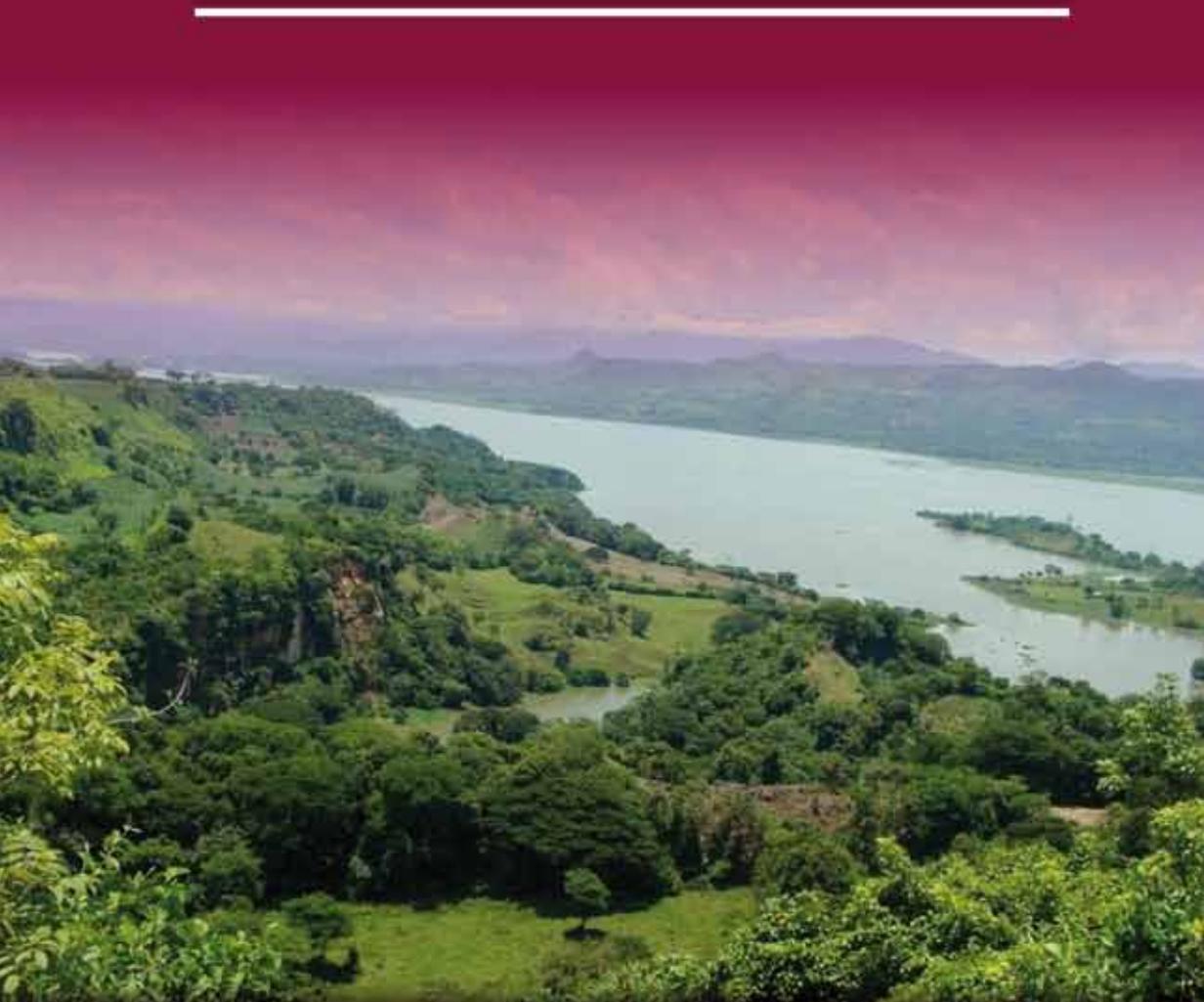


# VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO COMO UN SERVICIO AMBIENTAL DE LAS ZONAS DE RECARGA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ACELHUATE

José Ricardo Calles

Universidad Tecnológica de El Salvador



COLECCIÓN INVESTIGACIONES  
Universidad Tecnológica de El Salvador

36



Título de la investigación  
VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO COMO  
UN SERVICIO AMBIENTAL DE LAS ZONAS DE RECARGA  
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ACELHUATE

José Ricardo Calles

Universidad Tecnológica de El Salvador

La presente investigación fue subvencionada por la Universidad Tecnológica de El Salvador, Utec. Las solicitudes de información, separatas y otros documentos relativos al presente estudio pueden hacerse a la dirección postal: calle Arce, 1020, Universidad Tecnológica de El Salvador, Vicerrectoría de Investigación, Dirección de Investigaciones, calle Arce y 17ª. avenida Norte, edificio *José Martí*, 2ª. planta, o al correo electrónico: ricalher@gmail.com, vicerrectoriadeinvestigacion@utec.edu.sv

Las opiniones, recomendaciones y análisis de esta investigación no reflejan necesariamente las opiniones de la Universidad tecnológica de El Salvador.

ISBN 978-99961-48-28-6

San Salvador, 2013

Derechos Reservados

© **Copyright**

Universidad Tecnológica de El Salvador

333.91

C157v Calles, José Ricardo, 1976-

sv Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en la subcuenca del río Acelhuate / José Ricardo Calles. -- 1ª. ed. -- San Salvador, El Salv. : Universidad Tecnológica de El Salvador, 2014.

86 p. : il. ; 23 cm. -- (Colección investigaciones ; v. 36)

ISBN 978-99961-48-28-6

1. Recursos hídricos-Aspectos económicos-El Salvador. 2. Desarrollo de recursos hídricos. 3. Abastecimiento de agua.  
I. Título.

BINA/jmh

#### **AUTORIDADES UTEC**

**Dr. José Mauricio Loucel**

Presidente Junta General Universitaria

**Lic. Carlos Reynaldo López Nuila**

Vicepresidente Junta General Universitaria

**Sr. José Mauricio Loucel Funes**

Presidente UTEC

**Ing. Nelson Zárate**

Rector UTEC

---

**Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en la subcuenca del río Acelhuate**

José Ricardo Calles Hernández

---

#### **Vicerrectoría de Investigación**

**Licda. Noris Isabel López Guevara**

Vicerrectora

**Licda. Blanca Ruth Orantes**

Directora de Investigaciones

**Licda. Ana Cecilia Sisnados de Ayala**

Diseño y Diagramación

**Sr. Noel Castro**

Corrección de Estilo

#### **PRIMERA EDICIÓN**

150 ejemplares

Agosto, 2014

Impreso en El Salvador

Por Tecnoimpresos, S.A. de C.V.

19 Av. Norte, No. 125, San Salvador, El Salvador

Tel.:(503) 2275-8861 • gcomercial@utec.edu.sv

# Índice

<b>I.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>II.</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>9</b>
2.1.	Valoración económica.....	9
2.1.1.	Las fallas del mercado y la valoración económica .....	10
2.1.2.	Importancia de la valoración económica .....	11
2.1.3.	Métodos de valoración económica.....	13
2.2.	Servicios ecosistémicos.....	16
<b>III.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>21</b>
3.1.	Balance hídrico .....	21
3.1.1.	Infiltración.....	22
3.1.2.	Evapotranspiración.....	27
3.1.3.	Recarga hídrica.....	28
3.1.4.	Escorrentía superficial.....	28
<b>3.2.</b>	<b>Presupuesto de aguas .....</b>	<b>29</b>
3.2.1.	Oferta total hídrica.....	30
3.2.2.	Oferta disponible.....	31
3.2.3.	Demanda hídrica .....	31
<b>3.3.</b>	<b>Valoración económica ecológica.....</b>	<b>33</b>
3.3.1.	Captación hídrica de ecosistemas .....	33
3.3.2.	Valor de restauración de ecosistemas.....	35
3.3.3.	Valor del agua como insumo de la producción .....	36
3.3.4.	Valor promedio para el agua .....	38
<b>IV.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterización del área de estudio.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.</b>	<b>Balance hídrico de la subcuenca .....</b>	<b>43</b>
4.2.1.	Precipitación.....	43
4.2.2.	Infiltración.....	44
4.2.3.	Evapotranspiración.....	48
4.2.4.	Recarga hídrica.....	50

4.2.5.	Escorrentía superficial.....	51
<b>4.3.</b>	<b>Presupuesto de aguas</b> .....	51
4.3.1.	Oferta total hídrica.....	51
4.3.2.	Oferta disponible.....	51
4.3.3.	Demanda.....	52
<b>4.4.</b>	<b>Valoración económica ecológica</b> .....	54
4.4.1.	Valor de la productividad hídrica.....	55
4.4.2.	Valor de restauración de la subcuenca.....	59
4.4.3.	Valor del agua como insumo de la producción.....	61
4.4.4.	Valores económicos del servicio ambiental hídrico.....	66
<b>V.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>67</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	67
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	69
<b>VI.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>72</b>

## **Acrónimos**

AMSS	Área Metropolitana de San Salvador
Anda	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
CINTERPEDS	Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible
PLAMDARH	Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
UES	Universidad de El Salvador

## Resumen

Esta investigación es una valoración del agua que proveen los bosques y cafetales localizados en las zonas de recarga de la subcuenca del río Acelhuate. Los valores monetarios que se han obtenido como resultado constituyen precios de referencia que debieran pagar los usuarios del recurso hídrico como una forma de reconocer los servicios ambientales que generan los ecosistemas. Dichos valores se han estimado utilizando técnicas basadas en enfoques como el costo de oportunidad del uso de la tierra, cambio en productividad y excedente del consumidor; las cuales, en su conjunto, contribuyen a fundamentar (desde el punto de vista económico-ecológico) el “precio” por el uso del agua. Asimismo, ha sido necesario determinar y analizar las entradas y salidas de agua dentro de la subcuenca, mediante un presupuesto de aguas, fundamentado en los componentes básicos del ciclo hidrológico: precipitación, infiltración, evapotranspiración, recarga y escorrentía.

El cobro del servicio ambiental está en función de tres valores: captación hídrica (US\$0,008/m<sup>3</sup>), restauración de la subcuenca (US\$0,12/m<sup>3</sup>), y el valor del agua como insumo de la producción, diferenciado para cada sector de la economía. Así, el valor económico total estimado para el sector doméstico (residencial) es de US\$0,1353/m<sup>3</sup>, para el industrial de US\$0,2776/m<sup>3</sup>, para el comercial de US\$0,1696/m<sup>3</sup>, y para el agrícola de US\$0,1379/m<sup>3</sup>. Estos resultados pueden ser utilizados como valores de referencia ante los requerimientos de Política y Estrategia hídrica, así como para un eventual Anteproyecto de la Ley General de aguas, que impulsa el Gobierno de El Salvador.

