual. Consideran también que las aguas residuales dentro de la cuenca se incrementarán a la misma tasa de crecimiento poblacional.

Aguas Residuales que Ingresan Directamente al Lago:

Aguas residuales domésticas:

Diez de los 15 municipios que se encuentran dentro de la cuenca del lago de Atitlán descargan directamente sus aguas residuales al mismo, ya sea por un sistema de drenaje o por escurrimiento superficial, sin ningún tratamiento previo que mejore la calidad de las mismas (Cuadro 3); los restantes municipios descargan sus aguas residuales, de la misma manera, a ríos o arroyos, que al final de su recorrido llevan estas aguas al lago, que es el punto más bajo de la cuenca hidrográfica y el que por ende recibe todas las alteraciones que se hacen a las aguas de los ríos aguas arriba.

Cuadro 3. Municipios que descargan sus aguas residuales directamente al lago.

| Municipio | Caudal descargado al lago por el sistema de drenaje (m ³ /año) | Caudal a flor de tierra que llega al lago por escurrimiento superficial (m ³ /año) | Caudal total descargado directamente al lago (m ³ /año) | Caudal total descargado directamente al lago (L/s) |
|-----------------------|---|---|--|--|
| Panajachel | 44,581.46 | 8,214.71 | 52,796.18 | 1.67 |
| Santa Catarina Palopó | 2,524.22 | 5,527.13 | 8,051.35 | 0.26 |
| San Antonio Palopó | 2,718.72 | 7,697.13 | 10,415.84 | 0.33 |
| San Lucas Tolimán | 0.00 | 19,854.14 | 19,854.14 | 0.63 |
| Santiago Atitlán | 202,636.74 | 38,235.94 | 240,872.68 | 7.64 |
| San Pedro la Laguna | 4,054.46 | 20,696.73 | 24,751.19 | 0.78 |
| San Juan la Laguna | 9,566.96 | 8,812.99 | 18,379.95 | 0.58 |
| San Pablo la Laguna | 2,265.59 | 13,291.03 | 15,556.62 | 0.49 |
| San Marcos la Laguna | 2521.14 | 4,997.96 | 7,519.10 | 0.24 |
| Santa Cruz la Laguna | 48,527.54 | 3,471.15 | 51,998.69 | 1.65 |
| | | Total | 450,195.73 | 14.28 |

Contaminación del lago por aguas residuales domésticas:

Con el propósito de medir el poder contaminante de las aguas residuales sobre las aguas del lago de Atitlán y siguiendo la recomendación de los expertos, se tomó, y analizó en laboratorio, una muestra de agua residual de cada uno de los siguientes municipios: Panajachel, San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Pedro la Laguna y Santa Cruz la Laguna, determinándose que las aguas residuales que llegan directamente al lago, ya sea por descarga directa del sistema de drenaje o por escurrimiento superficial, depositan en el lago en promedio 13 mg de PO_4^{3-} /L y 14.4 mg de NO_3^- , principales nutrientes para el desarrollo del proceso de eutricación del lago, así como gran cantidad de contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales; y, parásitos), causante de múltiples enfermedades entéricas en la población que tiene contacto con esta agua (Cuadro 5).

Según la UNEP (United Nations Environment Programme, 2002), las aguas residuales de cualquier tipo que se descarguen a los lagos deben de cumplir con los siguientes requisitos básicos (Cuadro 4):

Cuadro 4. Características de las aguas residuales que se descargan a los lagos o reservorios.

| Parámetro | Unidades de medida | Límite máximo permisible |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 1000 |
| Fósforo Total | mg P/L | 1 |
| | mg PO_4^{3-} /L | 3 |
| Nitrógeno Total | mg/L | 10 |
| DBO_5 | mg/L | 20 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 30 |
| Sólidos Sedimentables | mg/l/h | 5 |
| Grasas y aceites | mg/l. | 1 |
| Metales pesados | mg/L | No presencia |
| Fuente: UNEP (2002). | | |

También existen parámetros mucho más exigentes. Los criterios de calidad de agua de la Environmental Protection Agency -EPA- (1999) establecen que la con-

concentración de fosfatos (PO_4^{3-}) no debe exceder de 0.05 mg/L si la corriente descarga en un lago o embalse.

Considerando los límites máximos permisibles y las magnitudes de cada parámetro que presentan las aguas residuales que se descargan al lago de Atitlán (Cuadro 4), se determina que sólo en el parámetro de los sólidos sedimentables se está dentro del límite máximo permitido, sin embargo, el resto de los parámetros exceden los límites máximos permisibles, por lo que las aguas residuales que se descargan al lago de Atitlán superan en mucho el poder contaminante permitido, poniendo en peligro la salud y buen estado del agua del lago, así como el de sus usuarios.

Cuadro 5. Caracterización del crudo de las aguas residuales de los poblados de la orilla del lago de Atitlán.

| Parámetro | Unidades de medida | Cantidad | Coefficiente de variabilidad |
|---------------------------------|--------------------|----------|------------------------------|
| Temperatura | °C | 18.5 | 1.98% |
| pH | Unidades | 7.2 | 2.06% |
| Oxígeno disuelto | mg/L | 1.5 | 10.04% |
| Sólidos sedimentables | mg/L/h | 4.7 | 3.25% |
| Sólidos disueltos | mg/L | 311 | 14.11% |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 696 | 16.73% |
| DQO | mg/L | 635 | 12.60% |
| DBO ₅ | mg/L | 288 | 12.88% |
| Nitratos (NO_3^-) | mg/L | 14.4 | 10.41% |
| Nitritos (NO_2^-) | mg/L | 0.07 | 6.28% |
| Fosfatos (PO_4^{3-}) | mg/L | 13 | 7.25% |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 1.11E+09 | 17.07% |
| Coliformes fecales | NMP/100 ml | 3.13E+08 | 19.49% |
| Grasas y aceites | mg/L | 78 | 5.13% |

Desde el punto de vista limnológico, para el lago de Atitlán, el Fósforo se considera el elemento limitante para el crecimiento de las algas y el elemento que define la velocidad y el grado del proceso de eutricación de los lagos. El lago de Atitlán recibe al año, directamente, un aproximado de 450,196 m³ de aguas residuales domésticas que depositan en el mismo 5,852.5 Kg de PO_4^{3-} , tomando en cuenta el

área del espejo de agua del lago (130 Km²) y con fines de la generación de un escenario real para el recurso, esa cantidad anual de fosfatos (PO₄⁻³) es equivalente a 0.045 g/m².año.

Aparte de la contaminación físico-química que producen las aguas residuales domésticas que alcanzan las aguas del lago de Atitlán, la contaminación microbiológica también es muy importante, principalmente considerando que las aguas del lago son usadas para consumo humano (Cuadro 6), recreación y pesca; actualmente esa contaminación no se generaliza a todo el volumen de agua contenido en el lago (24.40 Km³), pero es una contaminación focalizada y ubicada principalmente en las aguas del lago y playas ubicadas frente a los principales centros poblados asentados a las orillas del lago de Atitlán, encontrándose poblaciones de coliformes fecales y *Escherichia coli* muy altas y fuera de cualquier límite máximo permisible. También se identificó, en todos los puntos de ingreso de aguas residuales al lago, presencia de los parásitos: *Entamoeba histolytica*, *Yersinia sp.*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium sp.*, y *Taenia solium*³; los lugares del lago que presentan la contaminación microbiológica más alta son: Panajachel, Santa Catarina Palopó y las bahías de Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán (Cuadro 7).

La Organización Mundial de la Salud, WHO (2004), señala que la contaminación microbiológica de las aguas ha sido implicada como la causante de importantes infecciones y enfermedades parasitarias como cólera, disentería, tifoidea, hepatitis, giardiasis, schistosomiasis, cisticercosis, amebiasis y gusano de Guinea, provocando el 80% de las enfermedades en países en desarrollo. Todas estas enfermedades se transmiten por material fecal contaminado que contamina el agua, la que sirve de medio vector cuando ésta es ingerida o en algunos pocos casos cuando entra en contacto con la piel; virus como el de la hepatitis y rotavirus, bacterias como las causantes del cólera, tifoidea y disentería y parásitos como la *Giardia*, *Cryptosporidium*, Amebas y Cisticercos, son los más comúnmente transmitidos por la contaminación fecal del agua.

Según la Unidad de Epidemiología de la Dirección Departamental de Salud Pública de Sololá (2004)⁴, en los recientes 9 años, el número de casos de enfermedades diarreicas tratados en la cuenca del lago de Atitlán ha crecido a una tasa promedio

-
3. Identificación hecha por el Limnólogo y biólogo marino, Nicholas D. Preston, Ph.D., en el laboratorio de microbiología del Hospital Nacional Juan de Dios Rodas, Sololá, (2004).
 4. Unidad de epidemiología de la Dirección Departamental de Salud Pública de Sololá. 2004. Base de datos. Sololá, Guatemala.

de 756 casos/año. En su mayoría, los casos se deben a infecciones producidas por consumo de agua contaminada y el resto por consumo de alimentos contaminados y malos hábitos de higiene (Figura 1). Las áreas de mayor riesgo identificadas dentro de la cuenca, según la tasa de incidencia de diarreas son: Santa Lucía Utatlán, Sololá, San Pablo la Laguna, San Pedro la Laguna, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, Santa Catarina Palopó y Panajachel.

Existe una fuerte asociación entre los municipios que descargan sus drenajes directamente al lago (cuadro 3), los municipios que extraen agua del lago para consumo humano (Cuadro 6) y los municipios que presentan las mayores tasas de enfermedades diarreicas por año (Figura 1).

Considerando los límites máximos permisibles de coliformes totales para la natación y deportes acuáticos (Organización Mundial de la Salud, WHO, 2004) que requieren un contacto directo del cuerpo con el agua del lago y los promedios microbiológicos de las aguas del lago frente a los poblados asentados a su orilla, sólo las aguas del lago frente a los poblados de San Juan la Laguna, San Marcos la Laguna, Tzununá y las aguas del centro del lago son microbiológicamente aptas para esta actividad; mientras que las aguas frente a Santiago Atitlán y Panajachel (desembocadura del río y Tzanjuyú) no llenan los requisitos microbiológicos para la navegación (Cuadro 7).

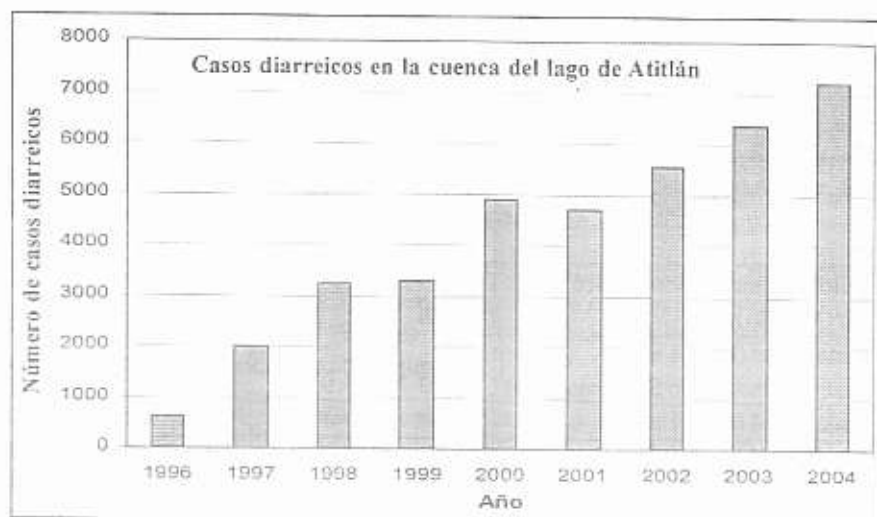
Cuadro 6. Total de personas que consumen agua del lago de Atitlán.

| Municipio | % de población que consume agua del lago | Total de personas que consumen agua del lago |
|-----------------------|--|--|
| Panajachel | 40 | 4,710 |
| Santa Catarina Palopó | 15 | 455 |
| San Antonio Palopó | 15 | 874 |
| San Lucas Tolimán | 95 | 9,355 |
| Santiago Atitlán | 55 | 17,279 |
| San Pedro la Laguna | 100 | 9,547 |
| San Juan la Laguna | 25 | 1,135 |
| San Pablo la Laguna | 3 | 184 |
| San Marcos la Laguna | 15 | 351 |
| Santa Cruz la Laguna | 15 | 665 |
| | Total | 44,555 |

Cuadro 7. Contaminación microbiológica encontrada frente a los principales centros poblados asentados a orillas del lago de Atitlán.

| Lugar | Promedio 2004 | | Promedio 2005 | |
|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | Coliformes totales (NMP/100 ml) | Escherichia coli (NMP/100 ml) | Coliformes totales (NMP/100 ml) | Escherichia coli (NMP/100 ml) |
| Sololá (Frente a desembocadura río Quiscap) | 338 | 12 | 309 | 10 |
| Panajachel (Frente a desembocadura río San Francisco) | 4217 | 910 | 6504 | 1224 |
| Panajachel (Frente a Tzanjuyú) | 1950 | 128 | 3260 | 96 |
| Frente a Santa Catarina Palopó | 749 | 83 | 980 | 91 |
| Frente a San Antonio Palopó | 199 | 3 | 180 | 2 |
| Frente a San Lucas Tolimán | 1950 | 402 | 2400 | 1120 |
| Frente a Santiago Atitlán | 1850 | 64 | 2600 | 816 |
| Frente a San Pedro la Laguna | 349 | 8 | 277 | 13 |
| Frente a San Juan la Laguna | 68 | 2 | 52 | 4 |
| Frente a San Pablo la Laguna | 225 | 28 | 210 | 14 |
| Frente a San Marcos la Laguna | 58 | 1 | 41 | 2 |
| Frente a Tzununá (Aldea) | 19 | 1 | 33 | 1 |
| Frente a Santa Cruz la Laguna | 512 | 38 | 676 | 45 |
| Centro del lago | 61 | 0 | 78 | 0 |

*Todas las muestras fueron tomadas dentro del lago a 15 metros de la orilla y a 5 metros de profundidad.



Aguas residuales industriales (Agroindustriales):

Dentro de la cuenca del lago de Atitlán se producen aguas residuales relacionadas principalmente a las industrias del café, granjas, rastros, centros de acopio agrícolas y tintorerías de hilos y telas, sin embargo, por la magnitud de su impacto perjudicial, se considera que la contaminación más importante se produce por las aguas mieles que los beneficios de café desechan directamente al lago consecuencia de la transformación del café cereza a café pergamino.

Se estima que la caficultura dentro de la cuenca mueve la economía de al menos 7 municipios; ubicándose una gran proporción del área cafetalera a orillas del lago de Atitlán y en zonas de alta pendiente cercanas al lago, mucho de este café es beneficiado dentro de la misma cuenca, en beneficios que también se ubican cerca del lago y que tienen un impacto directo sobre el recurso al dirigir hacia el mismo, el caudal de aguas mieles desechadas en el proceso de beneficiado del café.

Para efectos de medir el poder contaminante de las aguas mieles del beneficiado del café se considera que el parámetro más importante para medirla es la DQO (Demanda Química de Oxígeno) ya que mediante este proceso se logra oxidar toda la materia orgánica presente en este tipo de fluido, mientras que el paráme-

tro de la DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno), para las aguas mieles de café tiene la desventaja de no poder oxidar toda la materia orgánica presente en la muestra, alcanzando oxidar hasta un 60% de esa materia orgánica en los cinco días que dura el análisis, brindando una información poco fiable al respecto; sin embargo, ambos parámetros pueden emplearse como unidades homogéneas cuando se necesitan comparar entre sí para otros contaminantes, ya que ambos indican la cantidad de oxígeno que es consumido del agua para oxidación de la materia orgánica (Carbono) aunque hay que tomar en cuenta que la DBO₅ siempre será significativamente menor a la DQO (Watts y Halliwell, 1996).

Mendoza (2005)⁵, indica que en el beneficiado húmedo del café se generan 95 g DQO/Kg de café cereza procesado, mientras que Medina (2005)⁶, señala que se producen 100 g DQO/Kg de café cereza beneficiado; ambos coinciden en que en Guatemala se necesitan cuatro litros de agua para poder beneficiar, convencionalmente, un kilogramo de café cereza (Beneficio húmedo); por lo tanto, en promedio en Guatemala se produce durante el beneficiado húmedo del café una contaminación equivalente a 97.5 g DQO/4 litros de agua/Kg de café procesado (24.4 g DQO/L); sin embargo, ANACAFE (1998) indica que los efluentes del beneficio húmedo del café llevan una carga contaminante de 26.4 g DQO/L.

Existen 16 beneficios de café que todos los años desechan sus aguas mieles sin tratamiento directamente al lago, estos beneficios húmedos procesan durante la época de cosecha y beneficiado 5,700 quintales de café pergamino (28,500 quintales de café cereza ó 1,295,454.58 Kg de café cereza), el periodo de beneficiado dura en promedio 120 días (noviembre a febrero, algunos beneficios trabajan hasta las primeras semanas de marzo), y operan 8 horas diarias; se estima que bajo este patrón de operación se consumen al día, en el proceso, un promedio de 43,181.82 L de agua (1.499 L/s), que se extrae en la mayoría de los casos del mismo lago. En esos 120 días, el lago recibe una contaminación orgánica de 136,800.00 Kg DQO (16.25 g DQO/L), lo que significa que para poder oxidar la materia orgánica contenida en las aguas mieles vertidas al lago, se extraen de las aguas del lago 136,800.00 Kg de O₂ (1,140 Kg de O₂/día), provocando un impacto ecológico fuerte (Cuadro 8).

-
5. MENDOZA, J. 2005. Comunicación personal. Ingeniero Agrónomo. 15 años de experiencia en el beneficio de café y cardamomo. Senahú, Alta Verapaz, Guatemala.
 6. MEDINA, H.R. 2005. Comunicación personal. Ingeniero Agrónomo. 25 años de experiencia en el beneficiado de café. Finca Sepur, Alta Verapaz, Guatemala.