**Palabras clave:** valoración económica, servicio ambiental hídrico, río Acelhuate, balance hídrico, canon de aguas.

## Abstract

This research is an assessment of the water provided by forests and coffee plantations located in recharge areas of the Acelhuate sub-basin. The Monetary values obtained are reference prices that should pay users of water resources as a way to recognize the environmental services generated by ecosystems. These values were estimated using techniques that are related to the opportunity cost of land use, change in productivity and consumer surplus; which, taken together, help to substantiate (from the economic-ecological approach) the “price” for water use. It has also been necessary to identify and analyze the inputs and outputs of water within the watershed through the water budget, based on the components of the hydrological cycle: precipitation, infiltration, evapotranspiration, recharge and runoff.

The payment of environmental services is a function of three values: water catchment (US\$ 0.008/m<sup>3</sup>), recuperation of the sub-basin (US\$0,12/m<sup>3</sup>), and the value of water as a production input, differentiated for each sector economy. Thus, the total economic value for the domestic sector (residential) is US\$0,1353/m<sup>3</sup>, for industrial US\$0,2776/m<sup>3</sup>, for commercial US\$0,1696/m<sup>3</sup>, and for agriculture US\$0,1379/m<sup>3</sup>. These results can be used as reference values to the requirements of water policy and strategy, as well as a possible General Water Law, promoted by the Government of El Salvador.

**Keywords:** economic valuation, environmental water services, Acelhuate river, water balance, water canon.

## I. Introducción

La valoración económica de los servicios ambientales que generan los ecosistemas, consiste en la identificación y cuantificación física y monetaria de los beneficios que recibe la sociedad, provenientes de los recursos naturales que se alojan en esos territorios, y surge debido a que los mercados no incorporan ni otorgan un precio a dichos servicios. Esto es lo que ocurre en la subcuenca del río Acehuate, localizada en la región hidrográfica A (río Lempa), en donde, a pesar de los elevados niveles de contaminación, aún se localizan importantes áreas ocupadas por bosque y cafetales que posibilitan la infiltración, haciendo que el recurso hídrico esté disponible para distintos usos por la sociedad.

La presente investigación utilizará algunos métodos para establecer un valor económico y ecológico al servicio ambiental de los ecosistemas antes referidos, el cual puede ser considerado como un “precio” por el uso del agua que provee la cobertura arbolada localizada en las zonas de recarga de la subcuenca del río Acehuate. Dicha valoración y cobro por el valor del agua se sustenta en el hecho de que para alcanzar una gestión integral del agua y sostenibilidad en su provisión, se requiere que los sectores económicos del territorio internalicen en sus costos, el valor monetario del servicio ambiental que brindan los ecosistemas.

Para alcanzar el objetivo de la investigación se ha desarrollado una metodología que consta de tres etapas, las cuales conducirán a la determinación del valor promedio del servicio ambiental provisto por los ecosistemas antes mencionados. Dichas etapas son: (i) estimación del **balance hídrico**; (ii) cálculo del **presupuesto de aguas**; y (iii) **valoración económica ecológica** del servicio hídrico.

Finalmente, los resultados obtenidos se colocan en perspectiva con base en el contexto de la Política nacional del recurso hídrico, la Estrategia nacional de recursos hídricos y el Anteproyecto de la Ley General de aguas, que impulsa el Gobierno de la República de El Salvador, a fin de recomendar el uso de las metodologías de valoración económica de servicios ambientales provistos por los ecosistemas forestales y agroforestales, en función del cobro de un canon por aprovechamiento de agua como mecanismo de financiamiento de la gestión integrada del recurso hídrico.

## II. Marco teórico

El marco teórico desarrolla los conceptos de dos aspectos fundamentales de esta investigación; por un lado, se presenta la teoría de la valoración económica, cuya base es la teoría económica puesta a disposición de los tomadores de decisión, respecto al flujo de bienes y servicios que brindan los ecosistemas naturales, los cuales, no poseen un valor de mercado. Por otra parte, se abordarán las principales ideas establecidas en torno a los servicios ecosistémicos (más comúnmente conocidos como servicios ambientales), definidos como aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas, que para el caso estarían referidos al servicio hídrico generado por los ecosistemas presentes en las zonas de recarga de la subcuenca del río Acelhuate.

### 2.1. Valoración económica

La valoración económica se ocupa de la asignación de un valor monetario a los beneficios y costos que se producen cuando existen cambios en la integridad de los servicios ambientales que generan los recursos naturales, lo cual constituye una necesidad, en vista de que el mercado no asigna un precio a dichos servicios, ni a las alteraciones que éstos sufren por efecto, entre otras causas, de la intervención humana.

Al considerarse a los servicios ambientales, según Balmford et al. (2008), como “*la capacidad de los componentes y procesos naturales en proveer bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas*”, se hace imprescindible la aplicación de criterios económicos que permitan valorar en el mercado dicha satisfacción humana. No obstante, es bueno aclarar que cualquier metodología de valoración económica no estima el valor *per se* de un recurso natural (bosque, agua, suelo, aire, biodiversidad, entre otros), pues cualquier resultado subestimaría dicho valor; más bien, lo que se obtiene como resultado son tres posibles valores que asigna el ser humano (sociedad) a un activo natural: (i) el valor por la existencia de un recurso natural; (ii) el costo de su restauración; o bien, (iii) el costo de que un recurso natural no se encuentre disponible para su aprovechamiento.

### **2.1.1. Las fallas del mercado y la valoración económica**

De acuerdo con los párrafos anteriores, el precio de mercado es una buena aproximación del valor económico otorgado por la sociedad a un bien o servicio de acuerdo a la teoría económica, la cual establece que ese precio representa la escasez del bien en la economía, y su valor social (Penna, Prada y Cristeche, 2011). No obstante, tanto las *externalidades*, como los *bienes públicos* (entre otros aspectos) no permiten que el sistema de precios represente de forma adecuada el valor económico de un bien o servicio ambiental desde el punto de vista social, lo cual constituye una *falla de mercado* (Baumol y Oates, 1988).

- **Externalidad económica**

Una externalidad económica es el efecto indirecto de las actividades de consumo o producción; es decir, los efectos sobre agentes distintos al originador de tal actividad (y) que no funcionan a través del sistema de precios (Moreno, 1995). En otras palabras, una externalidad se hace presente cuando un actor o varios perciben los efectos favorables (externalidad positiva) o perjudiciales (externalidad negativa) del accionar de una o varias empresas (o individuos) sin que medie una transacción comercial (Penna et al. 2011).

En términos ambientales, la externalidad negativa se produce cuando uno o varios individuos, en sus actividades de producción o consumo, provocan un daño a un recurso natural del cual la sociedad recibe un servicio ambiental, y éstos no asumen el costo provocado por la pérdida de bienestar generada. Por el contrario, una externalidad positiva se hace presente cuando las actividades de producción contribuyen al bienestar de la sociedad en tanto que existe un efecto positivo sobre la integridad de un recurso natural que magnifica el servicio ambiental que éste produce. Por lo tanto, saber identificar las externalidades y poder cuantificar su valor es una tarea fundamental de la valoración económica.

- **Bienes públicos**

El bien público es considerado un caso especial de externalidad (FAO, 2002), y que también está asociada a los ecosistemas y los servicios que éstos proveen; no así un bien privado, que excluye a la sociedad de los beneficios que genera su producción, a menos que se pague por el precio de mercado (en un escenario de competencia), que en definitiva representa el valor que la sociedad asigna a dicho bien.

Respecto a los bienes públicos, al tratarse de un consumo colectivo, no debiera suponerse la reducción de su disponibilidad para resto de la sociedad, por lo que en la medida en que se ponga a disposición de un agente un bien o servicio público, automáticamente está disponible, a costo cero, para otro agente a quien no se puede excluir –por cuanto tiene «derecho» como ciudadano a exigir su prestación y a proceder a su uso, en calidad de usuario, y disfrute (Bartolomé, 1999).

Según establece Ingeniería Sin Fronteras y Prosalus en su publicación “Derecho al agua” (publicada en 2008), “*los bienes públicos son –puros– cuando sus beneficios son –no rivales– y –no exclusivos–, pero si cumplen sólo parcialmente uno o ambos criterios serán bienes públicos –impuros–*. Siendo así, el agua es un recurso natural con la característica de un bien público impuro, en tanto que su consumo es no exclusivo pero sí rival, ya que su utilización reduce la posibilidad de que el resto de la sociedad perciba el beneficio de su aprovechamiento<sup>1</sup>.

Estas características de los bienes públicos suponen que el valor que el mercado les asigna es inferior a su valor social, ya que los consumidores no tienen incentivos para revelar su verdadera disposición a pagar por los mismos (situación “polizón” o *free rider*). En tal sentido, la oferta de estos bienes públicos en el mercado es menor a la socialmente deseable, a no ser que se contemplen otros mecanismos para reconocer su valor de una manera más apropiada (Penna et al. 2011).

Ante estas imperfecciones de mercado, la valoración económica intenta aproximarse al valor “real” que la sociedad otorga a los servicios ambientales, y que no se refleja apropiadamente por el sistema de precios del mercado. La incorporación de este aspecto en la toma de decisiones podría contribuir al uso eficiente de los servicios ambientales; y por lo tanto, a frenar y revertir la pérdida de los ecosistemas que los generan (Kroeger y Casey, 2007).

### **2.1.2. Importancia de la valoración económica**

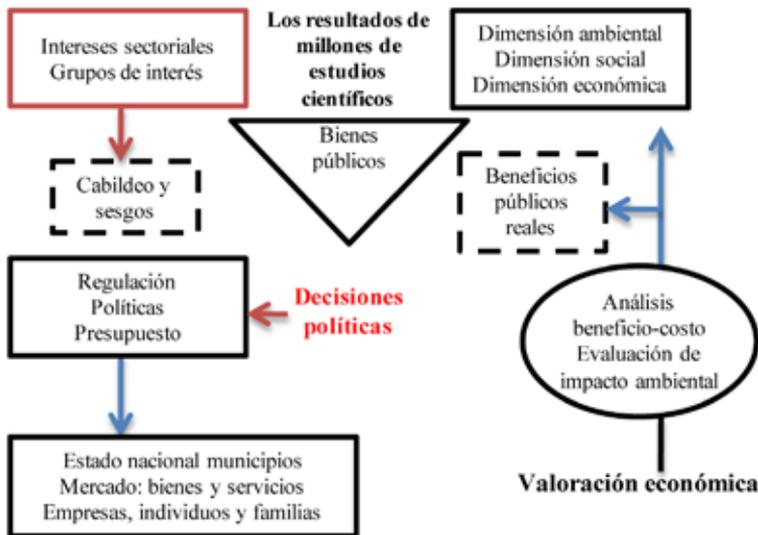
La Figura 2.1 ilustra el rol que juega la valoración económica de los servicios ambientales en el proceso de toma de decisiones, siendo fundamental la transformación de datos e información en decisiones políticas y legales,

---

<sup>1</sup> El término rival proviene del latín *rivus*, arroyo o riachuelo. Su origen etimológico está vinculado al agua. Un rival era alguien que utilizaba la misma fuente de agua que los de la orilla opuesta y de ahí surgía la idea de peligro, de rivalidad.

para definir regulaciones, controles fiscales y otros instrumentos de política. Asimismo, se muestra como la investigación y los resultados obtenidos por estudios científicos son puestos a disposición para el proceso de toma de decisiones, lo que confirma el hecho de que el conocimiento científico constituye un bien público disponible para los tomadores de decisiones (Penna et al. 2011).

Figura 2.1. Esquema de toma decisiones públicas



Fuente: Adaptado de Penna, J., de Prada, J., y Cristeche, E. (2011).

Señalado con el rectángulo rojo se incluye a los actores de la sociedad que tienen capacidad de cabildeo que tratan de sesgar las decisiones de política a favor de sus intereses particulares. En el extremo derecho de la figura se muestra cómo la valoración económica desarrollada de manera objetiva e imparcial (en forma independiente de los grupos de interés) debe contribuir mediante el análisis beneficio-costos a reconocer el valor real de los bienes y servicios que se ven afectados por la toma de decisiones. En ese mismo orden de ideas, la evaluación del impacto ambiental intenta generar información que evidencia cómo las distintas líneas de acción afectan al ambiente. Tanto el análisis beneficio-costos como la evaluación de impacto ambiental sistematizan datos, conocimiento científico, y las posibles incertidumbres para convertirlos en información organizada y útil, disponible (en tiempo razonable) para los tomadores de decisión.

En este contexto, la función principal de la valoración económica es colaborar con los tomadores de decisiones políticas mediante la inclusión de la dimensión económica en sus análisis. Según Moreno (2001), los resultados obtenidos en el proceso de valoración económica tienen varias posibles aplicaciones, tales como: (i) regulación ambiental por parte de instituciones públicas; (ii) cuantificación de impactos ambientales y posibles medidas de mitigación de actividades, obras o proyectos; (iii) cuantificación de beneficios socioeconómicos del aprovechamiento de recursos naturales; y (iv) cuantificación de costos de restauración de ecosistemas.

### **2.1.3. Métodos de valoración económica**

El eje central de los métodos de valoración económica de servicios ambientales es la estimación de la disposición a pagar (DAP) o a aceptar (DAA) que posee la sociedad por dichos servicios (Moreno, 2001). Lo que se busca entonces es un indicador de la intensidad de las preferencias de los individuos con respecto a dichos servicios ambientales, a partir de la misma información que proporciona el mercado con respecto a los bienes privados (Cristeche y Penna, 2008).

Según establece Azqueta (2002), algunos métodos intentan valorar las preferencias de los individuos a través de las relaciones (de sustitución o complementariedad) que existen entre los servicios ambientales y otros bienes privados, en el marco de una determinada función de producción, ya sea de bienes o servicios, o de utilidad. Este tipo de métodos se denominan de “preferencias reveladas” o indirectos. Por otra parte, cuando se intenta valorar las preferencias de los individuos al plantear la existencia de mercados hipotéticos, el método recibe el nombre de “preferencias declaradas” o directos (Azqueta, 1994).

Los métodos de preferencias reveladas suelen clasificarse como: (1) costos evitados o inducidos; (2) costo de viaje; y (3) precios hedónicos. Por su parte, el método directo más conocido es el de valoración contingente, al que se le agregan un conjunto de variantes en la literatura empírica (Freeman III, 1993). En la tabla 2.1 se presenta una breve descripción de cada uno de estos métodos. De acuerdo con Mitchell y Carson (1989), la valoración contingente es un método basado en la declaratoria de preferencias<sup>2</sup> que expresa la

---

<sup>2</sup> Generalmente, esta declaratoria se expresa en una encuesta o entrevista.

“disposición a pagar” por el nivel de bienestar producido al aprovechar (o no) el servicio ambiental que genera un recurso natural (en cantidad y calidad). Dicha disposición se expresa en unidades monetarias, y representa la cantidad máxima de pago.

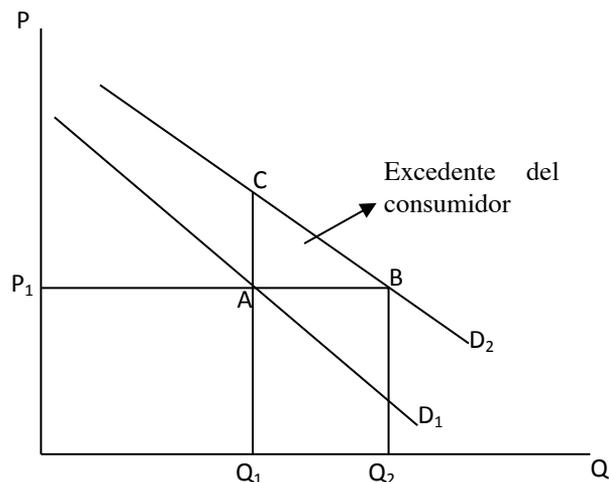
Con base en la disposición de pago surge el enfoque de **excedente del consumidor**, el cual considera el análisis de la demanda de un recurso natural (como puede ser el agua). De acuerdo con Barrantes y Vega (2002), la aproximación del valor económico del agua se basa en los beneficios sociales que se derivan cuando hay un cambio en la oferta total del recurso, debido fundamentalmente a un incremento en la demanda.

Tabla 2.1. **Métodos de preferencias reveladas**

Costos evitados o inducidos	Costo de viaje	Precios hedónicos
De acuerdo con Turner, R., Pearce, D. y Bateman, I. (1993), los costos evitados o inducidos incluyen a los métodos de <b>“cambio en productividad”</b> y <b>“costo de reemplazo”</b> y <b>“costos de oportunidad”</b> , los cuales (según Penna et al., 2011) están basados en el costo de conservación del ambiente.	El objetivo del método es estimar cómo cambia la demanda del bien ambiental ante variaciones en el costo de disfrutarlo. Dicha información permite estimar una curva de demanda del bien y, a partir de esa estimación, se pueden analizar los cambios en el excedente del consumidor que una modificación en el bien produciría (Sánchez, 2008).	Se basan en la diferenciación de los recursos naturales por su calidad ambiental, la cual puede valorarse a precios de mercado, siendo útil también la medición de la disponibilidad a pagar de las personas por dicha característica (Urtecho, 2011).

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2.1. Curvas de demanda para el análisis del valor económico del agua usando el excedente del consumidor



Fuente: Barrantes y Vega (2001).

Según Barrantes y Vega (2001), “la determinación de la elasticidad precio de la demanda es un aspecto fundamental para la aplicación de este enfoque, con lo cual se podría obtener la disponibilidad de pago del consumidor del recurso hídrico”.

Calles (2003) afirma que esta elasticidad mide la respuesta del consumidor cuando el precio cambia, y su valor se puede obtener usando datos sobre precio y consumo; o bien, este mismo autor señala que se puede adoptar un parámetro estimado para otra población con características similares.

Tomando en consideración el gráfico 2.1, cuando existe evidencia de crecimiento poblacional o desarrollo económico, la demanda de agua se desplaza de  $D_1$  a  $D_2$ , y si el precio  $P_1$  (inicial) se mantiene constante, el valor neto o excedente de la sociedad por el incremento en la oferta de agua será el área  $ABC = BCQ_1Q_2 - ABQ_1Q_2$  (Calles, 2003).

Debe tenerse en cuenta que dependiendo del método seleccionado de valoración económica así será el resultado que se obtendrá respecto al valor del servicio o bien ambiental analizado, lo cual es de suponerse ya que se trata de preferencias de personas y distintas actividades que afectan el flujo de esos bienes y servicios, por lo que resulta claro que los métodos

detallados anteriormente sólo logran valorar algunas categorías del valor económico total de los servicios ambientales. Por ello, algunas veces, las comparaciones de resultados no son recomendables si se desea evaluar un método respecto a otro.

Lo que sí es recomendable es definir los alcances y limitaciones de cada método de valoración, y no generar mayores expectativas acerca de los resultados que un método es capaz de generar, sin que esto desestime la relevancia de la información obtenida para la toma de decisiones.

## **2.2. Servicios ecosistémicos**

En 1970 surge el concepto de servicios ecosistémicos, a partir del movimiento ambientalista de los Estados Unidos (Daily, 1997); al cual se suma la conceptualización creciente de la naturaleza hecha por Odum (1989) bajo la idea de “conjuntos de sistemas integrados”; así, la definición se expresa en los siguientes términos: los servicios ecosistémicos son los componentes y procesos de los ecosistemas que son consumidos, disfrutados o que conducen a aumentar el bienestar humano tomando en cuenta la demanda de los beneficiarios, así como la dinámica de los ecosistemas (Quijas, S., Schmid, B. y Balvanera, P. 2010 ).

Según Balvanera *et al* (2009), este enfoque se sugiere como una alternativa para mostrar que la conservación de los ecosistemas no es sólo una aspiración ética de la sociedad sino también una necesidad estrechamente ligada a la satisfacción de las necesidades básicas de la vida humana.

Tomando como base la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), se puede afirmar que los servicios ecosistémicos abarcan todos los beneficios que las sociedades humanas obtienen de los ecosistemas (Alcamo, 2003). Dicha evaluación establece que los beneficios que ofrecen los ecosistemas incluyen: (i) los bienes o recursos naturales como el agua o los alimentos; (ii) los procesos ecosistémicos que regulan las condiciones en los que los humanos habitan, como la regulación del clima o de la erosión; (iii) la contribución de los ecosistemas a experiencias que benefician directa o indirectamente a las sociedades, como el sentido de pertenencia o la recreación; y (iv) los procesos ecológicos básicos que permiten que se provean los anteriores.

Un caso particular de la provisión de bienes y servicios lo constituyen los ecosistemas de cafetal ubicados en las principales áreas de recarga de

El Salvador. De acuerdo con PROCAFE (2009) el cafetal se constituye estratégicamente en la mayor reserva boscosa productiva y generadora de servicios ambientales, tal como la mitigación del calentamiento global por medio de la Captura 13,178 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por día, manteniendo una reserva de 32,2 millones de toneladas de carbono y generación de oxígeno limpio (O<sub>2</sub>). Según esta institución, los cafetales también contribuyen a la retención de sedimentos y de nutrientes que protegen el suelo de la erosión, evitando el empobrecimiento de estos, y el azolvamiento de represas; además, regulan las precipitaciones, evitando que las escorrentías excesivas provoquen deslaves e inundaciones en los valles y zonas costeras.

Por otra parte, destaca la regulación del ciclo hidrológico del agua, favoreciendo la cantidad y distribución de las precipitaciones, alimentando las fuentes de agua superficiales como ríos, lagos y represas hidroeléctricas; y en el caso de los mantos acuíferos, enriqueciéndolos cada 60 minutos con 500 metros cúbicos de agua, aspecto que es clave para el abastecimiento de agua para el consumo humano; así como para el desarrollo de la agricultura y de la industria en general (PROCAFE, 2009).