Cuadro 8. Beneficios que descargan sus aguas al lago de Atilán y la DQO generada.

| Municipio | Número de beneficios* | Total de café cereza beneficiado (Kg)* | Total de agua empleada en el beneficiado (L) | Total de DQO producidos en el beneficiado (Kg) | DQO g/L |
|----------------------|-----------------------|--|--|--|---------|
| San Marcos la Laguna | 1 | 181,818.20 | 727,272.80 | 19,200.00 | 26.4 |
| San Pablo la Laguna | 1 | 45,454.55 | 181,818.20 | 4,800.00 | 26.4 |
| San Juan la Laguna | 2 | 113,636.36 | 454,545.44 | 12,000.00 | 26.4 |
| San Pedro la Laguna | 7 | 465,909.10 | 1,863,636.40 | 49,200.00 | 26.4 |
| Santiago Atilán | 3 | 261,363.64 | 1,045,454.56 | 27,600.00 | 26.4 |
| San Lucas Tolimán | 2 | 227,272.73 | 909,090.92 | 24,000.00 | 26.4 |
| Totales | 16 | 1,295,454.58 | 5,181,818.32 | 136,800.00 | |

* Datos proporcionados por la coordinadora departamental del MAGA de Sololá y por ANACAFE.

De acuerdo a las características de utilización del agua de la población de la cuenca, así como de los hábitos higiénicos que posee, Mendoça (2005)⁷, estima que cada persona dentro de la cuenca produce una contaminación orgánica biodegradable equivalente a 56 g DBO₅/día (excretas y descarga de aguas residuales), así por ejemplo, si la contaminación orgánica que descargan al lago los beneficios que operan en sus orillas consume 1,140 Kg de O₂/día, esta equivale a la contaminación orgánica producida por 20,357 personas aproximadamente en un día, mientras que la contaminación que generan estos beneficios, durante los 120 días que dura la etapa de beneficiado, es de 136,800 Kg DQO, equivalentes a la contaminación de 2,442,840 personas, casi catorce veces más la población actual de la cuenca del lago de Atilán y un 19 % aproximadamente de la población total de Guatemala.

Savigne (2000), hace énfasis en que las aguas residuales producto del beneficiado húmedo del café son una fuente importante de contaminación de los recursos hídricos, por lo que deben de recibir un tratamiento básico antes de descargarse a cualquier cuerpo de agua, para reducir la magnitud de los impactos negativos sobre el cuerpo receptor, debiendo cumplir con los siguientes parámetros de calidad mínima al momento de la salida del tratamiento: DBO₅ d⁻¹ 1000 mg/L, DQO

7. MENDOÇA, S.R. 2005. Comunicación personal. Asesor Regional en Sistemas de Aguas Residuales, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS / OPS. 24 años de experiencia en trabajos a nivel de Latinoamérica. Los Pinos 259, Urb. Camacho, Lima 12, Perú.

d^m 1000 mg/L, pH 5 a 9, Sólidos suspendidos totales = 0 mg/L, Sólidos sedimentables d^m 1 ml/L/h, Materia flotante = Ausente.

En la actualidad ninguna de las aguas mieles desechadas por los beneficios de café que operan a orillas del lago de Atitlán y que son descargadas directamente al mismo, recibe un tratamiento previo para reducir su impacto negativo sobre el lago, no cumpliendo con los parámetros mínimos de calidad requerida, llegando-se al extremo en algunos casos de desechar junto a esta agua, la pulpa del café beneficiado, lo que aumenta considerablemente la carga orgánica contaminante.

De acuerdo a Preston (2005)⁸, los impactos negativos que tienen las aguas mieles que los beneficios de café descargan sobre las aguas del lago son los siguientes:

- a) Aumento de la DBO₅ de las aguas del lago a más de 2500 mg/L.
- b) Aumento de la DQO de las aguas del lago a más de 2500 mg/L.
- c) Disminución del oxígeno disuelto en las aguas del lago (algunas veces produciendo anoxia total)
- d) Disminución considerable del pH del agua del lago.
- e) Aumento de los sólidos en suspensión
- f) Destrucción de los nichos ecológicos acuáticos (peces, crustáceos y aves)
- g) Imposibilita el uso del agua del lago por los humanos (consumo y recreación)
- h) Sirven de medio para el crecimiento de bacterias y hongos, nocivos para la salud del hombre y de la fauna acuática.

ANACAFE (1998), indica que el efecto perjudicial para el cuerpo de agua receptor de las aguas mieles, consiste en que los requerimientos de oxígeno, por las bacterias, son mayores que la cantidad natural de disolución de oxígeno nuevo en el agua, debido a que al agotarse el oxígeno disuelto, la demanda de éste será satisfecha por los nitratos (NO₃⁻) y los sulfatos (SO₄⁻²) presentes, dando como resultado la formación de compuestos como el bisulfuro de hidrógeno y el amoniaco, responsables del mal olor de las aguas contaminadas con aguas mieles; también señala que se modifica drásticamente el pH natural del agua reduciéndolo a 4.5 o menos, a causa del aporte de ácidos orgánicos del tipo acético, propiónico y butírico, y que se incrementa la turbidez del agua como consecuencia de los polifenoles y de la gran cantidad de sólidos suspendidos aportados.

Aguas residuales producto del lavado de ropa en las aguas del lago:

Las actividades cotidianas de los seres humanos dentro de la cuenca del lago de Atitlán afectan a los ecosistemas lacustres y terrestres y diversos eslabones de las cadenas tróficas. Cuando se utiliza un detergente común para lavar la ropa en cualquier

8. PRESTON, N. 2005. Comunicación personal. Limnólogo y Biólogo marino, Ph.D. Madison Wisconsin University, Madison, Wisconsin, USA.

parte de la cuenca, se contribuye, aunque sea a escala modesta, a la contaminación de las aguas de los ríos y el lago, favoreciendo la eutroficación. Sin embargo, el efecto más directo y perjudicial es cuando se lava directamente en las aguas del lago.

La contaminación que efectúan las personas que lavan ropa en el lago de Atitlán no sólo se limita a depositar detergentes en sus aguas, sino también a depositar jabón y cloro; y, aunque el efecto más negativo lo tienen los detergentes, los jabones y el cloro también contribuyen al proceso de degradación de la calidad de las aguas y de los ecosistemas acuáticos que dependen de ellas. El 8.6% de las señoras que lavan en el lago usan sólo jabón para lavar, 25.7% usan jabón y detergente y 65.7% usan jabón, detergente y cloro, en promedio una señora usa 3.43 bolsas de jabón/semana (343.25 g/bolsa), 2.28 bolsas de detergente/semana y 1.88 bolsas de cloro/semana (210 ml/bolsa).

Hasta hace 5 años se estimaba que lavaban en el lago 336 señoras, mientras que hoy en día la población se estima en 373 el número de señoras, identificándose una tasa anual de crecimiento de la población de lavanderas de 2.11%, normalmente ellas lavan en el lago 3.5 días/semana en promedio, divididas en dos turnos al día.

Se considera que el factor que más incide en que se incremente el número de lavanderas al año es del acceso gratuito al recurso lago, además factores como el crecimiento poblacional, la falta de pilas y tanques públicos influyen también en el incremento; mientras que la creación de infraestructura pública para el lavado de ropa, ha mermado en algunas ocasiones este aumento, haciendo que se retiren señoras de esta práctica y reduciendo las enfermedades que obtienen al lavar en el lago; sin embargo, el balance neto es positivo al incremento de población, ya que la tasa anual de incremento de lavanderas es de 2.11% comparado con los 3.18%⁹ que se tiene de tasa demográfica anual en la cuenca del lago de Atitlán.

Dickson (1999), señala que la contaminación por detergentes sintéticos se debe a que son sustancias en las que se utilizan fosfatos y enzimas para su producción, los primeros son materiales inorgánicos que son alimento para plantas e invertebrados, y los segundos, compuestos orgánicos que catalizan los procesos metabólicos. El mismo autor señala también que la mayoría de éstos contienen Tripolifosfato de sodio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), empleado para fijar los iones de calcio y magnesio de las aguas duras y favorecer la propia capacidad de emulsión del detergente, indicando que para Latinoamérica la composición química de los detergentes comunes de lavandería tiene en promedio 20% de este compuesto y sólo un 18% de ingredientes con acción detergente. En el proceso de lavado de ropa que se hace en las aguas del lago de Atitlán, todas las marcas de detergente empleadas tienen como fuente de fosfatos el Tripolifosfato de Sodio, convirtién-

9. Fuente: Sede departamental del Instituto Nacional de Estadística (INE), 2007.

dose la deposición de detergentes en una fuente importante de fosfatos para el lago.

Con respecto a los fosfatos, uno de los principales problemas que causa el uso de detergentes, es que los de tipo comercial deben contener ciertos aditivos que se pueden convertir en graves contaminantes del agua, entre los principales aditivos están pequeñas cantidades de perfumes, blanqueadores, abrillantadores ópticos, estos últimos son tinturas que le dan a la ropa un aspecto de limpieza; y, los agentes espumantes.

Actualmente el lago de Atitlán recibe, producto del lavado de ropa en sus aguas, 11,294.14 Kg de detergente/año, lo que deposita en las mismas 2,258.83 Kg/año de Tripolifosfato de Sodio ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) y 2,032.94 Kg/año de ingredientes con acción detergente. El Ion Ortofosfato (PO_4^{-3}) es la forma más común de expresar las concentraciones de Fósforo tanto en análisis de suelos como de agua, y la forma más común de analizar las concentraciones contaminantes de Fósforo en cuerpos de agua; una molécula de Tripolifosfato de Sodio equivale a 0.775 moléculas de Ion Ortofosfato; determinándose entonces que el lago de Atitlán recibe, como consecuencia del lavado de ropa con detergentes en sus aguas, 1,749.50 Kg/año de PO_4^{-3} .

Considerando el área del espejo de agua del lago de Atitlán (130 Km^2), el aporte que recibe el lago de 1,749.50 Kg/año de PO_4^{-3} es equivalente a 0.0134 g (PO_4^{-3})/ m^2 .año.

El jabón también es un problema contaminante debido a tener la particularidad de liberar al agua, como agente limpiador, altas cantidades del ión orgánico carboxilato y glicerol, aumentando considerablemente la DBO y DQO de las aguas del lago (Hart *et al.*, 1995). Aunque el problema básico no lo constituye el aporte de nutrientes como los fosfatos, si presenta el problema de producir anoxia en las aguas del lago, producto de la oxidación biológica o química de sus componentes. Las aguas del lago de Atitlán se clasifican como duras (178.56 mg/L de CaCO_3), teniendo la característica de neutralizar, en parte, el efecto limpiador del jabón, debido a la formación de sales entre los iones de carboxilato y los del calcio y el magnesio, sin embargo, éstas presentan la desventaja de formar natas que sirven de sustrato para el crecimiento de algas, hongos y bacterias que pueden causar problemas a la salud humana. El 100% de las personas que usan el lago para lavar su ropa emplean jabón, depositando en el lago 22,898.57 Kg/año de jabón.

El lago de Atitlán recibe al año 5,030.21L de solución blanqueadora producto del lavado de ropa en sus aguas, aproximadamente 13 de cada 20 señoras la usan, aportando 266.60 Kg/año de Hipoclorito de Sodio. El cloro no es un nutriente importante en el proceso de eutricación de los lagos, sin embargo, es un contaminante muy persistente en el ambiente que se acumula en la cadena trófica (magnificación ecológica), pudiendo provocar intoxicaciones crónicas a animales y humanos, además puede causar problemas serios a nivel de piel en la gente que está mucho tiempo en contacto con el producto, teniendo mayor riesgo de padecerlas

la misma gente que lava en el lago o algún bañista que emplee esas aguas para su distracción. La WHO (2004), recomienda que las concentraciones de cloro máximas aceptables en el agua potable no sobrepasen los 5 mg/L, además señala que el cloro en aguas turbias puede dar origen a la formación de Trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales. Se necesita un estudio más profundo para identificar los efectos que tiene el Hipoclorito de Sodio sobre las aguas del lago, nichos ecológicos, ecosistema en general y en la salud humana.

Según Preston (2005)¹⁰, el lavado de ropa en las aguas del lago tiene los siguientes impactos negativos:

- a) Incremento de la turbidez del agua del lago
- b) Incremento de la DBO₅ y DQO en las aguas del lago
- c) Incremento en el aporte de nutrientes principalmente Fosfatos (Eutroficación)
- d) Incremento en la población de algas (Eutroficación)
- e) Reducción del oxígeno disuelto en las aguas del lago
- f) Aparecimiento de natas en la superficie del agua del lago
- g) Destrucción de nichos ecológicos
- h) Imposibilidad de usar el agua por los humanos
- i) Aparecimiento de enfermedades en los usuarios del lago

Enfermedades en señoras que lavan en el lago:

Seis de cada 10 señoras han padecido y/o padecen enfermedades debido al hecho de lavar ropa en el lago, presentado en su mayoría enfermedades dérmicas (manchas y ronchas en la piel), así como en algunos casos diarreas, tos, catarro y alergias. Según Preston (2005) y Mogollón (2005)¹¹, las aguas con altas cantidades de jabón y detergentes son medio ideal para el crecimiento de hongos, bacterias y protozoarios que pueden causar infecciones serias a nivel de piel y a nivel entérico, también pueden asociarse algunas reacciones alérgicas a tipos específicos de algas (principalmente cianobacterias) que liberan compuestos químicos irritantes y a veces tóxicos o también a algunos aditivos del mismo jabón, detergente y cloro.

Muchos de los problemas a nivel respiratorio pueden ser asociados a patógenos oportunistas que se reproducen en aguas sucias y natas de jabón como *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas*, y especies de *Mycobacterium*, que provocan infecciones a nivel de piel y de membranas y mucosas de los ojos, oídos, nariz y garganta, pudiendo en casos graves causar neumonías severas que conduzcan a la muerte (WHO, 2003). Algunas especies de algas verde-azules también son

10. PRESTON, N. 2005. Comunicación personal. Limnólogo y Biólogo marino, Ph.D. Madison Wisconsin University, Madison, Wisconsin, USA.

asociadas a problemas de irritación en ojos y vías respiratorias.

Algas en las zonas de lavado de ropa:

El 100% de las señoras que lavan en las aguas del lago señalan que ha habido un incremento significativo en la cantidad de algas que viven en las aguas del lago, considerándolas un problema por obstaculizar la labor de lavado de ropa y en algunos casos por tener efectos irritantes, su principal preocupación se centra en el apareamiento de natas verdes y/o marrones sobre la superficie del lago, a las que asocian con los problemas dérmicos, para Preston (2005) este tipo de problemas se asocian directamente a algunas especies de cianobacterias.

Cuando una gran cantidad de fosfatos se deposita en un lago, consecuencia del uso de detergentes, las algas se reproducen a una tasa mayor de lo acostumbrado y consumen todo el oxígeno disponible, creando un proceso de eutroficación; produciendo a su vez un desbalance en el equilibrio ambiental del lago que provoca la muerte de otros seres vivos, como los peces; el agua se pone verdosa y se caracteriza por su mal olor (ILEC, 2004).

En campo se verificó que todas las áreas del lago sometidas a los efectos de la contaminación generada por el lavado de ropa presentan una sobre población de algas, siendo las áreas más afectadas las de las bahías de San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán, encontrándose en estos sitios grandes extensiones del espejo de agua del lago cubiertas por una nata de color verde/marrón (cianobacterias), indicador de un proceso fuerte y acelerado de degradación de las aguas del lago. El ILEC (2004), indica que los ingresos excesivos de nutrientes pueden estimular el crecimiento de algas filamentosas y el crecimiento de especies tóxicas de algas verde-azules (cianobacterias) que afectan tanto la salud de los animales de cría como la salud de los humanos; también pueden interferir con los usos de agua para los humanos al ocasionar problemas de sabor y olor en el agua potable, y además ser fuente de precursores de trihalometanos, compuestos químicos identificados como del tipo cancerígeno. Estas natas verdes y/o marrones, malezas flotantes y aguas verdes normalmente están compuestas por algas filamentosas de los géneros *Spirogyra*, *Cladophora* y *Pithophora* y algas verde-azules (cianobacterias) del tipo oscilatorias-filamentosas, donde los géneros más comunes son *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Anabaena* y *Nostoc*, siendo la primera productora de neurotoxinas (Anatoxinas) y hepatoxinas (Microsistinas) y la segunda productora de las toxinas (debromoaplysiatoxina, aplysiatoxina y lyngbyatoxina) todas causantes de dermatitis; también pueden encontrarse algunos otros géneros de algas verde-azuladas (cianobacterias) no filamentosas como *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Plankthotrix* y *Aphanizomenon*, todas productoras de toxinas causantes de problemas serios para la salud humana. Lo cual explica por qué muchas de las señoras que lavan ropa en el lago y que tienen un contacto frecuente con

aguas con altas poblaciones de estas algas, hayan tenido o tengan problemas de salud principalmente del tipo dérmico y respiratorio (WHO, 2003).