En esta misma lógica, Jobbágy (2009) menciona que *“la biota en general, y en particular la estructura y la dinámica de la vegetación, influyen sobre procesos y atributos hidrológicos que antes se consideraban controlados sólo por variables abióticas; entre estas variables, al clima y a la topografía/litología se los consideraba reguladores principales”*. Este mismo autor establece que los atributos de un ecosistema forestado son capaces de influir sobre las tasas de infiltración de los suelos, y son particularmente sensibles a intervenciones como la labranza, el sobrepastoreo, el fuego, el tránsito de maquinarias, o la pavimentación, reduciendo considerablemente el direccionamiento de los excesos hídricos hacia vías subterráneas versus vías superficiales (escurrimiento), con un efecto fuerte sobre la temporalidad de los caudales de los ríos y las pérdidas de nutrientes y sedimentos. Con base en ello, no resulta difícil aceptar la idea de que los ecosistemas tienen una influencia directa en la cantidad y calidad del agua que fluye por una determinada región hidrográfica en un espacio temporal específico.

Tabla 2.2. **Infiltración del agua en terrenos con diferentes coberturas**

Tiempo en minutos	Cobertura boscosa		Cobertura bajo pasto		Suelo sin cobertura vegetal		Total (cm <sup>3</sup> )
	(cm <sup>3</sup> )	%	(cm <sup>3</sup> )	%	(cm <sup>3</sup> )	%	
5	60,00	69,52	21,00	24,33	5,30	6,14	86,30
10	119,00	67,70	45,80	26,05	11,00	6,26	175,80
30	360,00	68,90	127,00	24,31	35,50	6,79	522,50
60	715,00	69,55	250,00	24,32	63,00	6,13	1,028,0
<b>Promedio</b>		<b>68,92</b>		<b>24,75</b>		<b>6,33</b>	<b>0</b>

Fuente: Heuveldop et al., 1986

De hecho, según establece Costanza (1997) el servicio hídrico de los ecosistemas arbolados consiste en potenciar la infiltración de agua y hacerla disponible para que la sociedad disponga de ella mediante distintos usos. Por ello, Barrantes y Vega (2001) establecen que *“el bosque es un ente importante que beneficia a la sociedad a través de un flujo continuo y permanente de agua, lo cual requiere no sólo de reconocer el servicio ambiental como tal, sino también fijarle un precio y pagarlo”*.

Como muestra la tabla 2.2, en un terreno con cobertura boscosa se verifica una mayor eficiencia en la infiltración del agua al subsuelo (68,92%). Según Reynolds (citado por Barrantes y Vega, 2001), el volumen de recarga al subsuelo se favorece para aquellas áreas de la cuenca con mayor cobertura boscosa.

Por otra parte, el valor de infiltración neta en un bosque tropical se encuentra en un rango de 9.000 a 14.000 m<sup>3</sup>/ha/año, según CATIE (1997); mientras que CCT-CINTERPEDS (1995), demuestra mediante escenarios de escorrentía media anual, que los bosques son capaces de amortiguar “picos de agua”, a la vez que disminuyen su velocidad y mejoran su calidad, como puede verse en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. **Escenario de escorrentía media anual de algunas zonas de vida (m<sup>3</sup>/ha/año)**

Zona de vida	Cobertura bosque			Cobertura pasto		
	Total de agua por escorrentía	Calidad positiva	Calidad negativa	Total de agua por escorrentía	Calidad positiva	Calidad negativa
Tropical húmedo (T-w)	36.740,00	30.610,00	6.130,00	40.060,00	15.010,00	25.050,00
Premontano húmedo (P-w)	18.610,00	16.280,00	2.330,00	21.460,00	7.150,00	14.310,00
Premontano lluvioso (LM-r)	42.490,00	31.870,00	10.620,00	44.360,00	11.090,00	33.270,00
Premontano húmedo (LM-w)	16.870,00	15.330,00	1.540,00	18.900,00	6.880,00	12.020,00
Montano húmedo (M-w)	9.120,00	8.070,00	1.050,00	10.340,00	3.580,00	6.760,00
Montano lluvioso (M-r)	20.550,00	15.420,00	5.130,00	20.660,00	5.160,00	15.500,00
<b>Total</b>	<b>144.380,00</b>	<b>117.580,00</b>	<b>26.800,00</b>	<b>155.780,00</b>	<b>48.870,00</b>	<b>106.910,00</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>100,00</b>	<b>81,44</b>	<b>18,56</b>	<b>100,00</b>	<b>31,37</b>	<b>68,63</b>

Fuente: CCT-CINTERPEDS, 1995.

Finalmente, un aspecto trascendental de los servicios hídricos consiste en su apropiación territorial; mientras algunos servicios ecosistémicos, tales como la oferta de leña o la protección del suelo, se generan y se apropian en la escala de lote o unidad productiva; otros, como la regulación de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, pueden generarse en territorios muy distantes pero se apropian a nivel global (Jobbágy, 2009). En cambio, los servicios hidrológicos se ubican entre ambos extremos, ya que las

acciones sobre los ecosistemas de una parcela contribuyen a generar cambios en la cantidad y la calidad del agua de toda la cuenca a la cual pertenecen. De esta forma, los productores agrícolas localizados en la cabecera de una cuenca pueden generar mayor riesgo de inundación a productores (y el resto de la población) en zonas bajas, o también generar un efecto no deseado sobre la disponibilidad de agua potable en centros urbanos.

### III. Metodología

Es preciso apuntar que el proceso metodológico de esta investigación está basado en las valoraciones económicas ecológicas que han elaborado Gerardo Barrantes y Mauricio Vega (desde el año 2000), fundadores del Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS) en Costa Rica, las cuales han provisto de información para tomadores de decisión en ministerios, instituciones descentralizadas (públicas y privadas), y otros organismos interesados en el desarrollo sostenible de Costa Rica y Latinoamérica.

Esta metodología también ha sido utilizada en el país en el año 2003 para el diseño de la investigación denominada “*Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca alta del río lempa y su aplicación en el ajuste de la tarifa hídrica del área metropolitana de San Salvador, El Salvador*”<sup>3</sup>, con el objetivo de proponer un ajuste de la estructura tarifaria hídrica de ANDA en el área metropolitana de la capital salvadoreña, dentro del marco de pago por servicios ambientales para el manejo sostenible del recurso hídrico.

Entonces, para cumplir con el objetivo de esta investigación, la metodología a aplicar consta de tres etapas, las cuales conducirán a estimar el valor promedio del servicio ambiental que proveen los ecosistemas localizados en las zonas de recarga de la subcuenca del río Acelhuate (ver figura 3.1). Dichas etapas son: (i) estimación del **balance hídrico**, cuyo objetivo principal es hacer una evaluación cuantitativa de las entradas y salidas del agua en el ciclo hidrológico; (ii) cálculo del **presupuesto de aguas**, es decir, la cuantificación física de la oferta y la demanda de la subcuenca; y (iii) **valoración económica ecológica** del servicio ambiental hídrico.

#### 3.1. Balance hídrico

El balance hídrico consiste en la determinación y análisis de las entradas y salidas de agua dentro de un área determinada cuenca hidrográfica, a través de los componentes básicos del ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, recarga y escorrentía, los cuales se explican como sigue:

---

3 J. Calles (2003). Tesis para optar el título de Magister Scientiae del CATIE.

### 3.1.1. Infiltración

En la presente investigación se utilizará la fórmula de correlación estadística desarrollada por Gunther Schosinsky y Marcelino Losilla (1999), en donde la velocidad de infiltración del suelo representa el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Dicha velocidad equivale a la capacidad de infiltración, y depende básicamente de las características físicas del suelo, como lo son la textura, estructura y compactación.

La pendiente del terreno, la vegetación existente y el tipo de suelo, son las condiciones que determinan la cantidad de precipitación que infiltra, y que además constituyen el coeficiente de infiltración, expresado por la siguiente fórmula:

$$I = 0,88 \times C \times P \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

I: Infiltración anual (mm/año).

C: Coeficiente de infiltración.

P: Precipitación (mm/año).

Los valores de precipitación mensual son evaluados de acuerdo a la ecuación 1, donde se determina la cantidad de precipitación mensual que infiltra (P). El coeficiente de infiltración se determina a partir de la sumatoria de cada uno de los parámetros asignados, así:

$$C = K_p + K_v + K_{fc} \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

$K_p$ : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno (valores propuestos en la metodología).

- $K_v$ : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (valores propuestos en la metodología de acuerdo al tipo de uso del suelo).
- $K_{fc}$ : Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo.

A su vez, el coeficiente  $K_{fc}$  se calcula a partir de la capacidad de infiltración básica del suelo, de la siguiente manera:

$$K_{fc} = 0,267 \ln(fc) - 0,000154fc - 0,723 \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

$f_c$  : Infiltración básica del suelo (mm/día).

Para conocer  $K_p$  se debe crear el modelo de elevación digital de la subcuenca a partir de las curvas de nivel (a cada 10 m); con lo cual, se obtiene el mapa de pendientes clasificadas de acuerdo a los rangos propuestos por la metodología. De la misma forma, el factor  $K_v$  de índices de cobertura vegetal se genera a partir del mapa de uso de suelo, elaborado por la Universidad de El Salvador (Facultad de Ciencias Agronómicas) y PROCAFE, basado en Imágenes ASTER 2010. Los valores asignados para estos coeficientes se detallan en la tabla 3.1.

**Figura 3.1. Proceso metodológico de investigación**



Debe aclararse que para el caso de zonas urbanas, la metodología supone un 20% de área destinada a calles, y un 80% correspondiente a construcciones; las áreas verdes en estas superficies equivale al 5% y 30%, respectivamente. Por lo tanto, el área con vegetación en zona urbana es del 25%, a la cual se le asigna un coeficiente  $K_v$  de 0,21. Ahora bien, este valor se pondera para todos los tipos de área urbana de la tabla 3.1, resultando un valor de 0,053.

El coeficiente  $K_{fc}$  se calcula tomando en cuenta la distribución territorial de la textura que poseen los miembros geológicos presentes en la subcuenca, característica de los suelos que posibilita la infiltración de agua. Según establece Schosinsky y Losilla, en las áreas urbanas deberá considerarse que un 25% de la superficie no es impermeabilizada. Los valores seleccionados para este coeficiente se muestran en la tabla 3.1.

Una vez obtenidos los valores de  $K_p$ ,  $K_v$  y  $K_{fc}$ , es posible determinar el coeficiente de infiltración “C” utilizando la ecuación (2), la cual considera la suma de los coeficientes respectivos; y de esa forma, se puede mostrar su distribución en la subcuenca del río Acelhuate.

**Tabla 3.1. Coeficientes de infiltración propuestos**

Por pendiente	Coficiente propuesto
Muy plana: 0,02% - 0,06%	0,3
Plana: 0,3% - 0,4%	0,2
Algo plana: 1% - 2%	0,15
Promedio: 2% - 7%	0,1
Fuerte: Mayor de 7%	0,06
Por cobertura vegetal	
Escombreras, vertederos y rellenos sanitarios	0,10
Aeropuertos	0,09
Bosque	0,20
Café	0,19
Caña de azúcar	0,10
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,15
Granos básicos	0,10
Instalaciones deportivas y recreativas	0,10

Mosaico de cultivos y pasto	0,10
Otros cultivos irrigados	0,10
Pastos cultivados	0,10
Pastos naturales	0,10
Plantaciones de bosque mono-específico	0,20
Playas, dunas y arenales	0,07
Praderas pantanosas	0,05
Lavas	0,09
Tejido urbano continuo	0,05
Tejido urbano discontinuo	0,10
Tejido urbano precario	0,90
Tejido urbano progresivo	0,10
Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural	0,15
Vegetación arbustiva baja	0,20
Vegetación esclerófila	0,09
Vegetación herbácea natural	0,10
Zonas comerciales o industriales	0,09
Zonas de extracción minera	0,09
Zonas de construcción	0,09
Zonas quemadas	0,10
Zonas verdes urbanas	0,21
<b>Por textura del suelo</b>	
b1	0,2864
b3	0,2864
c1	0,7384
c2	0,2864
c3	0,2864
Qf	0,7384
s1	0,7384
s2	0,9970
s3'a	0,6358
s4	0,7384

Fuente: Duarte, 1998. Schosinsky y Losilla (2000)

Tal y como lo establece la ecuación (1), la determinación de la cantidad de agua que infiltra en una zona determinada depende principalmente del coeficiente de infiltración “C”, y se encuentra directamente relacionada con la precipitación que tiene lugar en el sitio (Barrantes y Vega, 2001). Por lo tanto, la precipitación en el territorio investigado se obtiene del promedio de lluvia reportada en un lapso de 10 años que registran las estaciones pluviométricas localizadas dentro de la subcuenca.

Según Schosinsky y Losilla (2000), del total de la precipitación que llega a la superficie de la tierra, una fracción de ella se infiltra, otra escurre, y una pequeña cantidad queda en charcos que terminan evaporándose o infiltrando. La única fracción de lluvia con potencial de infiltración es la que llega al suelo (12%), la otra es interceptada por el follaje de las plantas (Barrantes y Vega, 2001); por lo tanto, el volumen efectivo de lluvia que entra en contacto con el suelo equivale al 88% de la precipitación (Calles, 2003).

### 3.1.2. Evapotranspiración

El balance hídrico no estará completo sin la cuantificación del agua que está relacionada con el proceso de evapotranspiración real ( $ET_r$ ), el cual conlleva a una pérdida hídrica de la subcuenca, ya que supone la evaporación (transformación de agua líquida a gaseosa), y traspiración (retorno del agua absorbida por la vegetación), por factores como la temperatura y la radiación solar, entre otros (Reynolds, 1997).

Para estimar el volumen de evapotranspiración real es necesario partir de la evapotranspiración potencial ( $ET_p$ ), que es registrada por estaciones climatológicas localizadas dentro de la subcuenca, y para la cual se dispone de series históricas de al menos 10 años. Cuando se ha calculado  $ET_p$  se utiliza la ecuación 4 para relacionarla con la evapotranspiración real, sobre la base de lo que establecen las asociaciones climáticas del Sistema de zonas de vida de Holdridge (Calles, 2013):

$$ET_r = \begin{cases} \left[ 7,46 \left( \frac{ET_p}{\bar{P}} \right)^3 - 10,46 \left( \frac{ET_p}{\bar{P}} \right)^2 + 4,63 \left( \frac{ET_p}{\bar{P}} \right) - 0,27 \right] ET_p & \text{Si } 0,06 \leq \frac{ET_p}{\bar{P}} \leq 0,45 \\ \left( 1,12 - \frac{0,44 ET_p}{\bar{P}} \right) ET_p & \text{Si } 0,45 \leq \frac{ET_p}{\bar{P}} \leq 1,5 \end{cases}$$

ecuación (4)

Donde:

$ET_r$ : Evapotranspiración media real (mm/año)

$ET_p$ : Evapotranspiración potencial (mm/año)

$\bar{P}$ : Precipitación promedio (mm/año)

### 3.1.3. Recarga hídrica

Una vez obtenido el valor de la infiltración potencial ( $I$ ) y de la evapotranspiración real ( $ET_r$ ), es posible determinar la recarga hídrica, dada por:

$$R = I - ET_r \quad \text{ecuación (5)}$$

Donde:

$R$ : Recarga hídrica (mm/año)

$I$ : Infiltración potencial

$ET_r$ : Evapotranspiración media real (mm/año)

### 3.1.4. Escorrentía superficial

Finalmente, se tienen los parámetros necesarios del balance hídrico en la subcuenca para obtener la escorrentía superficial, mediante la siguiente fórmula:

$$ESC_s = \bar{P} - I - R \quad \text{ecuación (6)}$$

Donde:

$ESC_s$ : Escorrentía superficial (mm/año)

$\bar{P}$ : Precipitación promedio (mm/año)

$I$ : Infiltración potencial (mm/año)

$R$ : Recarga hídrica (mm/año)

### 3.2. Presupuesto de aguas

El presupuesto de aguas debe ser considerado como una herramienta de gestión hídrica, ya que provee información acerca de las interacciones e interrelaciones entre el ser humano y el territorio hidrológico.

**Tabla 3.2. Presupuesto hídrico anual para la subcuenca del río Acelhuate**

	<b>Volumen mil. m<sup>3</sup>/año</b>
<b>Oferta</b>	
Total (precipitación)	OT
Disponibile	Od
Escorrentía superficial	ESC <sub>s</sub>
Recarga	R
<b>Demanda</b>	
Total	DT
Demanda ecológica	ET <sub>r</sub>
Demanda social	Q <sup>s</sup>
Agua superficial	E <sub>s</sub>
Agua subterránea	R <sub>s</sub>
<b>Excedente disponible</b>	
Escorrentía superficial	E <sub>s</sub>
Recarga	R <sub>s</sub>

Fuente: adaptado de Barrantes y Vega (2002)

Este presupuesto significa contabilizar la oferta y demanda de agua en la subcuenca del río Acelhuate, para lo cual deberán estimarse los volúmenes hídricos que están relacionados con el ciclo hidrológico<sup>4</sup> (como una relación atmósfera-tierra) y con la administración social del agua<sup>5</sup>, según lo establecen Barrantes y Vega (Calles, 2003).

<sup>4</sup> Explica, fundamentalmente, el proceso natural que mantiene una oferta de agua.

<sup>5</sup> Conocida también como ciclo hidrosocial, que explica la forma en cómo se administra la demanda de agua en el ámbito económico.

El ciclo hidrológico toma en consideración el agua que es utilizada por los ecosistemas para que éstos cumplan con sus funciones vitales. Descontando esta cantidad de agua, y la que regresa a la atmósfera por transpiración, se obtiene el volumen hídrico que tiene el potencial de infiltrar al suelo (agua subterránea disponible para los distintos usos económicos). El volumen restante será escurrido a través del sistema superficial conformado por ríos y quebradas, lo cual representa otra porción de agua disponible para actividades humanas, después de lo cual, se depositará en el mar, humedales u otros ríos de mayor caudal.

Por lo tanto, una buena gestión del agua contribuye a elevar el volumen del recurso, y con ello, aumentar el “*stock*” y el potencial económico de un territorio. En la tabla 3.2 se muestran los del presupuesto hídrico. Según Barrantes y Vega (2001), el excedente disponible en la subcuenca representa la “*diferencia entre la oferta hídrica disponible y los volúmenes de agua que efectivamente son utilizados por los usuarios*” (superficial y subterráneamente). La fórmula que desarrolla esta idea es:

$$E_d = O_d - D \quad \text{ecuación (7)}$$

### 3.2.1. Oferta total hídrica

El balance hídrico determinado en el paso anterior se utiliza para calcular la oferta hídrica, la cual está en función de la esorrentía superficial y la recarga hídrica. Por lo tanto, lo que corresponde inicialmente es cuantificar la precipitación que cae sobre la subcuenca del río Acelhuate, a partir de la siguiente expresión:

$$OT = \bar{P} \times A \quad \text{ecuación (8)}$$

Donde:

$OT$ : Oferta total hídrica en el área de importancia de la subcuenca ( $m^3/año$ )

$\bar{P}$ : Precipitación promedio en la subcuenca ( $mm/año$ )

$A$ : Área de la subcuenca ( $ha$ )

### 3.2.2. Oferta disponible

La oferta disponible se estima al descontar el volumen de evapotranspiración de la oferta total hídrica, constituida principalmente por la precipitación (lluvia). Este resultado representa el volumen de agua que tiene el potencial de abastecer a los distintos usuarios de la subcuenca. La oferta disponible se estima así:

$$Od = OT - ET \quad \text{ecuación (9)}$$

Donde:

*Od*: Oferta hídrica disponible en la subcuenca (m<sup>3</sup>/año)

*OT*: Oferta total hídrica en el área de importancia de la subcuenca (m<sup>3</sup>/año)

*ET*: Evapotranspiración en el área de importancia de la subcuenca (mm/año). Se calcula a partir de la ecuación 4.

La oferta disponible puede estar a disposición de los distintos usuarios de forma superficial, sub-superficial (agua que infiltra y alimenta manantiales) y subterránea. Con la ecuación 5 puede calcularse la recarga efectiva, equivalente al volumen de agua que penetra en el suelo y se transmite a horizontes inferiores, lo que constituye la primera respuesta del suelo ante la lluvia, una vez que éste ha retenido cierto volumen hídrico (Calles, 2003). Asimismo, la ecuación 6 permite determinar la escorrentía superficial, que sumado al valor del volumen anterior da como resultado la oferta de agua.

### 3.2.3. Demanda hídrica

La cantidad de agua utilizada en las distintas actividades de la sociedad corresponde a la demanda hídrica, la cual está en función del consumo que subyace (en parte) en el crecimiento poblacional y el dinamismo de la economía. Merret (1997) establece que la demanda hídrica también se ve afectada por el proceso hidrosocial de un país, sobre todo al hablar de agua para consumo doméstico. En El Salvador, con base en información del MARN (2013), más del 95% de las aguas residuales domésticas se descargan a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento, y muchas de las aguas residuales que salen de los escasos sistemas de tratamiento de aguas residuales no cumplen

con los límites de contaminación permitidos por la normativa vigente, ello está causando graves impactos a los cuerpos de agua que reciben dichas descargas.

Como parte de la demanda, también es fundamental el cálculo de las “fugas”, ya que constituyen un volumen de agua que se pierde sin ser aprovechada. En el país, de acuerdo con la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA, 2011) se reportan institucionalmente y por operadores descentralizados un 47% de pérdidas; es decir, agua que fue extraída del medio natural y potabilizada, pero no se facturó debido al deterioro y desperfectos en las redes de distribución, conexiones ilegales, entre otros factores.