CONCLUSIONES

- El quince por ciento de la población en la cuenca del Lago de Atitlán no tienen drenaje ni letrina. Un cincuenta y nueve por ciento, tienen letrina y no tienen drenaje. Un quince por ciento tienen drenaje y el once por ciento tienen fosa séptica.
- El sesenta y seis por ciento de las aguas residuales están a flor de tierra, un veinticuatro por ciento son servidas en drenaje y el diez por ciento se sirven en fosas sépticas.
- Diez de los quince municipios que se encuentran dentro de la cuenca del lago de Atitlán descargan directamente sus aguas residuales al mismo, ya sea por un sistema de drenaje o por escurrimiento superficial, sin ningún tratamiento previo que mejore la calidad de las mismas.
- Existe una fuerte asociación entre los municipios que descargan sus drenajes directamente al lago, los municipios que extraen agua del lago para consumo humano y los municipios que presentan las mayores tasas de enfermedades diarreicas por año.
- Dentro de la cuenca del lago de Atitlán se producen aguas residuales relacionadas principalmente a las industrias del café, granjas, rastros, centros de acopio agrícolas y tintorerías de hilos y telas.
- Seis de cada diez señoras que lavan ropa directamente en el lago, han padecido y/o padecen enfermedades relacionadas, presentado en su mayoría enfermedades dérmicas (manchas y ronchas en la piel), así como en algunos casos diarreas, tos, catarro y alergias.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual de caficultura. 3 ed. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 318 p.
2. Dickson, T. 1999. Química; enfoque ecológico. México, Limusa. 435 p.
3. EPA (Environmental Protection Agency, US). 1998. Bacterial water quality standards for recreational waters. Office of Water. Washington DC, US, US Government Printing Office. 50 p.
4. _____. 1999. Nutrient criteria technical guidance manual: lakes and reservoirs. Office of Water. Washington DC, US, US Government Printing Office. 312 p.
5. Hart, H; Crane, I; Hart, J. 1995. Química orgánica. 9 ed. México, Mc Graw Hill. 399 p.
6. ILEC (International Lakes Environment Committee, JP). 2004. Visión global de los Lagos: una llamada a la acción. Trad. MM Bianchi. Ed. D Hoyt Palfrey. Kasatsu, Japón, ILEC press. 42 p.
7. Savigne, D. 2000. Impacto de los residuales del beneficio húmedo del café en la provincia Guantánamo, Cuba. La Habana, Cuba, Asociación Latinoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 46 p.
8. UNEP (United Nations Environment Programme, CH). 2002. Wastewater disposal to water environments. In International source book on environmentally sound technologies for wastewater and stormwater management. Osaka, Japón, United Nations Publications. p. 21-64. (Technical Publication series 15).
9. Watts, S; halliwell, L. 1996. Essential environmental science: methods & techniques. Londres, Gran Bretaña, Routledge. 512 p.
10. WHO (World Health Organization, CH). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Ginebra, Suiza, WHO Press. 253 p.
11. _____. 2004. Guidelines for drinking-water quality. 3 ed. Ginebra, Suiza, WHO Press. 595 p.

Desechos sólidos y el futuro del lago de Atitlán

*Marvín Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*

INTRODUCCIÓN

Mediante una investigación de campo y sobre la base de la información de fuentes secundarias relativas a la población de la cuenca, se estudia el fenómeno de los desechos sólidos en la cuenca del Lago de Atitlán.

Entre otros se analizan los siguientes elementos: Hábitos higiénicos y culturales, infraestructura y equipo, controles municipales, basureros, sistemas de recolección, tarifas de recolección, basureros clandestinos, caracterización de la basura, intensidad y tipo de actividades comerciales o industriales.

En total se producen 55,504.27 toneladas métricas de basura en la cuenca, de las cuales la gran mayoría es desechada en basureros clandestinos. Sólo en la ruta que conduce de Sololá a Panajachel, que es de gran importancia turística, los botaderos clandestinos se incrementaron de 5 en el 2002 a 14 en el 2005.

Los resultados de esta investigación aportan información básica para el diseño de políticas para el abordaje de la situación de los Desechos Sólidos en la Cuenca del Lago de Atitlán.

METODOLOGÍA

Se empleó información generada por el INE en el censo de población del 2002, además se trabajó en el área con el experto internacional en manejo de desechos sólidos Santiago Corado¹, durante un período de tres semanas, en donde se hicieron recorridos por toda la cuenca del lago de Atitlán visitando pueblos, aldeas, caseríos y comunidades en donde el experto iba analizando y evaluando los siguientes aspectos:

- a) Hábitos higiénicos y culturales de la población
- b) Instalaciones y equipos para el manejo de basura
- c) Control ejercido sobre la disposición de basura
- d) Basureros municipales y sistemas de recolección
- e) Valor de la tarifa de recolección y existencia o no de subsidios sociales o políticos
- f) Abundancia o escasez de basureros clandestinos
- g) Presencia o ausencia de basureros manejados técnicamente
- h) Tipo de basura producida
- i) Renta familiar
- j) Disponibilidad de equipos domésticos para depositar y manejar basura
- k) Índices de industrialización

Mediante una investigación de campo y sobre la base de la información de fuentes secundarias relativas a la población de la cuenca, se estudia el fenómeno de los desechos sólidos en la cuenca del Lago de Atitlán.

Entre otros se analizan los siguientes elementos: Hábitos higiénicos y culturales, infraestructura y equipo, controles municipales, basureros, sistemas de recolección, tarifas de recolección, basureros clandestinos, caracterización de la basura, intensidad y tipo de actividades comerciales o industriales.

1. Santiago Corado. Ingeniero Ambiental, M.Sc., Especialistas en Manejo de Desechos Sólidos, BURTEC, Waste Industries, Inc., California, Estados Unidos. 16 años de experiencia en trabajos en Latinoamérica.

En total se producen 55,504.27 toneladas métricas de basura en la cuenca, de las cuales la gran mayoría es desechada en basureros clandestinos. Sólo en la ruta que conduce de Sololá a Panajachel, que es de gran importancia turística, los botaderos clandestinos se incrementaron de 5 en el 2002 a 14 en el 2005.

Los resultados de esta investigación aportan información básica para el diseño de políticas para el abordaje de la situación de los Desechos Sólidos en la Cuenca del Lago de Atitlán.) Intensidad y tipo de actividad comercial.

La generación de cuadros se realizó en trabajo de gabinete con la información generada por el experto y por la información levantada a través un micromuestreo en viviendas dentro de la cuenca del lago de Atitlán, posteriormente se hicieron recorridos de campo para la verificación y ajuste de datos y cuadros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN. PRODUCCIÓN DE BASURA:

Casi en su totalidad el problema de la basura dentro de la cuenca del lago de Atitlán es causado por la labor doméstica, la mayoría de basura del tipo agrícola es incorporada al suelo antes del inicio de un nuevo ciclo productivo a excepción de la que se deja en los lugares de mercado y de algunos empaques de agroquímicos que no reciben un manejo adecuado.

La basura del tipo industrial dentro de la cuenca no es significativa ya que los índices de industrialización son bastante bajos. Sin embargo, es de hacer notar que dentro de la basura doméstica pueden encontrarse elementos no biodegradables y contaminantes (plásticos, latas, baterías, vidrios, cauchos, etc.) consecuencia del ingreso a la cuenca de productos que tienen estas características ya sea porque el producto como tal está manufacturado con ellos o porque alguno de los envoltorios que contiene sean de este tipo. Importante es que dentro de la misma basura doméstica, irresponsablemente, se desechen basura del tipo hospitalario, conteniendo materiales biocontaminantes de alta peligrosidad para la salud humana.

Dentro de la cuenca del lago de Atitlán, independientemente que se esté en el área urbana o rural, se producen en promedio 1.94 Lbs de basura/persona/día, de las cuales el 78.92% es orgánica y el 21.08% inorgánica. El 51.54 % de la basura se produce en el área urbana y el 48.46 en el área rural, salvo en algunos casos específicos como en los municipios de Sololá, Santa Cruz la Laguna, San José Chacayá y Santa Lucía Utatlán, se produce más basura en el área rural que en la urbana, debido a que existe una gran cantidad de población viviendo en el área rural. Pareciera que el volumen máximo es producido en el área urbana porque concentra un gran número de personas, sin embargo, el área rural de estos municipios es la que más desechos sólidos produce, siendo la dispersión de las comunidades lo que hace que no se note el problema (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de basura en la cuenca del lago de Atitlán.

| Municipio | Basura producida en el área urbana Kg/día | Basura producida en el área rural Kg/día | Total de basura producida Kg/día | Total de basura producida por mes (Toneladas métricas) | Total de basura producida por año (Toneladas métricas) |
|-----------------------|---|--|----------------------------------|--|--|
| Sololá | 9,336.90 | 42,336.16 | 51,673.06 | 1,550.19 | 18,602.30 |
| Panajachel | 9,521.03 | 842.60 | 10,363.64 | 310.91 | 3,730.91 |
| Santa Catarina Palopó | 2,273.78 | 395.20 | 2,668.98 | 80.07 | 960.83 |
| San Antonio Palopó | 3,149.84 | 1,980.68 | 5,130.49 | 153.91 | 1,846.97 |
| San Lucas Totmitán | 8,062.84 | 603.99 | 8,666.83 | 260.00 | 3,120.06 |
| Santiago Atitlán | 19,605.09 | 8,059.05 | 27,664.14 | 829.92 | 9,959.09 |
| San Pedro la Laguna | 8,401.35 | 0.00 | 8,401.35 | 252.04 | 3,024.49 |
| San Juan la Laguna | 3,941.74 | 54.83 | 3,996.57 | 119.90 | 1,438.76 |
| San Pablo la Laguna | 5,388.10 | 0.00 | 5,388.10 | 161.64 | 1,930.72 |
| San Marcos la Laguna | 2,061.08 | 0.00 | 2,061.08 | 61.83 | 741.99 |
| Santa Cruz la Laguna | 1,204.31 | 2,704.91 | 3,909.22 | 117.28 | 1,407.32 |
| Concepción | 2,605.78 | 1,423.29 | 4,029.07 | 120.87 | 1,450.46 |
| San José Chacuyá | 813.64 | 1,661.90 | 2,277.54 | 68.33 | 819.92 |
| Santa Lucía Ucatlán | 1,103.87 | 14,133.18 | 15,237.06 | 457.11 | 5,485.34 |
| San Andrés Semetabaj | 2,193.60 | 515.82 | 2,711.42 | 81.34 | 976.11 |
| TOTALES | 79,466.91 | 74,711.63 | 154,178.53 | 4,625.36 | 55,504.27 |

No importa si la disposición final de los desechos sólidos la hace la municipalidad o particulares, ya que la gran mayoría de la basura producida dentro de la cuenca del lago de Atitlán es tirada a cañadas o barrancos de la misma cuenca, cuyas pendientes la conducen a cursos de agua permanentes o intermitentes que al final desembocan en el lago (Cuadro 2).

Cuadro 2. Destino final de la basura producida en la cuenca del lago de Atitlán.

| Destino final de los desechos sólidos | % en poblados con basurero municipal | % en poblados sin basurero municipal |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Enterrados | 2.00 | 3.00 |
| Quemados | 5.00 | 10.00 |
| Tirados en basurero clandestino | 45.00 | 87.00 |
| Tirados en basurero municipal | 48.00 | 0.00 |
| Total | 100.00 | 100.00 |

Es evidente la falta de infraestructura sanitaria básica para el manejo de desechos sólidos dentro de la cuenca. Únicamente las cabeceras municipales de Santiago Atitlán y San Juan la Laguna cuentan con botaderos de basura, donde se aprecia la intervención de la ingeniería, aunque ninguno de ambos cuenta con impermeabilización y control de lixiviados, al menos son botaderos controlados, sin embargo sólo el primero se encuentra en uso.

Las únicas cabeceras municipales que cuentan con sistemas de recolección y transporte de basura (Tren de aseo) son: Sololá y Panajachel (Sistema municipal); y, San Juan la Laguna, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán (Sistema Privado), siendo las primeras dos mencionadas las únicas que cuentan con equipo mínimo para esta labor. Se estima que, en general, tienen una capacidad máxima para recolectar el 50% de la basura que se produce en estos centros poblados.

A excepción de los desechos recolectados en Santiago Atitlán, que cuenta con un botadero controlado, las demás municipalidades depositan sus desechos en botaderos a cielo abierto no controlados, sin ningún diseño de ingeniería, todos ubicados en barrancos cuyas fuertes pendientes llegan al lago, dificultando el posterior manejo de la basura, si se quisiera hacer, y poniendo en peligro la vida de quienes usan estos botaderos.

El experto Corado, señala que los principales problemas que se asocian a los desechos sólidos dentro de la cuenca del lago de Atitlán son:

- a) Medio de reproducción de vectores de patógenos
- b) Medio de reproducción y propagación de patógenos
- c) Incremento en las poblaciones de ratas
- d) Incremento en las poblaciones de moscas y cucarachas
- e) Atracción de perros y gatos
- f) Producción de gas metano
- g) Producción de olores fétidos
- h) Generación de lixiviados que afectan aguas subterráneas y superficiales
- i) Producción de humo que afecta la visibilidad y las vías respiratorias
- j) Liberación de sustancias tóxicas
- k) Reducción de áreas naturales
- l) Obstrucción y reducción de cauces
- m) Aumento de sólidos suspendidos en fuentes de agua
- n) Degradación de paisajes

El experto señala que la población de la cuenca del lago de Atitlán tiene una cultura de vivir en la basura; ha hecho parte de su vida la disposición desordenada e inconsciente de la basura y no dimensiona la magnitud del impacto negativo que tienen los malos hábitos sanitarios que practica, sobre su propia salud y la del ambiente; peculiaridad que hace que el manejo de desechos sólidos sea complejo y difícil, porque aparte de la falta de interés, políticas, estrategias y acciones de las autoridades obligadas a este fin, está la renuencia, inconsciencia e idiosincrasia de la misma población que ha hecho de la basura un elemento común de su vida y paisaje, lo que es confirmado también por Wex (2007).

El riesgo que corre la salud de la gente de la cuenca debido al mal manejo que reciben los desechos sólidos dentro de la misma es bastante alto; y, aunque la importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada, sí se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas enfermedades junto a otros factores principalmente por vías indirectas.

Estudios realizados, en Latinoamérica, por Jaramillo (1997), identifican dos niveles de riesgo para la salud humana:

a) Riesgos directos:

Ocasionados por el contacto directo con la basura, que a veces contiene excrementos humanos y de animales; las personas más expuestas son los recolectores, debido a la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de los desechos, al uso de equipos inapropiados y por carecer de ropa limpia, guantes y zapatos de seguridad. En la misma situación se encuentran los segregadores, cuya actividad de separación y selección de materiales es realizada sin la más mínima protección. Todas estas personas presentan una incidencia más alta de parásitos intestinales que el resto de la población. Además, experimentan tasas más altas de lesiones que los trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos y en los pies, así como también lastimaduras en la espalda, hernias, heridas, enfermedades respiratorias y de piel, entre otras.

b) Riesgos indirectos:

Los riesgos causados por el manejo inadecuado de basuras son principalmente indirectos, y afectan a la población en general, ellos se originan por la proliferación

de vectores de enfermedades tales como moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que encuentran en los residuos sólidos su alimento y las condiciones adecuadas para su reproducción, llegando a transmitir y propagar enfermedades tales como: Fiebre tifoidea, salmonelosis, disentería, diarrea infantil, malaria, fiebre amarilla, dengue, encefalitis vírica, gastroenteritis, infecciones intestinales, lepra, intoxicación alimenticia, peste bubónica, tífus murino, leptospirosis, fiebre de Harverhill, rickettsiosis vesiculosa y rabia (Jaramillo, 1997).

Basura que llega al lago de Atitlán:

El mayor problema que se tiene con los desechos sólidos, dentro de la cuenca, es la disposición de la mayor parte de los mismos en basureros clandestinos, que año con año aumentan en cantidad. La falta de capacidad de pago de una buena parte de la población, la falta de conciencia, y la incapacidad municipal para generar políticas, estrategias y medidas para el buen manejo de los desechos sólidos y la falta de voluntad e interés de las mismas autoridades para encontrar soluciones hacen que el problema se agrave. Sólo en la ruta que conduce de Sololá a Panajachel, que es de gran importancia turística, los botaderos clandestinos se incrementaron de 5 en el 2002 a 14 en el 2005.

Es evidente que el manejo de los desechos sólidos dentro de la cuenca del lago de Atitlán no ha sido prioridad a nivel institucional, a pesar de ser un problema serio de salud y ambiental, lo cual se refleja en la falta de un sistema encargado de ofrecer soluciones, las municipalidades y entidades dentro de la cuenca encargadas del manejo de los recursos naturales y de regular el manejo de basura, aducen falta de recursos financieros y buscan donaciones, a fin de no asumir el costo político de cobrar una tarifa por el servicio de manejo de desechos sólidos.

Según el experto Corado, no existe diferencia funcional entre los botaderos municipales y los clandestinos, ya que ambos se encuentran en lugares inapropiados (fuertes pendientes) dentro de la cuenca y ninguno cuenta con los requisitos mínimos de la ingeniería sanitaria para el manejo de desechos sólidos, en ambos casos los desechos son fácilmente esparcidos y arrastrados por acción de la lluvia y la escorrentía o del viento, y atraen animales: son centro de proliferación de ratas, moscas, cucarachas y otros insectos. Además la lluvia que cae sobre estos botaderos produce lixiviados que contaminan las fuentes de aguas superficiales (Ríos y lago) y subterráneas (manantiales y pozos). Aparte de ser

fuelle de contaminación hidrológica, también son fuente de contaminación atmosférica debido a la producción de gases y malos olores. La única diferencia que existe entre ambos tipos de botaderos es que los municipales concentran la basura en un solo punto haciéndola un foco de contaminación más puntual; sin embargo, los problemas ambientales y de salud para el hombre son los mismos en los dos casos.

El creciente número de basureros, el desorden existente en la disposición de desechos sólidos, el empleo de fuertes pendientes como basureros, la ausencia de un manejo básico de la basura y la deforestación con la consecuente falta de cobertura vegetal que sirva de retenedor para estos desechos, hace que una buena porción de la basura se mueva del lugar donde fue depositada a puntos más bajos dentro de la cuenca como resultado de los efectos del agua y el viento, provocando que la basura alcance los cauces de los ríos (permanentes, intermitentes y efímeros) y el lago. Una parte de la basura arrastrada tiende a obstruir los cauces sirviendo de obstáculo al libre flujo del agua, represándola y aumentando el riesgo de inundaciones aguas abajo y otra parte se mueve junto con la corriente hasta alcanzar las aguas del lago; también hay movimiento de basura directamente de las pendientes al lago, sin necesidad de alcanzar antes una corriente fluvial, sino simplemente por efecto del escurrimiento del agua, la gravedad y el viento.