Por lo anterior, la demanda total puede segmentarse en demanda natural (evapotranspiración), demanda social (consumo de sectores económicos), y fugas ocasionadas en el proceso de aprovechamiento de las aguas por los distintos sectores (Calles, 2003). La siguiente fórmula estima la demanda social en esos términos:

$$Q^s = \sum_{i=1}^n q_i + f \quad \text{ecuación (10)}$$

Donde:

$Q^s$ : Demanda social hídrica en la subcuenca ( $m^3/año$ ).

$q_i$ : Volumen de agua demandada por el sector  $i$  en la subcuenca ( $m^3/año$ ).

$f$ : Volumen de agua perdido por fugas en la subcuenca ( $m^3/año$ ).

Al adicionar la demanda natural (evapotranspiración) a la demanda social, estimada a partir de las ecuación (10), se tiene la demanda total, así:

$$DT = ET_r + Q^s \quad \text{ecuación (11)}$$

Donde:

$DT$ : Demanda total hídrica en la subcuenca ( $m^3/año$ ).

$ET_r$ : Evapotranspiración de la subcuenca ( $mm/año$ )

$Q^s$ : Demanda social hídrica en la subcuenca ( $m^3/año$ ).

### 3.3. Valoración económica ecológica

La valoración económica ecológica se plantea como la identificación y cuantificación física y monetaria de los beneficios generados por los ecosistemas localizados en la subcuenca del río Acelhuate, y que posibilitan la provisión del servicio ambiental hídrico, en tanto que contribuyen a la recarga de agua (Moreno, 2005). Según esta autora, la sociedad no otorga ni incorpora algún precio a ese servicio ambiental, o a los cambios producidos en él.

De acuerdo con la metodología propuesta por Barrantes y Vega (2001) para la valoración del agua como servicio ambiental de los ecosistemas boscosos y agroforestales (café) de la subcuenca, se requiere considerar los siguientes aspectos: (i) la función de captación hídrica; (ii) los costos de restauración de ecosistemas; y (iii) el agua como insumo de la producción.

#### 3.3.1. Captación hídrica de ecosistemas

Tanto bosques como cafetales presentes en la subcuenca del río Acelhuate poseen un importante valor de productividad, en función de los flujos de servicios ambientales (ecosistémicos) que generan. El valor de productividad de bosques y cafetales está en función (entre otros aspectos) del “*peso*” o importancia que la sociedad reconozca a este servicio, respecto a otros: tales como mitigación del calentamiento global, retención de sedimentos y nutrientes, regulación del régimen de lluvias, reducción del riesgo a inundaciones, recarga hídrica, conservación de biodiversidad, belleza escénica, entre otros (Martínez, 2008).

El agua captada cada año es la expresión tangible del servicio ambiental hídrico de bosques y cafetales de la subcuenca del río Acelhuate, incluyendo la posibilidad de mantener este flujo hídrico de forma continua, poniéndolo a disposición en las partes media y baja de la subcuenca (aún en ausencia de lluvias). Por estas razones se justifica su protección, y es en este punto en donde la valoración económica contribuye a ese propósito, mediante métodos que incorporan los costos de oportunidad de las actividades económicas que compiten y que puede cambiar el uso del suelo. Según Barrantes y Vega (2001), “*si se ve la productividad del bosque en términos económicos, entonces el no usar el suelo para otras actividades, se valora por la cantidad de agua captada por los ecosistemas, es decir, el costo de oportunidad de la agricultura y otros usos*”.

Por tal motivo, el enfoque de valoración económica que mejor se ajusta para estimar el valor de productividad hídrica del bosque y los cafetales es el

de costo de oportunidad, el cual se encuentra incluido dentro de los métodos denominados de “preferencias reveladas” o indirectos (Calles, 2003). En otras palabras, si la sociedad reconoce el valor de los ecosistemas por su productividad hídrica, se harán los esfuerzos necesarios para su restauración y conservación, además de respetar la vocación forestal de los suelos, orientando la ocupación del territorio para actividades económicas que toman en cuenta el potencial natural del terreno.

En términos operativos, esto sucede si se reconoce monetariamente a los propietarios de tierra con un valor pecuniario igual o mayor a la utilidad que éstos dejan de obtener por mantener una ocupación de suelo determinada, lo que es equivalente al costo de oportunidad del bosque y cafetales. A propósito, Barrantes y Vega (2001) sostienen que “*la transformación del uso del suelo a otros usos, solo es justificable cuando los ingresos anuales por los otros usos son mayores a los ingresos producidos por el pago de los servicios ambientales generados por estos ecosistemas*”. Si esto no ocurre, difícilmente los dueños de estas tierras verán en el bosque y el café actividad rentables, perdiéndose la oportunidad de ser productores de servicios ambientales pagaderos por la sociedad (Calles, 2003).

La metodología para valorar la capacidad del bosque y cafetales para potenciar la infiltración de agua, involucra lo siguiente: (i) el volumen anual de agua captada y fijada por los ecosistemas en las zonas de recarga de la subcuenca; (ii) el cálculo del costo de oportunidad del uso de la tierra en esas zonas; (iii) la ponderación de la importancia del bosque y el cafetal en términos de su productividad hídrica, al compararla con los otros servicios ambientales. Por lo tanto, la siguiente fórmula permite estimar el valor de captación de los ecosistemas bosque y cafetal:

$$VC = \frac{\alpha \beta Ab}{Oc} \quad \text{ecuación (12)}$$

Donde:

$VC$ : Valor de captación hídrica de ecosistemas (US\$/m<sup>3</sup>).

$\alpha$ : Importancia de los ecosistemas en la subcuenca en función de la cantidad y calidad de agua ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

$\beta$ : Costo de oportunidad de cualquier actividad económica que compite con los ecosistemas por el uso del suelo en la subcuenca (US\$/ha/año).

$Ab$ : Área bajo cobertura de bosque y café en la subcuenca (ha).

$O_c$ : Volumen de agua captada por bosques de la subcuenca ( $m^3/ha/año$ ).

### 3.3.2. Valor de restauración de ecosistemas

La gestión integral del recurso hídrico pasa por la restauración de ecosistemas claves para la protección del agua (tanto superficial como subterránea). El bienestar que logra la sociedad por el aprovechamiento del servicio ambiental hídrico puede ser valorado a partir de la estimación de los costos de restauración de las zonas de recarga hídrica en las cabeceras de cuencas, y su pago deberá constituir en una fuente de financiamiento de acciones de restauración y conservación de ecosistemas, principalmente bosque y cafetal.

Barrantes y Vega (2001) coinciden en que *“los costos incurridos en la restauración de ecosistemas incluyen salarios, cargas sociales de personal destinados a esa actividad, gastos en combustibles, transportes, infraestructura y otros costos de operación e incentivos utilizados para la protección ambiental”*. El costo de la restauración deberá ser reconocido y pagado hasta un escenario de restauración de cobertura forestal en zonas de recarga similar a las que éstas mantenía antes de ser degradadas.

No todos los costos responden al recurso agua, de manera que debe ponderarse el valor monetario en función únicamente de la protección hídrica; para ello, se necesita calcular las hectáreas a restaurar y sus respectivos costos por unidad de superficie. La siguiente fórmula es útil para ello:

$$VR = \frac{\delta C}{O_c} \quad \text{ecuación (13)}$$

Donde:

$VR$ : Valor de restauración de ecosistemas (US\$/ $m^3$ ).

$C$ : Costos de la actividad destinada a la restauración de la subcuenca (US\$/ha/año)

$\delta$ : Fracción del costo destinado a la restauración de ecosistemas en función del recurso hídrico de la subcuenca (%).

$O_c$ : Volumen de agua captada por bosques de la subcuenca ( $m^3/ha/año$ ).

### 3.3.3. Valor del agua como insumo de la producción

A razón de los múltiples usos que recibe el agua para satisfacer la demanda de los sectores económicos en la subcuenca, se deberán emplear diversas técnicas que permitan desarrollar esta valoración del agua. A continuación se presentan dicha valoración para los sectores doméstico, industrial y comercial:

- **Sector doméstico, industrial y comercial**

La estimación del valor del agua como insumo de la producción requiere una técnica que logre reflejar, de forma particular, las características de cada usuario; y sobre todo, se deberán establecer las diferencias del valor económico que posee el agua a nivel doméstico, industrial y comercial, aunque operativamente se deba proponer un valor promedio que deba ser reconocido por los usuarios del agua en dichos sectores.

La técnica utilizada en este caso se denomina “excedente del consumidor”, la cual hace referencia al nivel de bienestar (utilidad) que logra la sociedad (consumidores) cuando los niveles de oferta de un recurso (el agua) cambian, principalmente por efecto del crecimiento poblacional o el mismo desarrollo económico (Calles, 2003), por lo que se requiere estimar la “elasticidad precio” de la demanda, e indagar sobre la disponibilidad a pagar (DAP) de los usuarios del agua en los sectores en análisis.

Las curvas de demanda necesarias para establecer el valor del agua mediante la DAP se pueden obtener a partir de pares ordenados “precio-cantidad”, en el supuesto de una elasticidad precio de la demanda constante; para ello, se emplea la función de demanda Cobb-Douglas, cuya expresión es la que se muestra a continuación:

$$Q = k P^\varepsilon \quad \text{ecuación (14)}$$

Donde:

$Q$ : Volumen de agua (m<sup>3</sup>/mes).

$P$ : Tarifa financiera actual por el servicio de abastecimiento del agua (US\$/m<sup>3</sup>)

$k$ : Factor de proporcionalidad.

$\varepsilon$ : Elasticidad precio de la demanda

Cuando se conoce un par de puntos  $(Q, P_1)$  y la elasticidad  $\varepsilon$ , se determina  $k_1$  en el período 1 ( $D_1$ ), así:

$$k_1 = Q_1 P_1^{-\varepsilon} \quad \text{ecuación (15)}$$

Según Calles (2003), de la misma forma puede obtenerse una curva de demanda para un segundo período ( $D_2$ ), suponiendo una tasa de crecimiento  $r$ , ya sea por efecto del crecimiento poblacional, o sea por un aumento en la renta per cápita, de manera que se cumpla con  $k_t = k_1(1+r)^{t-1}$ , donde  $t$  representa cualquier otro período futuro.

Al obtener por lo menos dos curvas de demanda ( $D_1$  y  $D_2$ ), en un escenario en el que la oferta de agua tiende a aumentar (con una inminente subida en el precio del agua por el aumento en el costo de abastecimiento, del primero al segundo período), puede estimarse el nivel de bienestar social (excedente del consumidor) en el sector doméstico, industrial y comercial, a partir de la siguiente fórmula:

$$VA = \frac{P_1 \left( Q_2^{\frac{1}{\varepsilon} + 1} - Q_1^{\frac{1}{\varepsilon} + 1} \right)}{Q_1^{\frac{1}{\varepsilon}} \left( \frac{1}{\varepsilon} + 1 \right)} - P_2 (Q_2 - Q_1) \quad \text{ecuación (16)}$$

Donde,  $P_2 (Q_2 - Q_1)$  representa el costo social del abastecimiento adicional de agua.