Un problema serio y que nadie quiere reconocer es el uso del lago como basurero, ya que durante los recorridos se identificaron a muchas personas que viven a orillas del lago tirando directamente a sus aguas basura del tipo doméstico, hospitalaria, agrícola e industrial.

Se estima que el lago de Atitlán recibe 1,928.26 Tm/año de basura equivalente al 3.47% del total de basura que se produce dentro de la cuenca (Cuadro 3), de las cuales, si se mantienen las proporciones, 1,521.78 Tm/año son de basura orgánica y 406.48 Tm/año son de basura inorgánica. Además Corado (2005)², indica que los volúmenes de basura producidos en la cuenca y los que alcanzan a llegar al lago tienden a incrementarse a la misma tasa que se incrementa la población de la cuenca año con año. En la misma dirección, la Environmental Protection Agency

2. CORADO, S. 2005. Comunicación personal. Ingeniero Ambiental M.Sc., Especialista en Manejo de Desechos Sólidos, BURRTEC, Waste Industries, Inc., California, Estados Unidos.

–EPA– (1992) señala que el problema de los desechos sólidos se agrava como consecuencia del acelerado crecimiento poblacional, debido a que los volúmenes producidos de desechos sólidos se incrementan al mismo ritmo del incremento poblacional.

Cuadro 3. Basura que entra al lago de Atitlán.

| Municipio | Basura que alcanza las aguas del lago (Tm/año) |
|-----------------------|---|
| Sololá | 279.03 |
| Panajachel | 186.55 |
| Santa Catarina Palopó | 76.87 |
| San Antonio Palopó | 147.76 |
| San Lucas Tolimán | 124.80 |
| Santiago Atitlán | 497.95 |
| San Pedro la Laguna | 120.98 |
| San Juan la Laguna | 57.55 |
| San Pablo la Laguna | 155.18 |
| San Marcos la Laguna | 59.36 |
| Santa Cruz la Laguna | 112.59 |
| Concepción | 21.76 |
| San José Chacayá | 9.84 |
| Santa Lucía Utatlán | 43.88 |
| San Andrés Semetabaj | 34.16 |
| TOTAL | 1,928.26 |

Toda esta basura que llega a las aguas del lago pone en peligro la salud de los usuarios de este recurso, haciéndolos más vulnerables al padecimiento de enfermedades que son transportadas por las aguas contaminadas, además el impacto negativo no sólo es sobre la salud humana sino también sobre el ecosistema lacustre donde la basura llega a destruir los nichos ecológicos de muchas de las especies que viven en el lago.

De acuerdo a Preston (2005)³, los impactos negativos que tienen los desechos sólidos sobre las aguas del lago son los siguientes:

3. PRESTON, N. 2005. Comunicación personal. Limnólogo y Biólogo marino, Ph.D. Madison Wisconsin University, Madison, Wisconsin, USA.

- i) Aumento de la DBO₅ de las aguas del lago
- j) Aumento de la DQO de las aguas del lago
- k) Disminución del oxígeno disuelto en las aguas del lago (algunas veces produciendo anoxia total)
- l) Aporte de sustancias tóxicas y metales pesados.
- m) Aporte de sólidos no degradables
- n) Aumento de los sólidos en suspensión
- o) Destrucción de los nichos ecológicos acuáticos (peces, crustáceos y aves)
- p) Formación en el lago de un fondo del tipo "Mugroso".
- q) Imposibilita el uso del agua del lago por los humanos (consumo y recreación)
- r) Sirven de medio para el crecimiento de bacterias y hongos, nocivos para la salud del hombre y de la fauna acuática.
- s) Destrucción del paisaje acuático y ecotonos.
- t) Reducción de los valores estéticos del lago.

3.3 Envases de plaguicidas:

La principal actividad económica de la cuenca del lago de Atilán es la producción agrícola, la que aparte de generar beneficios para la mayoría de la población de la misma, también genera desechos que afectan el bienestar de los habitantes y de los recursos naturales principalmente del agua y el lago.

La falta de instrucción de los agricultores de la cuenca sobre el manejo y desecho de los envases de los agroquímicos especialmente de los plaguicidas, el mal hábito de tirar la basura en cualquier lugar, el desconocimiento de los efectos negativos que estos envases tienen sobre la salud, las aguas y el suelo, así como la falta total de control por parte de las empresas que producen, distribuyen y venden plaguicidas, sobre lo que se haga con los envases de sus productos, y la falta de control por parte del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, ha provocado que muchos de éstos sean desechados sin el más mínimo cuidado a pendientes fuertes, barrancos, quebradas, ríos y al mismo lago, contaminando el suelo y fuentes de agua, perjudicando la salud de los pobladores de la cuenca.

La mayoría de los envases de pesticidas son arrastrados de las zonas agrícolas en las partes altas de la cuenca hacia el lago, principalmente por el escurrimiento superficial, entrando al lago por los principales ríos (Quiscap y San Francisco), sin embargo, una buena cantidad también es conducida de pendientes más cercanas hacia el lago por corrientes intermitentes y efímeras en la época de lluvia

y otra es depositada en sus riberas o directamente sobre sus aguas producto de la agricultura a orillas del mismo.

La FAO (2003), señala que los envases de plaguicidas son la fuente de contaminación más común de los recursos hídricos, aportando éstos trazas y contaminantes orgánicos persistentes, perjudiciales para la salud humana y de los ecosistemas, por lo que su correcto manejo y disposición final es imprescindible y necesario, especialmente en los países en vías de desarrollo donde la legislación y la normativa al respecto es débil. El mismo ente manda en su *Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas*, que es obligación de las empresas productoras de plaguicidas, así como de los comerciantes de los mismos, darle la tutela necesaria a los productos comercializados, especialmente en la disposición final de los envases, así como de darle la asesoría técnica necesaria a los productores en el tema específico del manejo de los envases usados. La FAO, enfatiza que los gobiernos tienen la obligación y el compromiso de alentar y apoyar a la industria de agroquímicos para que se haga una correcta disposición de los envases de plaguicidas que ellas producen y de establecer la reglamentación que oriente el trabajo a efecto de garantizar la protección de la biodiversidad y reducir al mínimo los efectos adversos de los plaguicidas en el ambiente (agua, suelo y aire) y sobre organismos no objetivo.

Bayer CropScience (2005), en concordancia con lo establecido por la FAO, indica que la tutela del producto va más allá del punto de venta y del uso del producto, implica acciones que garantizan un manejo adecuado del envase y una correcta disposición final. El destino final de los envases vacíos, y su disposición, es sin duda el aspecto más importante de tutela de un plaguicida, debido a que esto garantiza que los envases ya no sean fuente de contaminación de los recursos naturales, especialmente del agua, y dejen de ser un riesgo para la salud de las personas y la biodiversidad. Un alto índice de enfermedades crónicas se asocia a las trazas de plaguicidas encontradas en el agua, suelo y aire, aportadas por el mal manejo de los envases vacíos.

En el transcurso de un año se llegaron a recoger de las desembocaduras de los ríos Quiscap y San Francisco, 543 y 380 envases de pesticidas respectivamente, encontrándose en éstos, envases de productos extremadamente peligrosos y de productos que pertenecen a la llamada *Docena Sucia* (2,4,5-T, Lindano, Paracuat, Metil Paratión y 2,4 D), y que en muchos países ya han sido prohibidos o

declarados de uso restringido por su alto nivel de persistencia ambiental, por su bioacumulación y por los efectos sobre el desarrollo y la reproducción, así como por causar oncogénesis-carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis, siendo todos de alto riesgo ecotóxico (Cuadros 4 y 5).

Productos como el 2,4,5-T y el Lindano, ambos pertenecientes a la docena sucia y ambos prohibidos para su comercialización y uso en Guatemala en el año de 1988 (PLAGSALUD OPS/OMS⁴, 2001), siguen empleándose actualmente por productores agrícolas dentro de la cuenca del lago de Atitlán, lo que representa un alto riesgo para la salud de las personas que viven en la cuenca y para las que consumen estos productos, además representan un riesgo alto para la flora y la fauna locales, así como para los recursos hídricos principalmente el lago de Atitlán.

El 2,4,5-T actualmente está considerado un plaguicida obsoleto por la World Health Organization⁵ -WHO- (1999) y se estima que todo está contaminado con dioxina, se le asocia con efectos adversos en el ser humano del tipo crónico como: Fetotoxicidad (reducción del tamaño del feto, deformidades en el esqueleto, daños a riñones y órganos internos y la muerte), teratogenicidad (deformaciones y malformaciones en recién nacidos) y tumorigenicidad (especialmente sarcomas en tejidos blandos) debido a que es cancerígeno muy potente; el 2,4,5-T es un producto de baja persistencia en el ambiente, se degrada en 70 días, sin embargo se ha determinado que es absorbido rápidamente por la biota acuática, causando considerables niveles de bioacumulación especialmente en peces y crustáceos.

El Lindano, está asociado a efectos nocivos crónicos como: Anemia aplásica, desordenes hematológicos, hepatomegalia, tumores en hígado, cambios emocionales y alucinaciones, causa malformaciones en anfibios y en la cadena alimentaria referida a los seres humanos tiene lugar bioacumulación, concretamente en peces, el Lindano bioacumulado es excretado principalmente por la leche materna afectando directamente a los niños lactantes (Hayes y Laws, 1991).

4. Proyecto Aspectos Ocupacionales y ambientales de la Exposición a Plaguicidas en el Istmo Centroamericano.

5. Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cuadro 4. Envases de agroquímicos recogidos en la desembocadura del Río Quiscap.

| Ingrediente Activo | Marcas Comerciales encontradas | Número de envases recogidos (Botellas o Bolsas) | Clasificación Toxicológica (WHO, 1999) | Ecotoxicidad | Pertenece a La docena sucia |
|--|---|---|--|---|-----------------------------|
| Ácido 2,4,5 triclorefenoacetico (2,4,5-T) | Triboton | 2 | Extremadamente peligroso o Altamente peligroso | Tóxico para plantas y animales | Si |
| Benomil | Beolate | 10 | Ligeramente peligroso | Tóxico para peces | No |
| cymoxanil + mancozeb | Curzate | 13 | Ligeramente Peligroso | Tóxico para peces. | No |
| Detralmetrina | Desis | 17 | IV | Tóxico para peces y crustáceos. | No |
| Foxim | Volatón | 11 | IV | Tóxico para ganado, peces y abejas. | No |
| Glifosato | Rival, Round Up, Litigo. | 37 | IV | Tóxico para peces y todo tipo de plantas. | No |
| Lindano | Agroceide | 3 | Moderadamente peligroso | Tóxico para aves, abejas y organismos acuáticos | si |
| Malathion | Malathion | 15 | Moderadamente peligroso | Tóxico para ganado, peces y abejas. | No |
| Mancozeb | Mancozeb, Dilbure, Manzate. | 45 | IV | Tóxico para peces | No |
| Metamidofos | Tamaron, MDT, Metafos, Monitor, Metamidofos | 56 | Extremadamente Peligroso | Tóxico para ganado, peces y abejas. | No |
| Metil Paratión | Folidol | 59 | Altamente Peligroso | Tóxico para ganado, peces, crustáceos y abejas. | Si |
| Metamilo | Lamrate | 24 | Altamente Peligroso | Tóxico ganado y peces. | No |
| Multimineral acetato | Bayfolan, Complejal | 27 | IV | Tóxico para abejas en altas dosis. | No |
| Nonilfenol poliglicol éter + isopropanol + ácido fosfórico | Adherente 810, Disaweti, pegamax, surfacil | 35 | IV | Tóxico para peces o crustáceos. | No |
| Oxifluorfen | Goal | 19 | Moderadamente peligroso | Tóxico para plantas de Hoja ancha, gramíneas y para peces. | No |
| Paracuat | Gramaxone, Paracuat, Ráfaga, Paracuat Alemán. | 36 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para todo tipo de plantas, ganado, peces y crustáceos. | Si |
| Profenofos | Curacón | 21 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para Peces y abejas. | No |
| Profenofos + Cypermetrina | Tumbo | 19 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para Peces y abejas. | No |
| Propineb | Antracol | 24 | IV | Tóxico para peces | No |
| Terbufos | Agrofos, Counter | 4 | Extremadamente peligroso | Tóxico para peces, crustáceos y abejas. | No |
| Thiacloprid + BetaCyflutrín | Monarca | 18 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para peces, crustáceos y abejas. | No |
| Sin identificar | Sin identificar | 48 | Sin identificar | Sin identificar | No se sabe |
| | Total | 543 | | | |

Nota: periodo de recolección de junio 2004 a junio 2005.

Cuadro 5. Envases de agroquímicos recogidos en el río San Francisco, Panajachel.

| Ingrediente Activo | Marcas Comerciales encontradas | Número de embases recogidos (Botellas u Bolsas) | Clasificación Toxicológica (WHO, 1999) | Ecotoxicidad | Pertenece a La decena sucia |
|---|---|---|--|---|-----------------------------|
| | Up, Látego | | | todo tipo de plantas. | |
| Lindano | Agrocide | 3 | Moderadamente peligroso | Tóxico para aves, abejas y organismos acuáticos | si |
| Malathion | Malathion | 15 | Moderadamente peligroso | Tóxico para ganado, peces y abejas. | No |
| Mancozeb | Mancozeb, Dithoze, Manzate, | 45 | IV | Tóxico para peces | No |
| Metamidofos | Tamaron, MDT, Metafos, Monitor, Metamidofos | 56 | Extremadamente Peligroso | Tóxico para ganado, peces y abejas. | No |
| Metil Paration | Folidol | 59 | Altamente Peligroso | Tóxico para ganado, peces, crustáceos y abejas. | Si |
| Mezomilo | Lannate | 24 | Altamente Peligroso | Tóxico ganado y peces. | No |
| Multimineral quelatado | Bayolan, Complejal | 27 | IV | Tóxico para abejas en altas dosis. | No |
| Nonilfenol poliglicol éter +isopropanol+ácido fosfórico | Adherente S10, Disawrit, pegamax, surfacid | 35 | IV | Tóxico para peces o crustáceos. | No |
| Oxidfluorfen | Goal | 19 | Moderadamente peligrosa | Tóxico para plantas de Hoja ancha, gramíneas y para peces. | No |
| Paricuat | Gramoxone, Paracuat, Ráfaga, Paracuat Alemán. | 56 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para todo tipo de plantas, ganado, peces y crustáceos. | Si |
| Profenofos | Curacón | 21 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para Peces y abejas. | No |
| Profenofos + Cypermetrina | Tambo | 19 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para Peces y abejas. | No |
| Propiozeb | Antracol | 24 | IV | Tóxico para peces. | No |
| Terbufos | Agrofos, Counter | 4 | Extremadamente peligroso | Tóxico para peces, crustáceos y abejas. | No |
| Thiacloprid + BetaCyflutrin | Monarca | 18 | Moderadamente Peligroso | Tóxico para peces, crustáceos y abejas. | No |
| Sin identificar | Sin identificar | 48 | Sin identificar | Sin identificar | No se sabe |
| | Total | 543 | | | |

Nota: periodo de recolección de junio 2004 a junio 2005.

Los plaguicidas son adversos por la toxicidad que producen en la salud de los seres vivos, la cual se presenta según categorías de exposición, con lo cual se establece el tipo de intoxicación y sus manifestaciones. Estudios recientes en ríos

del área centroamericana, han demostrado que las trazas de plaguicidas contenidas en el agua, debido al mal manejo de los envases y el escurrimiento superficial de las zonas agrícolas, pueden interactuar con el ADN y causar daños los cuales pueden ser registrados como aberraciones cromosómicas del tipo mutagénico, cancerígeno y teratogénico, o pueden bioacumularse y provocar desordenes fisiológicos crónicos que en la mayoría de los casos conducen a la muerte (Harper, 2000). Las actividades de formulación, fabricación, distribución, aplicación y manejo de desechos (aérea, terrestre y sanitaria), son las que generan mayor riesgo sobre la salud humana. Se han demostrado efectos carcinogénicos, mutagénicos, trastornos de la reproducción, teratogénicos; sin embargo, el efecto más devastador es el que causan al sistema nervioso (manifestándose por ejemplo en neuropatías, encefalopatías, perturbaciones visuales, delirios, convulsiones) (Repetto y Sanya, 1995).

Mayorga (2002) en su estudio de ecotoxicidad en las aguas del lago de Atitlán indica que las aguas del lago pertenecen a la clase I según el Sistema de Clasificación de la Contaminación, (Clase I: No hay riesgo agudo) o sea aguas de baja ecotoxicidad, sin embargo, indica claramente que todas las muestras del estudio tiene potencial eutrificante, clasificándolas en las clases III y IV según el Sistema de Clasificación de la Eutricación para Aguas Naturales, Potencial eutrificante sustancial y Potencial eutrificante alto, respectivamente; recomendando mantener especial monitoreo en las desembocaduras de los ríos Quiscap y San Francisco debido a que, en el análisis de laboratorio, fueron las zonas que presentaron los valores más altos de ecotoxicidad y las únicas que presentaron inhibición sobre los organismos del protista (*Tetrahymena thermophila*), posiblemente porque las sustancias tóxicas generadas por actividades humanas (principalmente asociadas a la agricultura) o por eventos naturales, son transportadas por los ríos, lluvias o vientos, y pueden depositarse y acumularse en los sedimentos, tanto de los ríos como del mismo lago. El mismo autor recomienda emplear métodos de análisis ecotoxicológicos más precisos para poder detectar trazas de plaguicidas específicos y poder identificar los efectos reales que éstas tienen sobre los organismos que interactúan con las aguas del lago de Atitlán, principalmente sobre el humano (Mayorga, 2007⁶).


6. MAYORGA, P. 2007. Comunicación personal. Profesor universitario (Universidad del Valle de Guatemala), Investigador Servicios y Productos Ambientales (SEPPA) y Presidente del Comité Técnico de Normalización de Metodologías Ecotoxicológicas, Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones (COGUANOR). Ministerio de Economía de Guatemala, Guatemala.

CONCLUSIONES

El creciente número de basureros, el desorden existente en la disposición de desechos sólidos, el empleo de fuertes pendientes como basureros, la ausencia de un manejo básico de la basura y la deforestación- con la consecuente falta de cobertura vegetal que sirva de retenedor para estos desechos-, hace que una buena porción de la basura se mueva del lugar donde fue depositada a puntos más bajos dentro de la cuenca como resultado de los efectos del agua y el viento, provocando que la basura alcance los cauces de los ríos (permanentes, intermitentes y efímeros) y el lago.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAYER Cropscience. 2005. Implementando la tutela de producto: enfoque al ciclo de vida. Correo (DE) 2:8-13.
2. EPA (Environmental Protection Agency, US). 1992. Sanitary landfill design and operation. Washington, DC, US, US Government Printing Office, 321 p.
3. FAO, IT. 2003. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas (Versión revisada). Roma, Italia, FAO Publications, 35 p.
4. Harper, C. 2000. Pesticide externalities on Central American basins. American Journal of Agricultural Economics (US) 102:392-402.
5. Hayes, WJ; Laws, ED. 1991. Handbook of pesticide toxicology. California, US, American Press Inc. 116 p.
6. Jaramillo, J. 1997. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Washington, DC, US, US Government Printing Office, 246 p.
7. Mayorga, P. 2002. Análisis ecotoxicológico de muestras de agua provenientes de 4 puntos del Lago de Atitlán. Guatemala, SEPR. 5 p.
8. PLAGSALUD OPS/OMS (Proyecto Plagsalud, Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, CR). 2001. Fichas técnicas de plaguicidas a prohibir o restringir, incluidos en el acuerdo No. 9 de la XVI Reunión del sector salud de Centroamérica y República Dominicana (RESSCAD). San José, Costa Rica, Lara Segura & Asoc. 266 p.
9. Repetto, R; Sanya, B. 1995. Los plaguicidas y el sistema inmunitario: riesgos para la salud pública. Washington DC, US, World Resources Institute Publications, 112 p.
10. Wex, A. 2007. A Foreign concern: solid waste management in Panajachel, lake Atitlán, Guatemala. NAPA Bulletin, American Anthropological Association (US) 27:64-80.
11. WHO (World Health Organization, CH). 1999. Recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 1998-1999. Ginebra, Suiza, WHO Press, 233 p.



El área de captación de la cuenca y el lago de Atitlán

*Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo*

INTRODUCCION

El estudio trató de encontrar, para la cuenca del lago de Atitlán, una relación directa entre el proceso de deforestación y el descenso en el nivel freático del acuífero de la cuenca en el corto plazo, mediante el análisis de la relación entre los tiempos del fuerte proceso de deforestación y los tiempos de avance de la asociación edáfica seca (bosque seco) y el de disminución de los caudales

METODOLOGÍA

Se analizaron fotografías aéreas escala 1:40,000 y ortofotos escala 1:20,000 de la cuenca del lago de Atitlán generadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), mapas geológicos de la cuenca escala 1:50,000, mapas fisiográficos de la cuenca a nivel de paisaje generados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) e imágenes satelares, además se trabajó en el área con los expertos internacionales: Nelson Agudelo¹ y Pablo Lagos², durante un período de dos y una semana respectivamente, en donde se hicieron recorridos por toda la cuenca del lago de Atitlán visitando áreas forestales, áreas agrícolas, bosques nubosos y de recarga hídrica, áreas de influencia de neblina y corredores de vientos, en donde los expertos iban analizando y evaluando los siguientes aspectos:

- a) Fisiografía y geomorfología del área
- b) Actividad agrícola y forestal
- c) Usos del bosque
- d) Uso de leña

1. Nelson Agudelo C., Experto Forestal (M.Sc. en manejo de recursos naturales e Ing. Forestal). Profesor Pleno de Ecología, Agroforestería, Biodiversidad y Cadenas Productivas de la EAP (Universidad Zamorano, Honduras). Cuenta con 32 años de experiencia en docencia y en las áreas de cartografía de ecosistemas con base en el Sistema Holdridge; silvicultura y manejo de plantaciones y bosques naturales; restauración de ecosistemas con propósito de biodiversidad, producción y regulación de agua; manejo de áreas silvestres; hidrología forestal y manejo de cuencas hidrográficas.
2. Pablo Lagos E., Ph.D. Experto Meteorólogo con 30 años de experiencia. Director científico del Instituto Geofísico del Perú, Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú); Vocal del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED); Representante del Perú ante el Instituto Inter-Americano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Miembro del Grupo de Planeamiento de la Misión de Exploración del Pacífico y del Programa "Experimento Troposférico Global" (GTE) de la NASA; Miembro del Comité Científico del Programa Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN), Miembro del Comité Científico Peruano para el Cambio Global y Miembro fundador del International Research Institute for Climate Prediction (IRI).

- e) Tipo de bosque
- f) Área de cobertura forestal
- g) Presencia de epifitismo
- h) Estratificación del bosque
- i) Cambios en el uso del suelo
- j) Cambios en la vegetación
- k) Presencia de erosión
- l) Vulnerabilidad
- m) Pendientes, tipo de suelo y profundidad del suelo.
- n) Tasa de crecimiento demográfico
- o) Presión sobre los recursos naturales locales
- p) Presencia o ausencia de manantiales
- q) Variación de caudales
- r) Temperatura media y biotemperatura
- s) Conciencia de protección ambiental e idiosincrasia local
- t) Presencia de trabajo institucional orientado a la protección de los ecosistemas y a la promoción de buenas prácticas agrícolas.

La generación de cuadros se realizó en trabajo de gabinete con la información generada por los expertos y con información levantada a través un micromuestreo (Anexo 1) dentro de la cuenca del lago de Atitlán, posteriormente se hicieron recorridos de campo para la verificación y ajuste de datos y cuadros. Para la determinación de la capacidad de uso del suelo se realizaron 15 calicatas en puntos específicos definidos por el experto Nelson Agudelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aspectos Generales:

Un lago sólo puede ser ecológicamente estable mientras su área de atrapamiento de aguas se mantenga en buenas condiciones ecológicas, siendo el factor determinante la cantidad y la calidad de la cobertura forestal (Barzi, 2003)³. El limnólogo Nicholas Preston⁴ (2005) indica además, que los lagos con un área de captación con una relación

3. BARZI, J.A. 2003. Comunicación personal. Limnólogo Ph.D. Miembro de la Autoridad de la cuenca del río Azul. Lago Puelo, Patagonia Argentina e investigador de la Universidad Católica Argentina. Buenos Aires Argentina.

4. PRESTON, N. 2005. Comunicación personal. Limnólogo y Biólogo marino, Ph.D. Madison Wisconsin University, Madison, Wisconsin, USA.

menor o igual a cinco veces el área de espejo de agua del lago, son altamente vulnerables y dependientes a los cambios que ocurren aguas arriba en la cuenca de atrapamiento de aguas, especialmente cambios generados por la acción humana que impactan directamente sobre la cobertura forestal, los suelos y sobre la calidad y la cantidad del agua de los ríos que desembocan en el lago. La cuenca del lago de Atitlán, tiene un área total de 541 Km² de los cuales 411 Km² son área de captación de aguas y 130 Km² corresponden al espejo de agua del lago, por lo que el lago de Atitlán tiene una relación área de captación:espejo de agua del lago de 3.2 a 1, considerando este valor el lago de Atitlán es un lago altamente vulnerable y susceptible a los cambios en su área de atrapamiento de aguas, desde el punto de vista hidrológico su susceptibilidad se hace mayor debido a que su cuenca es cerrada (endorreica).

Los expertos Agudelo y Lagos coinciden en que la cuenca del lago de Atitlán es un área altamente susceptible a la degradación, debido a la alta presión que existe sobre los recursos naturales locales por parte de los pobladores del área, especialmente sobre el bosque y el suelo; Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2004)⁵, en la cuenca del lago de Atitlán, hasta el año 2004, se estimaba que vivían en ella 175,010 personas, dando como resultado una densidad poblacional de 426 personas/Km². De acuerdo con los expertos citados, esa densidad poblacional es exageradamente alta cuando se consideran las características naturales de productividad de la cuenca; enfatizan también, que el riesgo de destrucción del área de captación de la cuenca se magnifica al considerar que se tiene una tasa anual de crecimiento poblacional de 3.18%, debido a que aprecian que actualmente se ha excedido la capacidad natural de la cuenca para amortiguar el impacto humano, por lo que de no tomar medidas urgentes, pertinentes, oportunas, eficientes e inteligentes que reduzcan los riesgos actuales, el futuro de la cuenca y especialmente el del lago de Atitlán será catastrófico en pocas décadas.

En ese sentido Godoy (1992), indica claramente que el rápido crecimiento poblacional puede empujar a una región a sus límites económicos y naturales (Capacidad de Carga Demográfica), sobre la base de la habilidad para apoyar la vida sin sufrir los recursos una degradación severa; sin embargo, cuando se sobre pasa esta capacidad de carga demográfica, como es común en los países subdesarrollados, aparecen consecuencias ambientales y sociales como la deforestación inmo-

5. Dato generado específicamente para este estudio por la sede departamental del INE en Sololá.

derada, la erosión severa de los suelos, la pérdida de la cantidad y calidad del agua, la mal nutrición, la pérdida de la salud, entre otras. Sustentando así las preocupaciones de los expertos sobre la carga demográfica de la cuenca del lago de Atitlán y sus consecuencias ambientales.

Expertos en demografía, calculan que en el mundo la densidad poblacional máxima atendible en términos de recursos naturales disponibles es de 45 personas/Km² (Garza y Cano, 1997), lo que respalda y confirma las apreciaciones y preocupaciones de los expertos Agudelo y Lagos para la cuenca del lago de Atitlán, que actualmente presenta una densidad poblacional con una magnitud de casi diez veces la densidad máxima calculada. Los autores Garza y Cano (1997), también indican que la sostenibilidad debe medirse en función del espacio disponible, considerando sus características básicas de productividad ecológica y económica, condicionadas únicamente por la disponibilidad de agua en cantidad y calidad.

Para Godoy (1992), cuando se habla de población y su impacto en el medio ambiente, es imprescindible hacerlo desde la perspectiva de la calidad de vida y de los aspectos socioeconómicos que la caracterizan, para evaluar en su más justa dimensión esta relación. Para muchos especialistas la causa del deterioro ambiental no sólo radica en la existencia de más gente, sino en la existencia de más gente pobre, debido a que la pobreza es un factor endémico de las sociedades subdesarrolladas del mundo altamente correlacionada con la degradación ambiental. En ese sentido es válido ver la relación de la población con la cuenca del lago de Atitlán dentro de su contexto de pobreza; para el PNUD (2008)⁶, el 70.31% de la población de la cuenca vive en la pobreza, y el 31.95% de esa misma población vive en pobreza extrema, estos altos índices de pobreza representan también una alta presión de uso sobre los recursos naturales de la cuenca y por ende una fuerte degradación ambiental.

Para la World Commission on Environment and Development (WCED, 1987), la pobreza existente en los países subdesarrollados, la falta de interés y compromiso gubernamental y los altos índices de corrupción presentes en estas naciones, son la causa principal de la insostenibilidad del desarrollo y la crisis ambiental que se sufre en estas latitudes.

6. Dato generado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Guatemala (PNUD Guatemala), para la cuenca del lago de Atitlán año 2008.

La Comisión Económica para América Latina –CEPAL– (2005), después de hacer un análisis de los efectos provocados por las lluvias torrenciales causadas por la tormenta Stan en Guatemala, indica enfáticamente que la alta densidad de la población y la ausencia de conciencia ambiental, en un futuro próximo conducirán a una inexorable y extensa ocupación territorial no discriminada, con toda su infraestructura y actividades humanas, que sin duda aumentarán la vulnerabilidad para los desastres naturales si no cambian los estilos depredadores de ocupación territorial y uso de los recursos.

Aunque entes gubernamentales, no gubernamentales (nacionales e internacionales) y académicos que trabajan dentro de la cuenca del lago de Atitlán, hacen énfasis, principalmente por política, en que la mayor fortaleza que se tiene para prevenir la continua degradación de los ecosistemas de la cuenca y el lago, es la cultura de la gente, argumentando que se tienen una íntima relación con la naturaleza y un gran respeto por los recursos naturales; la realidad dentro de la cuenca es muy diferente, el estudio de campo indica que lamentablemente la mayoría de la gente de la cuenca no está dispuesta a tomar medidas y a trabajar por reducir la deforestación en el futuro, además indica que a pesar de que los pobladores locales saben que el bosque se está destruyendo y perdiendo aceleradamente, muestran una actitud totalmente indiferente a los problemas ambientales, expresando que no son su responsabilidad, manifestación clara de la falta de conciencia ambiental en los habitantes de la cuenca del lago de Atitlán (Anexo I).

Vulnerabilidad natural:

El experto Gilberto Alvarado (2003)⁷, indica que la cuenca del lago de Atitlán es una cuenca joven altamente vulnerable a los procesos de erosión, lo que se sustenta mediante el análisis e interpretación de los factores y procesos formadores del medio biofísico de la misma, principalmente de la geología, las geoformas y el clima.

El mismo experto señala que la geología de la cuenca del lago de Atitlán está compuesta por Aluviones del cuaternario, rocas volcánicas del cuaternario que presentan coladas de lava, material lahárico y edificios volcánicos; así como de rocas volcánicas sin dividir, predominante del Mio-plistoceno que también incluyen tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos vol-

7. ALVARADO, G. 2003. Comunicación personal. Ingeniero agrónomo M.Sc. Experto en fisiografía y geomorfología. Profesor de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, investigador de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) y consultor independiente.

cánicos; que han servido de material originario para la formación de suelos pertenecientes al orden Andisol, que predominan en toda la cuenca, altamente susceptibles a la erosión. En ese sentido el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA, 1975), describe a los suelos pertenecientes al orden Andisol, como suelos cuyo material originario es volcánico, con poco desarrollo del perfil, con pocas arcillas de estructura cristalina fija, con abundancia de materiales como alófono, imogolita, haloisita, hidróxidos de aluminio y hierro, complejos de aluminio con materia orgánica y alófono con materia orgánica. Son materias amorfas que tienen alto contenido de carbón orgánico, con carga variable que depende mucho del pH, de buena estructura, generalmente granulada, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), alta capacidad de retener y fijar fósforo y alta retención de agua; son suelos muy fácilmente erosionables.

Alvarado, indica que la cuenca del lago de Atitlán se encuentra ubicada en la región fisiográfica de las tierras altas volcánicas, subregión montañosa occidental (Tacaná – Tecpán), gran paisaje caldera del lago de Atitlán, lo que le proporciona características muy singulares a nivel de paisaje y subpaisaje; además hace énfasis en que la cuenca del lago de Atitlán se caracteriza por sus altas pendientes >40% que dan lugar a una geomorfología y fisiografía compleja identificándose las geoformas siguientes: Cimas volcánicas, cimas de montañas, volcanes recientes, laderas inclinadas, abanicos aluviales, planicies disectadas, planicies altas erosionadas, pie de montes y taludes, todas geoformas que hacen de la cuenca una zona altamente susceptible a la erosión hídrica.

La sola combinación de los factores geológicos y geomorfológicos hace a la cuenca del lago de Atitlán altamente vulnerable a la degradación natural, empero, procesos de degradación inducidos por el hombre como la deforestación (causada por la tala inmoderada, incendios forestales y el avance de la frontera agrícola) y el empleo de prácticas agrícolas inadecuadas (principalmente en el manejo del suelo), inciden directamente en el incremento de la vulnerabilidad, a criterio de los expertos Agudelo y Alvarado, triplicándola o cuadruplicándola.

Capacidad de uso del suelo:

Todos los suelos de la cuenca del lago de Atitlán presentan limitaciones para su uso en la agricultura, que van desde moderadas hasta severas; las pendientes, la profundidad del suelo, la erodabilidad, la pedregosidad y el drenaje, definen la distribución de las diferentes clases agrológicas dentro de la cuenca. A nivel de reconocimiento se estima que el 73.53% de los suelos de la cuenca tienen

serías limitaciones de pendiente, que las clasifican como tierras forestales. Dentro de estas tierras forestales, el 15% únicamente puede emplearse para actividades forestales de producción, mientras que el 85% restante son tierras de protección forestal que tienen que dedicarse a la conservación de tierras vírgenes, a la conservación y protección de zonas de recarga hídrica, a la conservación y protección de flora y fauna, a la creación de áreas de esparcimiento, ecoturismo y recreación; o, a su conservación como parques nacionales (Cuadro 1).

Los suelos más aptos de la cuenca para la agricultura representan aproximadamente un cuatro por ciento y requieren obligatoriamente de prácticas de conservación de suelos para su uso correcto, además presentan limitaciones que reducen la gama de cultivos que pueden establecerse en ellos, principalmente los cultivos limpios o de escarda, dentro de los que se encuentra el maíz; el resto de suelos de la cuenca abarcan un 22.52% y por las limitaciones que presentan, especialmente de pendiente y profundidad del suelo, tendrían que emplearse en sistemas de producción agroforestal o silvopastoril, o también para protección (Cuadro 1).

En términos generales la cuenca del lago de Atilán por las clases de capacidad de uso de sus suelos, debe ser una cuenca dedicada a la protección forestal; cualquier otro uso que no sea el recomendado técnicamente incidiría significativamente en el incremento de las tasas de erosión, en la degradación de los suelos y en el incremento de la vulnerabilidad del área.

Cuadro 1: Clases de capacidad de uso del suelo de la cuenca del lago de Atilán, clasificación del USDA (Klingebiel y Montgomery, 1961) e INAB (2000).

| Clase USDA* | Hectáreas | % | Clase INAB* |
|--------------|------------------|---------------|-------------|
| II | 1,623.45 | 3.95 | Am |
| III | 2,223.51 | 5.41 | Aa |
| IV | 2,786.58 | 6.78 | Ss/Ap |
| V | 275.37 | 0.67 | Ss |
| VI | 3,970.26 | 9.66 | Ap/F |
| VII | 4,599.09 | 11.19 | F |
| VIII | 25,621.74 | 62.34 | Ip |
| Total | 41,100.00 | 100.00 | |

*Referencia de las clases en Anexo 2.

DEFORESTACIÓN:

La unidad de sistemas de información geográfica de la UNAM⁸, indica que la cobertura forestal actual de la cuenca del lago de Atitlán es de 143.37 Km², de los cuales 61.22 Km² son de bosque latifoliado, 61.99 Km² de bosque de coníferas y 20.16 Km² de bosque mixto; en su totalidad el bosque representa el 26.50% del total del área de la cuenca y el 34.88% del área de atrapamiento de aguas de la cuenca.

El estudio de campo ha identificado que en un periodo de 29.25 años comprendido entre los años de 1975 y 2004, se perdieron en la cuenca del lago de Atitlán 202.30 Km², equivalentes al 58.525% del total del bosque existente en 1975 (345.67 Km²); sin embargo, entre los años de 1993 al 2004 (periodo de 12 años) se perdió el 55.875% del total del bosque perdido. Se estima que la tasa de deforestación para la cuenca entre los años de 1975 a 1992 era de 1.52% anual (525 has/año) y que la tasa de deforestación a partir de 1993 es de 2.72% al año (942 has/año), incrementándose en 78.95%, ese incremento significativo en la tasa de deforestación se debe al cambio de tecnología para el aprovechamiento forestal, debido a que a partir del año 1993 se identificó el ingreso de la motosierra como herramienta de tala dentro de la cuenca del lago de Atitlán (Anexo 1 y Figura 1).

Según el Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), la tasa de deforestación registrada para Guatemala en el periodo comprendido entre el año 2000 y el 2005 es de 1.14% por año, si se compara la tasa actual de deforestación de la cuenca del lago de Atitlán de 2.72% al año, se aprecia claramente que la tasa para la cuenca es 138.60% más alta que el promedio nacional. El experto Nelson Agudelo indica que los factores que inciden para que la cuenca tenga una alta tasa de deforestación son los siguientes:

- a) Alta densidad poblacional
- b) Alta tasa de crecimiento demográfico
- c) Falta de conciencia ambiental

8. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO. 2004. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias de la Tierra, Unidad de Sistemas de Información Geográfica. Dato generado a partir del análisis de imágenes satelares Lansat, fotografías aéreas y de la verificación de campo.

- d) Alta demanda de leña como fuente de energía
- e) Avance acelerado de la frontera agrícola
- f) Alta incidencia de incendios forestales
- g) Alta incidencia de talas ilícitas
- h) Falta de control sobre las acciones de aprovechamiento forestal
- i) Irresponsabilidad de los entes gubernamentales
- j) Indiferencia de los gobiernos municipales y la autoridad de cuenca
- k) Corrupción
- l) Proliferación de aserraderos y depósitos de madera clandestinos
- m) Altos índices de pobreza y extrema pobreza (muy importante)
- n) Falta de un plan de acción

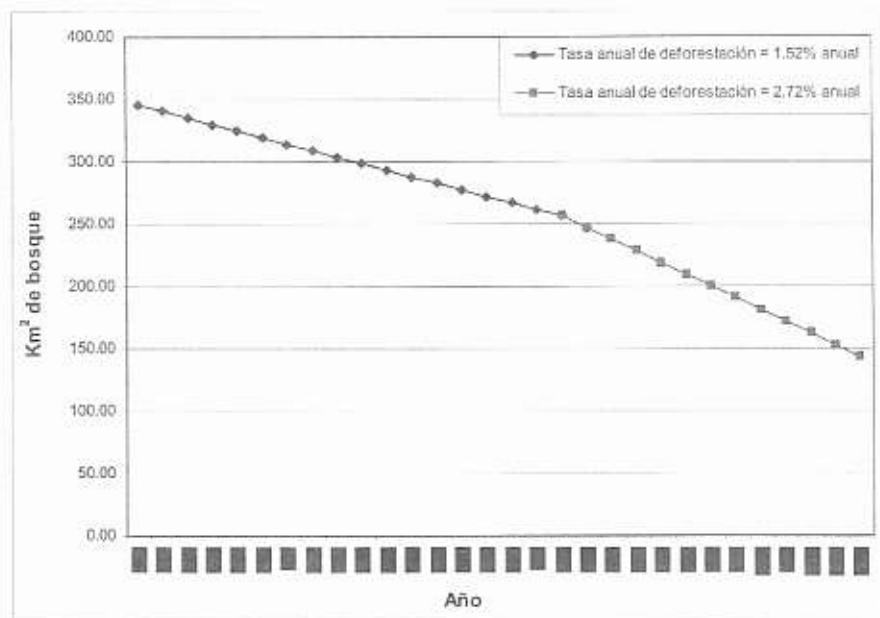


Figura 1. Evolución de la cobertura forestal de la cuenca del lago de Atitlán 1975 – 2004.

Recuperación de la cobertura forestal de la cuenca por reforestación:

Tres de cada ocho personas relacionadas al bosque y a los recursos naturales, dentro de la cuenca, estiman que en los recientes 10 años, mediante campañas gubernamentales de reforestación y acciones privadas de reforestación y manejo de la regeneración natural se han logrado recuperar 2.16 Km² (Anexo 1), equivalentes al 1.07% del total del bosque perdido en la cuenca.

Se logró determinar que el poco éxito de estas acciones se debe principalmente a que no se da mantenimiento a las plantaciones que se hacen y a que en algunas comunidades de la cuenca, principalmente de la parte norte, las personas tienen la creencia que por cada árbol reforestado que viva, se morirá un miembro de su familia, por lo que se dan a la tarea de arrancar o cortar los pocos árboles que se reforestan en las escasas campañas que se promueven, en ese sentido el componente cultural tiene una influencia muy importante en la recuperación de la cobertura forestal de la cuenca por acciones de reforestación.

Balance neto entre la deforestación y la reforestación, para la cuenca del lago de Atitlán:

Dentro de la cuenca del lago de Atitlán, el balance neto entre la pérdida del bosque y la recuperación de mismo por reforestación, se inclina significativamente a la pérdida de bosque que equivale a 9.20 Km²/año; esto representa que de las 942 has/año a las que se les elimina la cobertura forestal, 920 has (97.71%) quedan desprovistas de su cobertura y solamente 22 has son reforestadas (2.29%).

Impactos de la deforestación en el área de atrapamiento de aguas de la cuenca:

Los expertos Agudelo y Lagos coinciden en que los efectos inmediatos de la deforestación afectan primariamente a la zona de atrapamiento de aguas de la cuenca y posteriormente al Lago de Atitlán. Dentro de los impactos negativos que tiene la deforestación sobre el área de captación de aguas de la cuenca, se identifican los siguientes:

- a) Incremento de la erosión hídrica y eólica
- b) Incremento en el arrastre de sedimentos por los tributarios del lago
- c) Impermeabilización de las áreas de recarga hídrica
- d) Reducción de la capacidad de infiltración del suelo
- e) Reducción en la recarga anual de aguas subterráneas

- f) Incremento de la escorrentía superficial
- g) Reducción del tiempo de respuesta hídrica de la cuenca
- h) Azolvamiento y obstrucción de cauces
- i) Colmatación de estructuras de almacenamiento de aguas
- j) Incremento en el riesgo de crecidas y desbordamiento de ríos
- k) Incremento de la vulnerabilidad del área
- l) Reducción en la cantidad y calidad del agua
- m) Destrucción del paisaje
- n) Pérdida de biodiversidad (flora y fauna)
- o) Pérdida del banco genético de la cuenca (germoplasma)
- p) Pérdida de las áreas de bosques nubosos
- q) Reducción de la capacidad natural de captura de niebla y disminución de la lluvia horizontal.
- r) Destrucción de hábitats y nichos ecológicos.
- s) Desequilibrios en los ecosistemas de la cuenca
- t) Desertificación
- u) Cambios en los regímenes de vientos y movimiento de masas de humedad
- v) Reducción en las tasas de evapotranspiración
- w) Incremento en la liberación y concentración de CO₂ dentro de la cuenca
- x) Alteración de microclimas (calentamiento)

Bidegain (1992), señala que la deforestación asociada al alto crecimiento demográfico de la población, es la principal responsable del incremento constante de la emisión de gases de efecto invernadero en los países en desarrollo, indica que la producción de dióxido de carbono anual (CO₂/año) provocada por la deforestación casi se triplicó entre 1950 y 1985, contribuyendo importantemente al calentamiento de la tierra.

Estudios realizados por Koeëek y Hooická (2001), en cuencas de montaña de la República Checa durante el periodo comprendido entre los años 1984 y 1990, han demostrado que la deforestación contribuye significativamente a la erosión del suelo y a la sedimentación, así como a la contaminación del agua con ácidos húmicos procedentes de los suelos con alto contenido de materia orgánica. En las cuencas de captación analizadas, la erosión anual del suelo y la escorrentía de sedimentos aumentó del 8% al 30% del volumen del suelo erosionado; en ese mismo estudio se encontró una fuerte asociación positiva ($r = 0.962$) entre la pérdida de la cobertura forestal y los índices altos de erosión y sedimentación, lo que indica que a mayor pérdida de bosque mayor erosión y sedimentación se registrará dentro de la cuenca.

Para CRESSE –Centro Regional de Estudios en Economía Ecológica- (2001), la eliminación de la cobertura forestal resulta directamente en la disminución de la oferta hídrica y la calidad del recurso, en el incremento en el arrastre de sedimentos y elementos tóxicos, en el incremento de los picos de agua y los problemas de inundaciones en las partes bajas de las cuencas, en la degradación de los hábitat acuáticos, en la degradación de los aguas subterráneas y en la degradación de las cuencas, además enfatiza, considerando la realidad topográfica de América Central, que la presencia de bosque en las partes altas de las montañas es fundamental para captar y retener agua con el fin de hacerla disponible en la época seca.

Según Kaimowitz (2001) la deforestación en las áreas de atrapamiento de aguas de las cuencas, hace más intensas las inundaciones y refuerza el principio que el efecto de menor infiltración y menor evapotranspiración ocasionada por la deforestación produce inundaciones más intensas. Cuando se elimina el bosque merma la evapotranspiración dejando más agua disponible que puede causar inundaciones. Al mismo tiempo, como se reduce la infiltración el suelo pierde su capacidad de servir como esponja, hay mayor escorrentía y más agua corre rápidamente para abajo; en cuencas pequeñas este efecto tiende a ser más grande de lo que se suele creer. En ese sentido Chomitz y Kumasi (1998), afirman que las investigaciones científicas respaldan la existencia de un fuerte vínculo entre deforestación e inundaciones sólo a nivel local, en cuencas con un área de atrapamiento de aguas menor o igual a los 500 Km², debido a que las inundaciones dentro de estas cuencas dependen más de la forma en que se usa la tierra que de la intensidad de la lluvia. Considerando que la cuenca del lago de Atitlán tiene 541 Km² de área total y 411 Km² de área de captación, se puede afirmar que dentro de la misma existe una fuerte asociación entre la deforestación y las inundaciones.

Estudios realizados en varias zonas de América Latina y el Caribe han demostrado que la deforestación que afecta directamente a los bosques nublados, reduce la cantidad de agua que pasa de las nubes hacia el suelo y por lo tanto disminuye el agua disponible para distintos propósitos dentro de una cuenca, además se convierte en un factor importante en el incremento de la escorrentía superficial sobre suelos altamente vulnerables a la erosión hídrica (Bruijnzeel, 2001).

Después de realizar un estudio profundo en la cuenca del lago Puelo, en la Patagonia Argentina, Barzi (2003), encontró que un suelo deforestado, sin mantos homogéneos de hojarasca, ni raíces, en pendientes escarpadas tendrá poca o nula sustentación frente al flujo hidráulico de escorrentía superficial e hipodérmica

durante los periodos de precipitación, desembocando en los indeseables efectos de erosión a través de acarreo que progresivamente irán colmatando el cauce de torrentes tributarios, enturbiando las aguas y alterando los cursos de ríos principales con el excesivo aporte de materiales.

La CEPAL (2005), después de analizar las causas de los desastres provocados por la tormenta Stan en varias cuencas del país, dentro de las que se incluye la cuenca del lago de Atitlán, asevera que los bosques juegan un papel clave en la protección del suelo contra la erosión y en el almacenamiento de agua; la eliminación de bosques incrementa significativamente la escorrentía superficial y degrada los suelos, además, el aumento en el volumen de sedimentos disminuye el cauce de los cursos de agua y puede taponar drenajes naturales; por último indica que en suelos expuestos a procesos de erosión el riesgo de deslizamientos es mucho mayor.

Una investigación realizada, durante los años 2006 y 2007, en zonas con pendientes mayores a 35%, en las cabeceras de la subcuenca del río Quiscap, cuenca del lago de Atitlán, demostró que las zonas recientemente deforestadas presentaban mayores niveles de erosión que los que se registraban para las áreas con cobertura forestal, los resultados obtenidos con una $P \leq 0.01$ fueron: la media de pérdida de suelo en zonas con cobertura forestal Bosque Mixto 0.01 mm/año, la media de pérdida de suelo en zonas con cobertura forestal Bosque de Coníferas 0.36 mm/año y la media de pérdida de suelo en zonas deforestadas 5.24 mm/año (Romero, 2007).

El experto Nelson Agudelo, indica que aparte de los efectos que la deforestación tiene sobre el comportamiento hidrológico y los niveles de erosión dentro de la cuenca, un efecto importante, es la erosión genética y comercial de los bosques remanentes, debido a que se identificó que en la mayoría de los bosques que todavía quedan en la cuenca se ha practicado una entresaca selectiva, que ha eliminado los árboles con los mejores fenotipos y genotipos y con las mejores características para la comercialización.

Incendios forestales:

Dentro de la cuenca del lago de Atitlán, aparte de la tala excesiva e irracional y del avance de la frontera agrícola, los incendios forestales son una causa importante en la degradación del bosque, alcanzando el problema grandes magnitudes según se muestra en el Informe Nacional de Incendios Forestales del INAB del año 2004, en donde se indica que el departamento de Sololá fue el departamento de Guatemala afectado con el mayor número de siniestros durante ese año, con un total de 53 incendios que afectaron 357.97 has.

Las estadísticas del Concejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y del Sistema Nacional para la Prevención y Control de los Incendios Forestales (SIPECIF), indican que en un periodo de diez años comprendido entre 1999 y 2008, se han quemado 2,824.39 hectáreas de bosque dentro de la cuenca del lago de Atitlán, lo que hace un promedio anual de hectáreas incendiadas de 28.24; también se identifica que las tres causas más comunes de los incendios forestales dentro de la cuenca, en su orden de importancia son: las quemas agrícolas, los incendios intencionales y los incendios provocados por leñadores, concentrándose en ellas el 80% de los incendios registrados; mientras que las causas de los incendios más devastadores, que más hectáreas de bosque afectan, en su orden de importancia son: las quemas agrícolas, incendios provocados por leñadores e incendios intencionales, concentrándose en ellas el 89.06% de las hectáreas quemadas de bosque; una de cada dos hectáreas de bosque que se queman dentro de la cuenca del lago de Atitlán es consecuencia de las quemas agrícolas no controladas (Cuadros 1 y 2).

Es evidente que nueve de cada diez incendios que ocurren en la cuenca y que nueve de cada diez hectáreas de bosque que se queman en la cuenca, son responsabilidad directa de la acción humana (Cuadros 1 y 2); lo que refuerza la percepción de los expertos y de las entidades que tienen relación directa con el bosque dentro de la cuenca del lago de Atitlán, que afirman que los habitantes de la misma no tienen conciencia ambiental.

Cuadro 2: Número de incendios forestales ocurridos dentro de la cuenca del lago de Atitlán en el periodo comprendido entre los años 1999 y 2008.

| Causa del incendio | Número de incendios | % |
|------------------------|---------------------|--------|
| Quema Agrícola | 119 | 44.07 |
| Intencional | 82 | 30.37 |
| Causas no determinadas | 20 | 7.41 |
| Leñadores | 15 | 5.56 |
| Otras causas | 14 | 5.19 |
| Fogatas | 6 | 2.22 |
| Carboneros | 5 | 1.85 |
| Ritos indígenas | 5 | 1.85 |
| Quemas de basura | 4 | 1.48 |
| Total | 270 | 100.00 |

Fuente: CONAP y SIPECIF (2008), Estadísticas de incendios forestales periodo 1999–2008.

Cuadro 3: Número de hectáreas afectadas por incendios forestales ocurridos dentro de la cuenca del lago de Atitlán en el período comprendido entre los años 1999 y 2008.

| Causa del incendio | Área afectada | % |
|------------------------|---------------|--------|
| Quema Agrícola | 1555.22 | 55.06 |
| Leñadores | 674.92 | 23.90 |
| Intencional | 285.32 | 10.10 |
| Causas no determinadas | 205.27 | 7.27 |
| Otras causas | 103.66 | 3.67 |
| | 2824.39 | 100.00 |

Fuente: CONAP y SIPECIF (2008), Estadísticas de incendios forestales período 1999 – 2008.

Según Otzín (2007)⁹, el factor que más incide en la generación intencional de incendios forestales es el interés de las personas por ampliar las áreas agrícolas y el consecuente aprovechamiento de la leña y la madera, dado a que luego de un incendio es mucha la madera semiquemada que queda en el monte siniestrado, accesible para su corte y aprovechamiento, lo que ha resultado en la zona de Sololá y la cuenca del lago de Atitlán en un estupendo negocio; considerando que cada vez los requisitos para obtener licencias de aprovechamiento forestal son más exigentes, quemar el bosque facilita el proceso ya que solicitan licencias para aprovechamiento de una zona siniestrada; en los últimos años se ha visto que esta estrategia se ha hecho más común y que no sólo la están empleando los leñateros sino que también aserradores en contubernio con agricultores locales.

Agudelo y Lagos, señalan que los incendios forestales, aparte de los efectos negativos mencionados para la deforestación, tienen efectos muy específicos sobre el área de atrapamiento de aguas de la cuenca del lago de Atitlán y su clima local:

- a) Oscurecimiento de la superficie del suelo (> absorción de calor)
- b) Calcínación de la materia orgánica del suelo
- c) Desestabilización y disgregación de los agregados del suelo (cambios en estructura)

9. OTZÍN, J.F. 2007. Comunicación personal. Técnico forestal del Sistema Nacional para la Prevención y Control de Incendios Forestales (SIPECIF), para el departamento de Sololá y la Cuenca del lago de Atitlán.

- d) Formación de sustancias orgánicas hidrofóbicas
- e) Alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica
- f) Pérdida de nutrientes del suelo (especialmente nitrógeno)
- g) Reducción de la actividad biológica del suelo, por muerte de la biota.
- h) Alteración de los ciclos naturales biogeoquímicos de varios elementos
- i) Incremento de Carbono sobre la superficie del suelo (por combustión incompleta de la materia orgánica)
- j) Incrementos de pH en la superficie del suelo, por el aporte de bases.
- k) Liberación altas concentraciones de CO_2 a la atmósfera
- l) Liberación de CO a la atmósfera por combustión incompleta del material vegetal
- m) Liberación de aerosoles contenidos en el humo (cenizas, hollín y óxido nítrico)

Estudios realizados en Chile, en áreas deforestadas por la tala y por incendios forestales, demostraron que en las áreas deforestadas por la tala, la escorrentía superficial se había incrementado en un 27% respecto a las áreas con cobertura forestal, mientras que en las áreas deforestadas por los incendios forestales, la escorrentía superficial se había incrementado en un 43% respecto a la que se presentaba en áreas con cobertura forestal; ese cambio altamente significativo entre las tasas de escorrentía de los terrenos deforestados por la tala y por los incendios, se debe principalmente a que los suelos en donde ocurren incendios quedan cubiertos de cenizas que contiene sustancias repelentes al agua compuestas por minerales amorfos y a que se ha alterado la estructura del suelo reduciendo la capacidad de infiltración natural del suelo; mientras que los suelos deforestados por la tala tienen la ventaja relativa de quedar cubiertos de hojarasca, materia orgánica y de no sufrir cambios en su estructura (Castillo, 2001).

Durante la quema de un bosque el CO_2 almacenado en los árboles es liberado en cuestión de horas; en consecuencia si la vegetación en la zona quemada no se regenera el CO_2 liberado permanecerá en la atmósfera como gas de efecto invernadero. Científicos de la NASA han determinado que después de un incendio forestal se promueve la producción de gases de efecto invernadero a nivel del suelo mediante la actividad bacteriana, estimando que el monto de gases generados puede sobrepasar la cantidad generada al momento de la combustión de la biomasa del bosque (Castillo, 1999).

Barzi (2003), indica que los efectos de los incendios forestales sobre el área de captación de aguas de una cuenca lacustre son incuantificables tanto en términos de erosión, como en términos limnológicos y económicos; señala además que los

efectos de la erosión eólica son más intensos en las áreas quemadas debido a que el viento disgrega la ceniza y la hojarasca semiquemada que cubre el suelo, exponiendo así los materiales del suelo y favoreciendo también el incremento de la escorrentía y la erosión hídrica en los períodos de precipitación.

Navarajo (2008)¹⁰, indica que el humo producido por los incendios forestales dentro de la cuenca del lago de Atitlán, puede asociarse a enfermedades respiratorias agudas, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, asma, tuberculosis y enfermedades de los ojos.

Impactos de la deforestación sobre el lago de Atitlán:

Aunque el proceso de deforestación como tal no tiene un efecto directo sobre el lago de Atitlán, los procesos que se derivan del mismo como la erosión, los cambios en la hidrología e hidrogeología y el calentamiento de la cuenca, sí lo afectan directamente, modificando significativamente la cantidad y calidad de las aguas que ingresan al lago, mismas que alteran su estado trófico y el ecosistema lacustre completo.

El International Lakes Environment Committee, ILEC (2004), afirma que la deforestación y la eliminación de la vegetación en las zonas de atrapamiento de aguas de las cuencas lacustres, son los procesos que más influencia tienen en la degradación de la calidad del agua de los lagos; la erosión de las tierras forestales, agrícolas y otras descubiertas, causada por el escurrimiento superficial, arrastra y deposita en los mismos grandes cantidades de sedimentos, contaminantes tóxicos, fertilizantes y microorganismos, que provocan desequilibrios en el ecosistema lacustre específicamente en las poblaciones de zooplancton, fitoplancton y algas. De manera similar estudios realizados por Grace III (2005) en cuencas lacustres del sur de Estados Unidos, demuestran que los procesos de deforestación perturban directamente los procesos naturales que mantienen la calidad del agua de los lagos y sus tributarios, convirtiéndose las áreas deforestadas en fuentes no puntuales de contaminación (fuentes difusas), siendo estas fuentes no puntuales de contaminación el origen de los problemas más grandes de calidad de agua en los Estados Unidos.

10. NAVARIJO, J. 2008. Comunicación personal. Médico Jefe del área de Salud Pública de Sololá, Sololá, Guatemala.

Estudios recientes en sistemas lacustres tropicales de América Latina han demostrado que los procesos de perturbación de los bosques y las zonas prístinas de las cuencas, son la causa principal de la alteración de la calidad del agua de los lagos, se encontró que estos procesos alteran los ciclos naturales del Nitrógeno (N) y el fósforo (P) y la relación N/P, afectando por ende la productividad de los ecosistemas lacustres, siendo estos cambios mayores en los sistemas tropicales que en los sistemas templados. Se determinó que los procesos de perturbación de los bosques alteran los mecanismos de transporte de nutrientes, los mecanismos de deposición atmosférica de nutrientes y las capacidades naturales de retención de sedimentos y nutrientes (Downing *et al.*, 1999).

Los lagos tropicales de montaña presentan mayor susceptibilidad a los procesos de eutrofización. La actividad agrícola y los procesos de erosión en la cuenca, así como la inexistencia de tratamiento y manejo de desechos, aceleran este proceso. Estudios en el lago San Pablo en el Ecuador, han establecido una correlación directa entre los incrementos de nutrientes disueltos, sedimentos y material suspendido aportando por los tributarios durante la época de lluvia y el incremento en la productividad del lago, coincidiendo la máxima productividad del lago con la época de lluvias y la mínima productividad con la época seca (Casallas y Gunkel, 2000).

Considerando que lo que ocurre cuenca arriba cambia la existencia cuenca abajo (lago) es de inferir que todo efecto considerable de erosión en las subcuencas de la cuenca lacustre incidirá sensiblemente en los cauces importantes de las corrientes tributarias y el lago, modificando el estado trófico y las relaciones de los nutrientes limitantes (Fósforo y Nitrógeno), alterando la biología del ecosistema y variables importantes como la turbidez del agua, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto (Barzi, 2003).

Preston (2005)¹¹, indica que a pesar de que el lago de Atitlán no cuenta con estudios limnológicos serios y de alta calidad, dos años de investigación en sus aguas y su cuenca, le permiten deducir que la deforestación y la degradación del área de atrapamiento de aguas, tienen los siguientes impactos sobre las aguas del lago, aunque algunos de ellos sólo sean perceptibles en el mediano y largo plazo:

- a) Incremento en los sólidos disueltos y sólidos suspendidos
- b) Incremento en los sólidos sedimentables

11. PRESTON, N. 2005. Comunicación personal. Limnólogo y Biólogo marino, Ph.D. Madison Wisconsin University, Madison, Wisconsin, USA.

- c) Reducción en la transparencia
- d) Colmatamiento del lago y disminución del volumen de agua almacenada
- e) Incremento en el ingreso de Fósforo y Nitrógeno
- f) Incremento en el ingreso de Silicio
- g) Incremento en la productividad del lago
- h) Incremento en el ingreso de materia orgánica
- i) Incremento en la DBO₅
- j) Disminución del pH
- k) Reducción en el oxígeno disuelto
- l) Incrementos en las concentraciones de CO₂
- m) Incremento en la conductividad eléctrica
- n) Incremento en el ingreso de sustancias ecotóxicas
- o) Destrucción de nichos ecológicos
- p) Imposibilita el uso del agua por los humanos

Vida futura del bosque remanente:

Las proyecciones de vida futura del bosque remanente para la cuenca del lago de Atitlán nos son nada alentadoras y predicen un rápido colapso de la cobertura forestal si no se toman las medidas pertinentes y oportunas para proteger los bosques y frenar su deforestación; los entrevistados en el estudio de campo consideran que los bosques de la cuenca se terminarán en los futuros 17.2 años (Desviación estándar 2.554), (Anexo 1), si se mantiene la misma actitud destructiva del bosque y la más clara inconsciencia de todos los habitantes de la cuenca y de las instituciones responsables. Mientras que si se considera que la tasa de deforestación actual se mantenga constante en el tiempo, se proyecta que los bosques de la cuenca se terminarán en los futuros 15 años; el experto Nelson Agudelo a pesar de estar totalmente de acuerdo con las proyecciones matemáticas, considera que el tiempo de eliminación del bosque podría prolongarse hasta los 25 años, debido a que el bosque remanente está quedando en lugares con mayor dificultad de acceso, erosionados biológica y económicamente.

CAMBIO CLIMÁTICO:

El experto Pablo Lagos indica que el cambio climático es evidente, real y provocado por el hombre, causado inequívocamente por el actual calentamiento global, afectando principalmente la disponibilidad de los recursos hídricos, entre otros efectos; estas variaciones en la disponibilidad de los

recursos hídricos, a pesar de que son efectos globales, su impacto puede variar de acuerdo a la región y a la cuenca donde se esté, procesos como la deforestación, los incendios forestales, las altas descargas de aerosoles, las altas liberaciones de gases de efecto invernadero, las malas prácticas agrícolas e industriales y la sobre población, pueden magnificar su impacto y acelerar otros procesos como las sequías prolongadas y la desertificación.

El departamento de servicios hidráulicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH- (2003), afirma que en Guatemala el proceso de los cambios climáticos afectará la disponibilidad de los recursos hídricos, provocando serios problemas sociales y económicos. Además la agricultura, salud, generación de energía eléctrica y desarrollo de infraestructura se prevé serán los sectores más afectados.

El mismo experto Lagos, afirma que los impactos del cambio climático en los sistemas de agua dulce y su manejo, están relacionados principalmente con el incremento observado y proyectado de las variaciones de la temperatura, evaporación y precipitación; los lagos y los ríos se están calentado por lo que se anticipan cambios en su ecosistema.

Para el caso específico de la cuenca del lago de Atitlán, Lagos, indica que a pesar de no contarse con una red de monitoreo del clima dentro de la misma y de no contarse con información climática confiable, pueden apreciarse algunos efectos del cambio climático en la cuenca; lo difícil es separar dentro de la magnitud de estos efectos, que proporción de la misma corresponde al cambio climático global y que proporción corresponde al cambio climático local (magnificación por procesos y características internas de la cuenca); por lo que es importante e imprescindible, dada la importancia del lago de Atitlán, que se establezca en la cuenca un programa de investigación del cambio climático a nivel local, que amplíe la red de estaciones meteorológicas e hidrométricas y que emplee modelos numéricos regionales y técnicas de “Down Scaling”, para poder medir con mejor y mayor precisión los impactos de las variaciones climáticas y sus efectos sobre el lago.

Incremento de la temperatura media de la cuenca:

El estudio de campo reveló que los habitantes de la cuenca del lago de Atitlán han detectado un incremento en la temperatura media de la cuenca en los últimos 30

años (Anexo 1); sin embargo, determinar exactamente la magnitud del incremento de temperatura es difícil debido a la escasez de información meteorológica y a la confiabilidad de la misma, que permita hacer comparaciones en el tiempo con alta confianza estadística.

El experto Pablo Lagos, indica que la información meteorológica existente en la cuenca del lago de Atitlán, a pesar de tener una alta variabilidad puede emplearse con fines de encontrar una tendencia en el comportamiento de la temperatura, aunque no sea muy confiable para determinar la magnitud del cambio en el tiempo, además indica que este problema es muy común en América Latina donde el manejo de las estaciones y la información climática ha sido precariamente manejada, sin embargo, enfatiza que no tiene que ser obstáculo para generar información que aporte evidencias valiosas del cambio climático.

Con el objetivo de determinar la tendencia de la temperatura media en la cuenca del lago de Atitlán, se emplearon los datos de las estaciones meteorológicas más confiables ubicadas dentro de la misma, además las series de datos empleados fueron seleccionadas según el criterio técnico-científico del experto Lagos, debido a que se tenían en ambas estaciones registros incompletos. Para la estación meteorológica El Tablón (Clave 190103) ubicada a una altitud de 2,397 msnm, en las coordenadas Latitud $14^{\circ}37'54''$ y Longitud $91^{\circ}13'53''$, se determinó que la temperatura media en el período comprendido entre los años 1994 y 2003, presenta una tendencia de incremento, estimándose que en esos diez años la temperatura media sufrió un aumento aproximado de 0.33°C (Figura 2). Para la estación meteorológica Santiago Atitlán (Clave 191904) ubicada a una altitud de 1,580 msnm, en las coordenadas Latitud $14^{\circ}47'25''$ y Longitud $91^{\circ}10'55''$, se determinó que la temperatura media en el período comprendido entre los años 1990 y 2003, presenta una tendencia de incremento, estimándose que en esos 14 años la temperatura media sufrió un aumento aproximado de 0.34°C (Figura 3).

Aunque el respaldo estadístico es bajo, es muy seguro que el incremento de la temperatura media dentro de la cuenca del lago de Atitlán sea $\geq 0.2^{\circ}\text{C}$ en los últimos 30 años, lo que puede provocar alteraciones significativas en el ciclo hidrológico de la misma, especialmente afectando el régimen de vientos al interior de la cuenca y el desplazamiento de las masas de humedad (nubes).

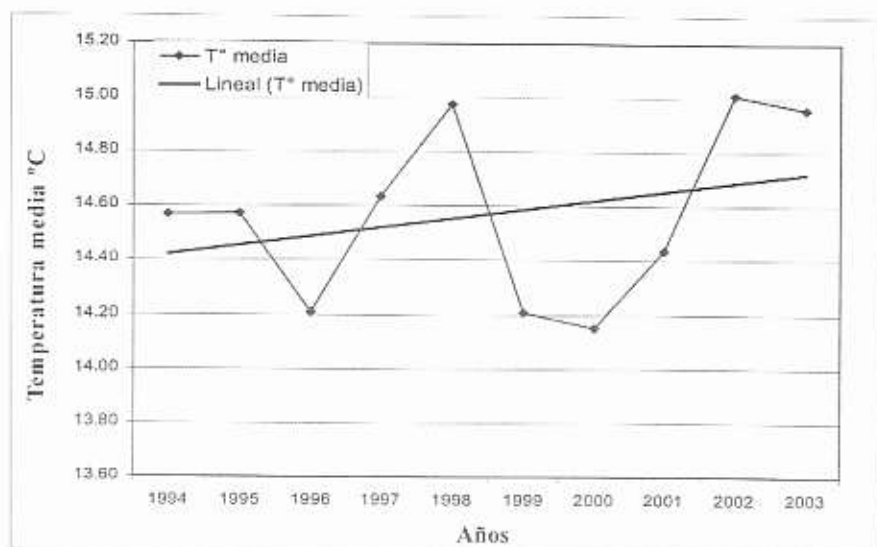


Figura 2. Tendencia de la temperatura media en la estación meteorológica El Tablón.

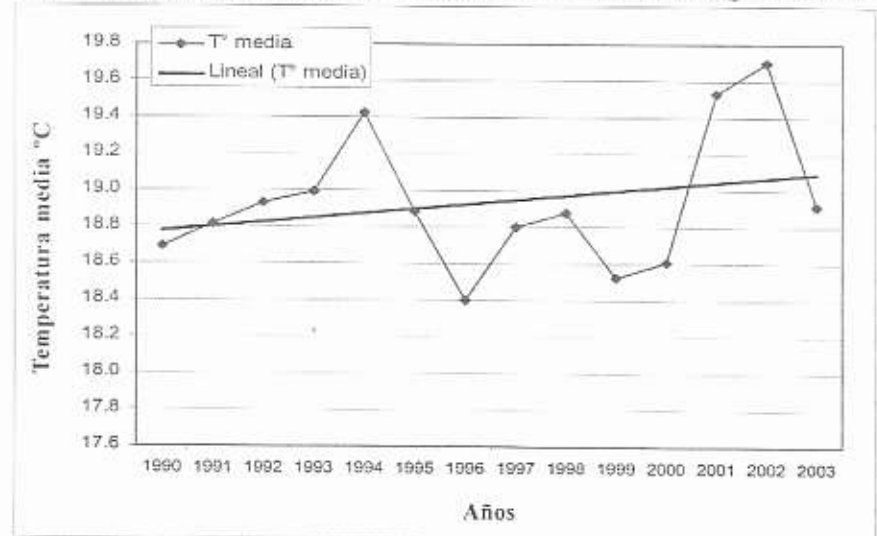


Figura 3. Tendencia de la temperatura media en la estación meteorológica Santiago Atitlán.

Lagos señala que un incremento de 0.5°C en la temperatura media mensual puede causar alteraciones significativas en el ciclo hidrológico local de una cuenca, en lo que coincide el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2008), indicando además que los impactos son más sensibles en las cuencas pequeñas. En ese sentido el INSIVUMEH (2003), indica que una atmósfera más caliente favorece la desecación debido a que presenta una tasa más alta de evaporación, por cada grado centígrado de incremento en la temperatura del aire se incrementa en seis por ciento la capacidad de evaporar agua. Esas alteraciones en el ciclo hidrológico pueden variar la distribución de la precipitación durante el año, haciéndola más alta e intensa en unas regiones y escasa en otras, pueden también incrementar los requerimientos de agua para riego y consumo humano y reducir las tasas de recarga de agua subterráneas.

Después de hacer un recorrido por los bosques nubosos ubicados dentro de la cuenca del Lago de Atitlán, se identificó por parte del experto Agudelo, en todos los sitios visitados, una marcada muerte del epifitismo (bromelias, orquídeas y musgos), señal clara e inequívoca de la desecación de la atmósfera, ya que estas plantas son bioindicadores muy sensibles a los cambios en la humedad relativa del bosque, lo que respalda las apreciaciones hechas por Lagos y las tendencias de calentamiento de la cuenca. Además el análisis de las zonas de captura natural de niebla, permitió identificar que actualmente las masas de humedad dentro de la cuenca (niebla) se desplazan a mayores alturas reduciendo la capacidad de captura por parte de los bosques.

Artaxo (2007), del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, después de haber realizado análisis exhaustivos de los cambios climáticos en Latinoamérica entre los años de 1970 y 2004, específicamente para Guatemala ha determinado lo siguiente: a) La temperatura media ha sufrido un incremento entre los $0.2 - 1.0^{\circ}\text{C}$; b) El incremento en la temperatura media ha afectado significativamente sistemas biológicos terrestres, marinos y de agua dulce; c) El 98% de los cambios físicos significativos observados son consistentes con el calentamiento; y, d) El 100% de los cambios biológicos significativos observados son consistentes con el calentamiento; la biodiversidad del país se encuentra severamente afectada y la tendencia es que se siga afectando en el futuro; también indica que los modelos regionales predicen para Guatemala que la disponibilidad futura de agua y la capacidad de generación de energía hidroeléctrica se verá reducida severamente, que la vulnerabilidad a eventos extremos se seguirá incrementado.

El IPCC (2008), coincide totalmente con Artaxo e indica que los principales efectos observados del calentamiento global en América Central son: una marcada tendencia en la reducción de la precipitación total anual, a pesar de que se tendrán lluvias más intensas, y la migración y extinción de especies. También indica que los modelos numéricos de simulación proyectan para Centroamérica temporadas más frecuentes de extremas sequías en todas las estaciones del año.

Expansión de la asociación edáfica seca o del bosque seco, zona xérica o zona xerofítica:

Es una franja de bosque que se ubica sobre todo el perímetro del lago de Atitlán, y que recibe el nombre de bosque seco o zona xérica debido a las características de baja humedad en el suelo, baja humedad relativa y caducidad en las hojas de los árboles durante la época seca, sin embargo, no es precisamente un ecosistema de bosque seco tropical como lo señala el Proyecto Volcanes de Atitlán (2003). La biotemperatura, la altitud y la precipitación total anual de la zona indican claramente que es un ecosistema de bosque húmedo premontano tropical que presenta una asociación edáfica seca, según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982), esta asociación edáfica seca tiene el efecto de hacer que la fisonomía de la vegetación parezca más seca de lo normal para la zona de vida, lo que explica por qué las especies vegetales que se encuentran en este ecosistema, especialmente las forestales, que a pesar de ser especies siempre verdes, en la época seca botan las hojas debido al estrés hídrico a que las somete la falta de agua en el suelo, para reducir así su transpiración y la pérdida de agua.

La asociación edáfica seca que rodea al lago de Atitlán se encontraba ubicada hasta el año de 1992, entre el nivel del lago 1,550.98 msnm (límite inferior) y los 1,780 msnm (límite superior); sin embargo, el estudio revela que su límite superior se está desplazando a zonas de mayor altitud, en un periodo de 11 años (1993 a 2004), el bosque seco se desplazó de los 1,780 msnm a los 2021 msnm (Anexo 1). Este avance de la asociación edáfica seca a mayor altitud se debe principalmente a la reducción en la humedad de los estratos superiores del suelo, debido a un desplazamiento del nivel de las aguas subterráneas a estratos geológicos más profundos, lo que ha inducido a las especies vegetales de la zona a un estrés hídrico durante la época seca, en áreas de la cuenca que antes no presentaban esta anomalía; este cambio en el nivel de las aguas subterráneas y la humedad del

suelo ha permitido que especies vegetales características de la asociación edáfica seca se estén desplazando también a zonas de mayor altitud, desplazando y ocupando el lugar de especies que no se adaptan al estrés hídrico (Figura 4).

El estudio identificó que en un período aproximado de 11 años (1993 a 2004), se experimentó un descenso significativo en los caudales de los manantiales, pozos y ríos de la cuenca, probablemente porque el nivel del acuífero se haya hecho más profundo en ese tiempo (Anexo 1). Sin embargo, sólo un estudio hidrogeológico más profundo identificará la magnitud de este cambio (Figura 4).

Con una $Pd < 0.05$ se encontró una fuerte asociación positiva entre el tiempo del avance de la asociación edáfica seca (bosque seco) y el tiempo de disminución de los caudales ($r = 0.9525$), posiblemente porque se deban a la misma causa hidrogeológica (Anexo 1). Según Bethune y Rudolph (2004)¹², el nivel freático de la cuenca se ha hecho año con año más profundo, producto de la impermeabilización de las zonas de recarga, de la destrucción de los bosques de recarga, la degradación de los suelos y al cambio en el régimen de lluvias dentro de la cuenca causado por el calentamiento de la misma. Así mismo, se ve incrementado el grado de disminución del nivel del acuífero debido a la pérdida anual del nivel del lago producto de la infiltración profunda de sus aguas a acuíferos regionales más profundos, ya que el lago es la manifestación del nivel de las aguas subterráneas de la cuenca hidrogeológica de Atitlán (un pozo inmenso) (Figura 4).

El experto Lagos, indica que el desplazamiento de la asociación edáfica seca a mayor altitud, el desplazamiento de especies, el descenso del nivel de las aguas subterráneas, la disminución de los caudales y la alteración de los ecosistemas, son evidencias irrefutables del cambio climático de la cuenca del lago de Atitlán. Empero, también indica que la magnitud de estos cambios puede ser modificada por la acción humana dentro de la cuenca; la situación actual del agua es preocupante y la tendencia futura, considerando las actuales evidencias, es a que la cuenca del lago de Atitlán se haga cada año más y más seca, pudiéndose iniciar en pocas décadas un inevitable proceso de desertificación.

-
12. BETHUNE, D. 2004. Comunicación personal. Hidrogeólogo, P.Geol, University of Calgary, Calgary, Canadá. Red Centroamericana para el Manejo de los Recursos Hídricos (CARA).
- RUDOLPH, D. 2004. Comunicación personal. Hidrogeólogo, Ph.D. Department of Earth & Environmental Sciences, University of Waterloo, Canadá. Red Centroamericana para el Manejo de los Recursos Hídricos (CARA).

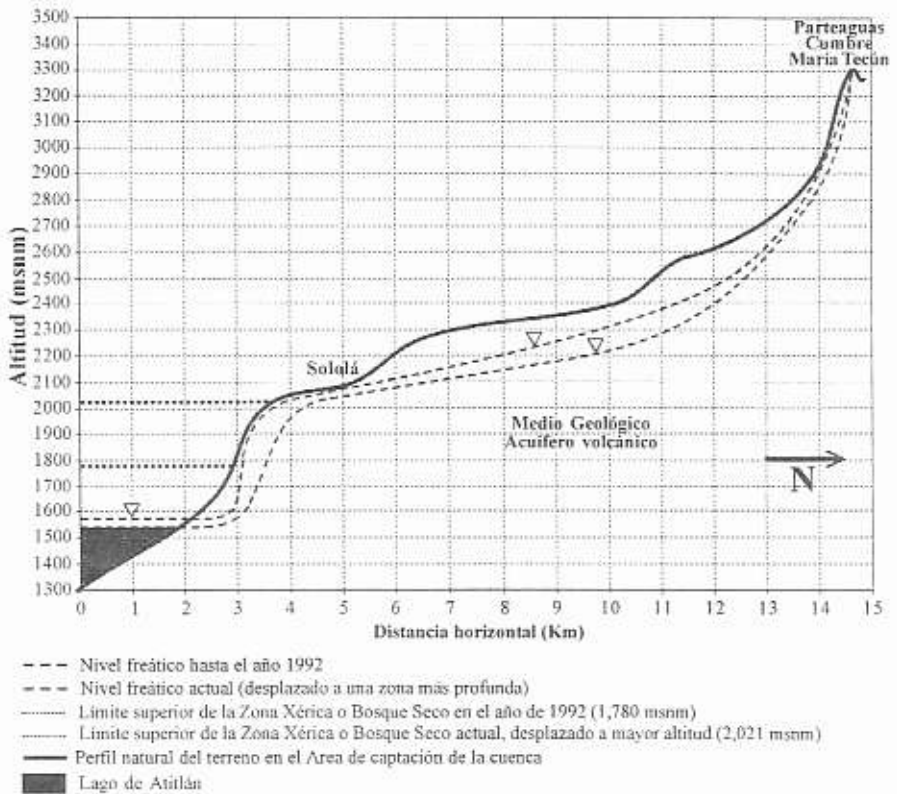


Figura 4. Modelo explicativo del avance de la asociación edáfica seca y de la disminución de los caudales de aguas subterráneas en asociación con el descenso del nivel de freático dentro de la cuenca del lago de Atitlán (Elaborado por el autor con la asesoría de Dave Rudolph¹³, Ph.D.).

13. Dave L. Rudolph, Ph.D. Profesor del departamento de Ciencias de la tierra y ambiente de la Universidad de Waterloo, Canadá; especialista en hidrogeología regional y en protección y manejo de aguas subterráneas; miembro de la Red Centroamericana para el Manejo de los Recursos Hídricos (Red CARA).

CONCLUSIONES

El estudio encontró, para la cuenca del lago de Atitlán, una relación directa entre el proceso de deforestación y el descenso en el nivel freático del acuífero de la cuenca en el corto plazo, mediante el análisis de la relación entre los tiempos del fuerte proceso de deforestación y los tiempos de avance de la asociación edáfica seca (bosque seco) y el de disminución de los caudales; obteniendo con una $P \leq 0.05$ que existe una baja asociación positiva entre el tiempo de fuerte proceso de deforestación y el tiempo de avance del bosque seco ($r = 0.19$) y una baja asociación positiva entre el tiempo de fuerte proceso de deforestación y el tiempo de disminución de los caudales ($r = 0.27$).

Los resultados indican que en el corto plazo la deforestación en sí, tiene poca influencia directa sobre la disminución en la recarga hídrica del acuífero y sobre el descenso del nivel de las aguas subterráneas de la cuenca (Anexo 1); sin embargo, no se le puede liberar de la responsabilidad, debido a que Artaxo (2007) y el IPCC (2008), indican que el impacto directo de la deforestación sobre las tasas de recarga de las aguas subterráneas se pueden apreciar únicamente en el mediano y el largo plazo.

Debe tenerse en cuenta que la deforestación es la desencadenante de otros procesos derivados como la erosión del suelo, el azolvamiento de cauces, la impermeabilización de zonas de recarga, la reducción de la infiltración, el aumento en el escurrimiento superficial, el incremento en la temperatura del suelo, el incremento en la evaporación del agua del suelo y la poca captura de niebla; aparte de considerar los efectos actuales y futuros del cambio climático como una atmósfera más seca y caliente, alteración en los regímenes de vientos, cambios en los patrones de movimiento de masas de humedad e incrementos en la intensidad de la lluvia.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Artaxo, P. 2007. Regional climate changes in Latin America. *In* II Jornadas Iberoamericanas sobre cambio climático y recursos hídricos CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) (2007, Antigua Guatemala, GT). CYTED/AECI. 1 disco compacto, 8 mm. (CYTED CD-ROM no.2).
2. Barzi, JA. 2003. Manual de la cuenca del lago Puelo: estudio integral multidisciplinario comprensivo basado en el agua. Buenos Aires, Argentina. UNESCO. 341 p.
3. Bidegain, G. 1992. La población, los recursos y el ambiente. *In* Crecimiento poblacional y deterioro del ambiente. Eds. A Conrado Gómez; J Rojas Hetebrügge. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano Academic Press. p. 59-79.
4. Bruijnzeel, L. 2001. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. *Land Use and Water Resources Research* (NL) 1:1-18.
5. Casallas, JE; Gunkel, G. 2000. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. Berlin, Alemania, Technical University of Berlin. p. 215-232.
6. Castillo, M. 2000. Incendios forestales y medio ambiente; una síntesis global. Santiago, Chile, Laboratorio de incendios forestales, Universidad de Chile. 27 p.
7. _____ . 2001. Incendios forestales y escorrentía superficial. Santiago, Chile, Laboratorio de incendios forestales, Universidad de Chile. 9 p.

8. Chomitz, K; Kumari, K. 1998. The domestic benefits of tropical forest: a critical review. *The World Bank Research Observer* (US) 13(1):13-35.
9. CRESEE (Centro Regional de Estudios en Economía Ecológica, CR). 2003. Internalización del valor ecológico del agua como servicio ambiental de la biodiversidad. Heredia, Costa Rica, CRFSEE. p. 25-35.
10. CEPAL (Comisión Económica para América Latina, CL). 2005. Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, octubre de 2005. Guatemala, CEPAL / SEGEPLAN. 121 p.
11. Downing, JA; McClain, M; Twilley, R; Metack, J M; Elser, J; Rabalais, NN; Lewis JR, WM; Turner, RE; Corredor, J; Soto, D; Yanez-Arancibia, A; Kopaska, JA; Howarth, RW. 1999. The impact of accelerating land-use change on the N-Cycle of tropical aquatic ecosystems: current conditions and projected changes. *In Biogeochemistry*. Nueva York, US, Springer. p. 109-148.
12. Garza, R; Cano, G. 1997. Demografía y población humana. *In Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. Eds. E Enkerlin; G Cano; R Garza; E Vogel. México, International Thomson Editores. p. 151-176.
13. Grace III, J. 2005. Forest operations and water quality in the south. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (US) 48(2):871-880.
14. Godoy, JC. 1992. Población y medio ambiente en América Central. *In Crecimiento poblacional y deterioro del ambiente*. Eds. A Conrado Gómez; J Rojas Hietebregge. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano Academic Press. p. 50-58.
15. Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H Jiménez Saa. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
16. ILEC (International Lakes Environment Committee, JP). 2004. Visión global de los lagos: una llamada a la acción. Trad. MM Bianchi. Ed. D Hoyt Palfrey. Kasatsu, Japón, ILEC press. 42 p.
17. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2003. Vulnerabilidad de los recursos hídricos en Guatemala ante el cambio climático. Guatemala, INSIVUMEH / IPCC. 5 p.
18. IPCC (Intergovernmental panel on climate change, CH). 2008. Climate change and water. Ginebra, Suiza, IPCC Secretariat. 210 p. (IPCC Technical Paper IV).
19. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso: aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala. Guatemala, INAB. 96 p. (Manual no.1).
20. _____. 2004. Informe nacional de incendios forestales: periodo del 01/01/2004 al 07/05/2004. Guatemala, INAB. 1 p.
21. Kaimowitz, D. 2001. Cuatro medio verdades: la relación bosques y agua en Centroamérica. *Revista Forestal Centroamericana* (CR) 33:7-10.
22. Klingebiel, A; Montgomery, P. 1961. Land capability classification. Washington, DC, US, US Government Printing Office. 21 p. (USDA Agricultural Handbook no. 210).
23. Kocček, J; Hootická, J. 2001. Degradación y recuperación de cuencas hidrográficas de montaña: los montes Jizera en la República Checa. *Unasyva* (CZ) 52(207):43-49.
24. Proyecto Volcanes De Atitlán, GT. 2003. Diagnóstico Ecológico-Social en la Cuenca de Atitlán. Eds. M Dix; I Fortin; O Medinilla. Guatemala, CONAP, UVGI, TNC, ARNP, VIVAMOS MEJOR, USAID. 169 p.
25. Romero, M. 2007. Diagnóstico de los niveles de erosión en la parte alta de la cuenca del lago de Atitlán, subcuenca del río Quiscap. Sololá, Guatemala, Caja Madrid. 57 p.
26. USDA (Department of Agriculture, US). 1975. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, Washington, DC, US, US Government Printing Office. 754 p. (Agriculture Handbook no. 436).
27. WCED (World Commission on Environment and Development, CH). 1987. Our common future. Ginebra, Suiza, Oxford University Press. 400 p.

Revista **Chiriquí** se terminó de imprimir en el mes de julio del 2010, en los talleres de Editora Arizandieta, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.



TIKALIA



Aportes Científico-Tecnológicos en Sistemas de Producción
Agrícola y Recursos Naturales Renovables

CONTENIDO

- 7 Valoración económica del lago de Atitlán**
Marvin Alfonso Romero Santizo, Hugo Cardona Castillo,
Marino Barrientos, Ted Horbulyk
- 37 Aguas residuales y futuro del lago de Atitlán**
Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo
- 57 Desechos sólidos y el futuro del lago de Atitlán**
Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo
- 73 El área de captación de la cuenca y el lago de Atitlán**
Marvin Alfonso Romero Santizo
Hugo Cardona Castillo