- **Sector agrícola**

La valoración del agua en el sector agrícola se hará a partir del reconocimiento de que un incremento del rendimiento agrícola como efecto del riego, por lo que es denominada “cambio de productividad”. Si a ese cambio en producción se le asocia con su precio de mercado, se obtendrá una buena estimación del valor del agua que es utilizada en la agricultura (Calles, 2003). La información requerida para aplicar esta técnica se basa principalmente en

el registro de incremento en el rendimiento de los cultivos que utilizan riego. De ahí que si el rendimiento de un cultivo  $k$  registra alzas en su producción cuando está bajo riego, es decir:

$$P_k^{ag} = (p_k - c_k) \times q_k \quad \text{ecuación (17)}$$

Además:  $(Q_{riego}^k - Q_{secano}^k) - V_i$

Donde:

$P_k^{ag}$ : Costo del agua en la agricultura para el cultivo  $k$  (US\$/m<sup>3</sup>).

$p_k$ : Precio del producto  $k$  (US\$/Kg)

$c_k$ : Costo de producción bajo riego (US\$/Kg)

$q_k$ : Cambio en producción del cultivo  $k$  bajo riego (Kg/m<sup>3</sup>).

$Q_{riego}^k$ : Cantidad de producción del cultivo  $k$  bajo riego (Kg/m<sup>3</sup>).

$Q_{secano}^k$ : Cantidad de producción del cultivo  $k$  bajo riego (Kg/Ha).

$Q_{riego}^k$ : Cantidad de producción del cultivo  $k$  sin riego (Kg/Ha).

$V_i$ : Volumen de agua usado en riego del cultivo (m<sup>3</sup>/Ha).

### 3.3.4. Valor promedio para el agua

Para efectos de aplicación de un canon o tarifa hídrica, resulta conveniente estimar un valor “promedio ponderado” en lo que corresponde al agua como insumo de la producción para los sectores económicos analizados en esta investigación. Con ello, se obtiene un solo valor al que puede asociarsele datos de demanda hídrica y precios por unidad de volumen, utilizando la siguiente expresión matemática:

$$VP_a = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Q_i^d}{\sum_{i=1}^n Q_i^d} \quad \text{ecuación (18)}$$

Donde:

$VP_a$ : Valor promedio del agua como insumo de la producción (US\$/m<sup>3</sup>).

$P_i$ : Valor del agua como insumo en el sector  $i$  (US\$/m<sup>3</sup>)

$Q_i^d$ : Volumen de agua demandado en el sector  $i$  (m<sup>3</sup>/año)

## **IV. Resultados y discusión**

### **4.1. Caracterización del área de estudio**

La subcuenca del río Acelhuate se encuentra circunscrita dentro de la cuenca del río Lempa (Región Hidrográfica “A”), posee una superficie de 717,35 km<sup>2</sup> y presenta los siguientes límites geográficos: al norte con el margen derecho del Río Lempa, al sur con el complejo volcánico de la cordillera El Bálsamo, al oeste está determinado por el complejo volcánico del volcán San Salvador, correspondiente a la cadena volcánica central, y al este con la caldera volcánica de Ilopango y las subcuencas Copinolapa y Quezalapa (figura 4.1).

La topografía de la zona de estudio corresponde a una superficie ondulada, que comprende áreas de grandes elevaciones o pendientes y áreas de valles o planicies, lo cual se establece como condicionante para el sistema de drenaje natural existente, presentando ciertas quebradas de invierno, que pueden generar y transportar caudales de moderados a intensos, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones de la zona.

En lo que respecta al uso actual del suelo (figura 4.2), se puede establecer que en la subcuenca existen importantes áreas urbanas como el AMSS, la cual comprende los sectores urbanos de los municipios de Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán, San Salvador, Mejicanos, Ayutuxtepeque, Delgado, Apopa, Nejapa, Soyapango, Ilopango, San Martín y San Marcos, además extensiones importantes de tierras agropecuarias y de caña de azúcar (parte media y baja). Las áreas de interés hídrico están representadas por las zonas de bosque y cafetal. Los ecosistemas boscosos se localizan principalmente en el picacho y cerro Guazapa, aunque también se encuentran importantes fragmentos en las proximidades del cerro Nejapa y en el municipio de Aguilares.

**Figura 4.1. Localización de las zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Acelhuate**

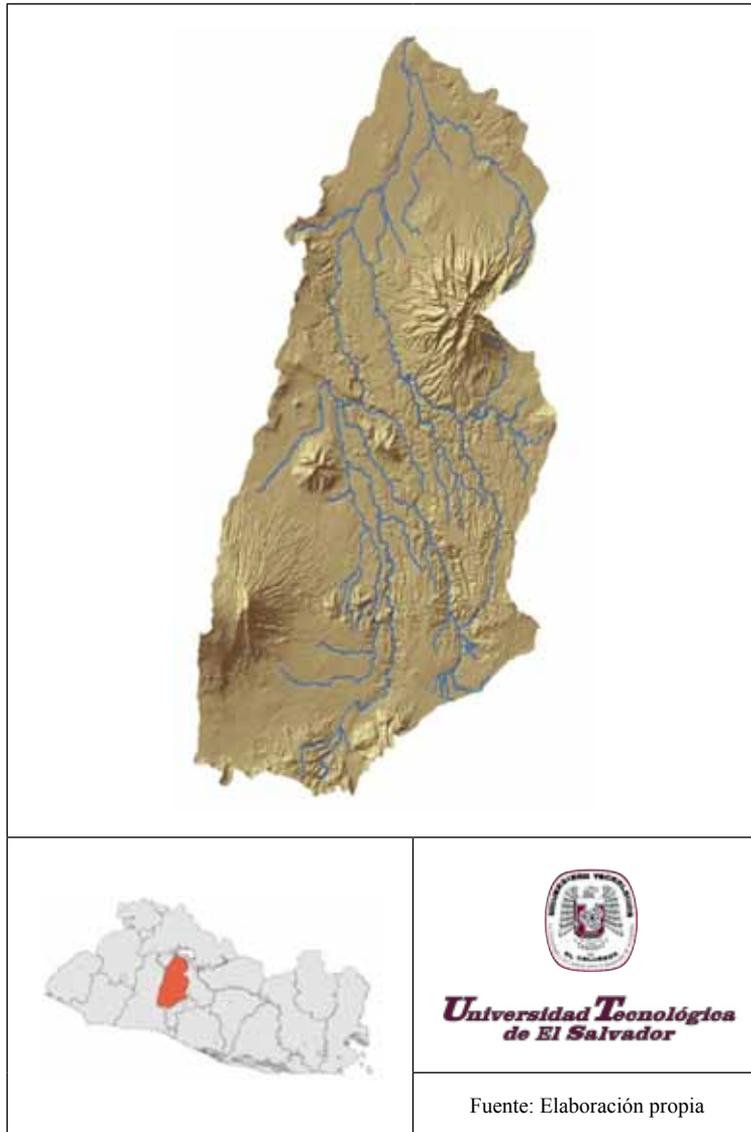
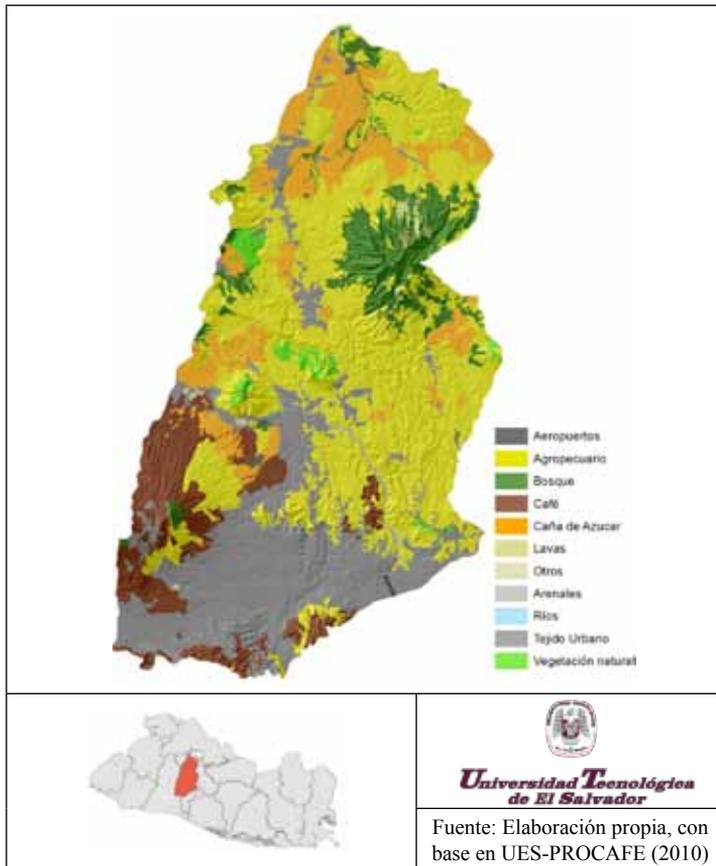
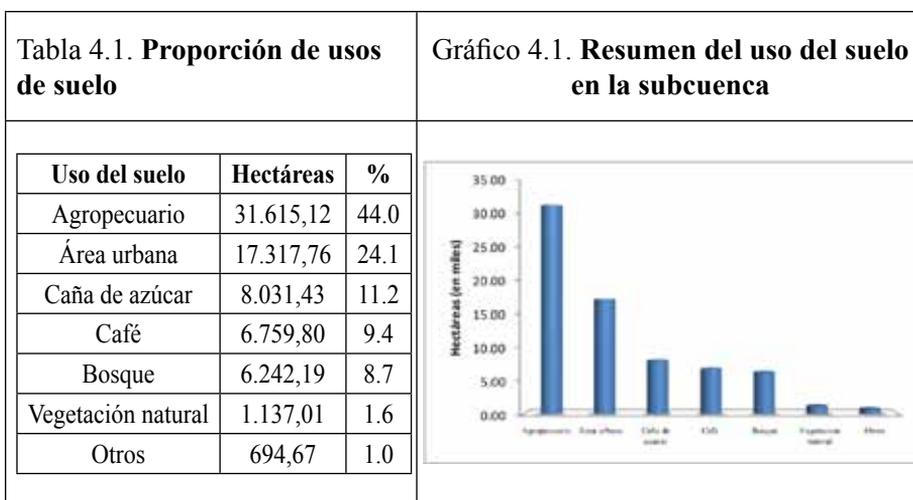


Figura 4.2. Uso del suelo en la subcuenca del río Acelhuate



Por su parte, los cafetales ocupan considerables extensiones del volcán de San Salvador y el Picacho, pudiendo también encontrarse en las zonas altas de los municipios de Antiguo Cuscatlán, San Salvador, San Marcos y Soyapango (cerro San Jacinto), y algunas áreas de Tonacatepeque.

Evidentemente, y así como lo muestra el gráfico 4.1, la subcuenca está ocupada en su mayoría por actividades agropecuarias (44%), seguida del uso urbano, con un 24% del territorio. Estas dos actividades son las que se encuentran compitiendo por el uso del suelo con los ecosistemas boscosos y cafetales, representando una seria amenaza a la provisión de servicios ambientales que generan, incluido el de abastecimiento (en cantidad, calidad y continuidad) del recurso hídrico.



Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Balance hídrico de la subcuenca

### 4.2.1. Precipitación

La precipitación está definida como todo producto líquido de la condensación o sublimación del vapor de agua que cae de las nubes o es depositado desde el aire en el suelo (Russi, 2012). Para su determinación en el balance hídrico, se emplean los reportes de 10 años de precipitación registrados por las estaciones S17 (Apopa INSINCA) y S21 (Finca Santa María); en seguida se presentan los datos documentados:

Tabla 4.2. Datos de precipitación de las estaciones pluviométricas en la subcuenca Acelhuate

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
S17	2,7	1,8	9,0	44,9	176,3	276,8	301,3	345,3	341,3	159,8	33,0	19,55	1.712
S21	2,76	0,89	9,65	64,26	164,3	335,3	382,1	415,6	379,9	205,5	33,42	14,31	2.008

Con base en esta información se establece que el volumen de precipitación promedio en la subcuenca es de 1.860 mm anuales.

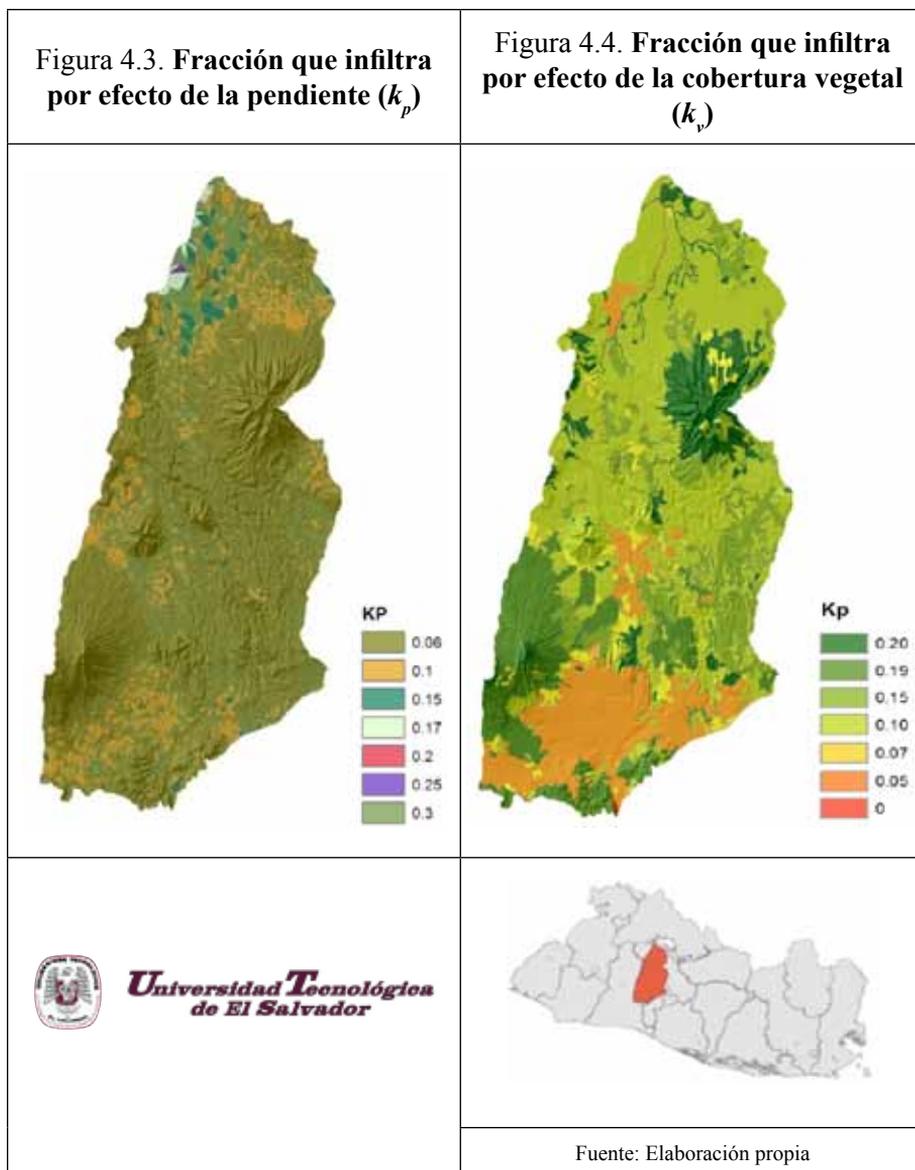
#### 4.2.2. Infiltración

La cantidad de precipitación que infiltra en el subsuelo, está condicionada por el factor de coeficiente de infiltración (según la ecuación 1), el cual está sujeto a las condiciones de pendiente del terreno ( $k_p$ ), vegetación existente ( $k_v$ ), y tipo de suelo ( $k_{fc}$ ). Los mapas de la figura 4.2 y 4.3 muestran la clasificación de pendientes y cobertura vegetal (respectivamente) de acuerdo a los rangos propuestos por la metodología de Schosinsky y Losilla (2000).

De acuerdo con la figura 4.3 más del 90% de la superficie de la subcuenca presenta pendientes mayores de 7%, por lo que el factor que depende de esta variable toma un valor de 0,06. Por otro lado, según el uso del suelo de la subcuenca, se obtienen los coeficientes de vegetación  $k_v$ , exhibidos en la figura 4.4; según la cual, la cobertura que ocupa mayor superficie es la correspondiente a los cultivos anuales asociados con cultivos permanentes, así como los terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural. Estos usos del suelo establecen una clara ocupación de la subcuenca en actividades agropecuarias, a las que corresponde un valor de  $k_v$  equivalente a 0,15.

Los ecosistemas boscosos y de café ocupan una importante superficie dentro del territorio, aunque menor que las actividades agropecuarias. El valor de  $k_v$  correspondiente a esta ocupación del suelo es de 0,19 y 0,20 respectivamente. Entre tanto, la superficie urbana de la subcuenca representa aproximadamente un 25%, a la cual se asocia un coeficiente de vegetación de 0,053.

El mapa del coeficiente  $k_{fc}$ , se elabora según la distribución territorial de la capacidad de infiltración que posee el suelo a lo largo de la subcuenca (figura 4.5). La zonificación con base en estos coeficientes, se realizó considerando los diferentes miembros geológicos que afloran en la zona de estudio (tabla 4.3).



En la superficie de la subcuenca sobresalen los materiales geológicos  $Q_p$ , s1 y s4, los cuales ocupan más del 50% del territorio; en la tabla 4.2 se presentan sus principales características. Seguido de este conjunto de miembros destacan b1, b3, c2 y c3, los cuales ocupan aproximadamente un 25% del territorio.

**Tabla 4.3. Descripción de los miembros geológicos en la subcuenca Acelhuate**

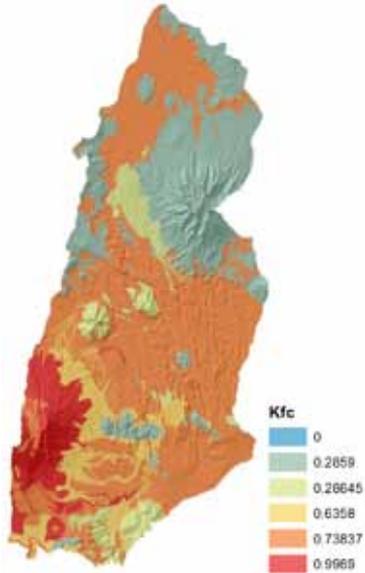
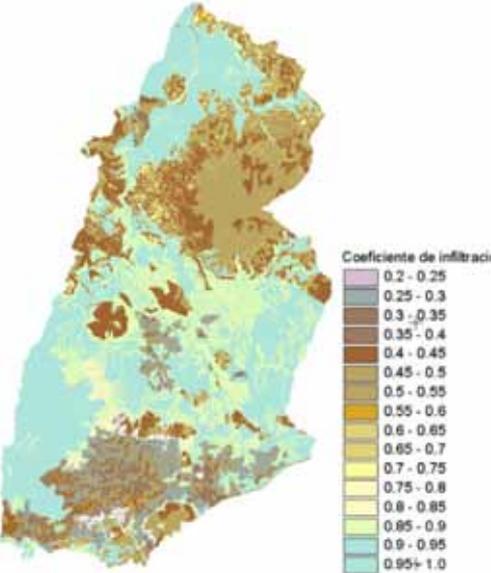
<b>Formación</b>	<b>Miembro</b>	<b>Litología</b>
San Salvador	Q <sub>f</sub>	Constituido por gravas, arenas y limos de origen fluvial, aluvial y coluvial. En general su porosidad es elevada y su grado de consolidación bajo, por lo que presentan permeabilidades de media a alta y dan lugar a la formación de acuíferos.
	s1	Efusivas básicas-intermedias y piroclastitas ácidas está formado por piedras pómez aplastadas de color azul-gris, materiales efusivos volcánicos y fragmentos porosos de vidrio volcánico negro;
	s4	Este miembro consiste básicamente en una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas básicas. Es conocido comúnmente como “Tierra Blanca”, teniendo su origen por las constantes y violentas erupciones de la Caldera de Ilopango. Su espesor aproximado es de 50 m en las cercanías del lago y se reduce a unos 4 a 5 m en la Ciudad de San Salvador. También se pueden apreciar fragmentos de pómez intercaladas con la matriz de ceniza volcánica.
El Bálsamo	b1	Este miembro geológico lo constituyen epiclastitas volcánicas, piroclastitas e igmimbritas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas, “facies claro” (con lapillo de pómez) y limo rojo, con alteración hidrotermal localmente. En la zona de estudio se presentan en la Cordillera El Bálsamo, caracterizado por tobas brechosas andesítica, tobas interestratificadas y pequeños flujos de lavas, siendo el espesor de unos 300 m.
	b3	Los materiales de esta unidad son rocas efusivas básicas-intermedias, con cierta alteración hidrotermal, silificación y limos rojos. En el sur de la zona de estudio, en el cerro San Jacinto, se presenta como una acumulación de andesitas piroxénicas o dacitas básicas. En la zona de Suchitoto se presenta como coladas de lavas, andesitas pigeonita-labradorita de acuerdo a la composición química y como andesita hipersténica según el contenido mineralógico.

Formación	Miembro	Litología
Formación Cuscatlán	c2	Se describe como sección de rocas volcánicas efusivas de tipo ácida y ácido-intermedia, de ocurrencia aislada, en parte contemporáneas con el miembro c1 y en menor grado con el 26 miembro c3.
	c3	Los materiales que constituyen a este miembro son rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica, siendo las coladas de lavas las que conforman principalmente a esta unidad, conteniendo conos de cinder y escorias. El cerro de Guazapa es su principal localización dentro de la zona de estudio, el cual es considerado dentro del grupo de volcanes de las hileras y regiones volcánicas laterales de El Salvador, siendo descrito como un volcán moderno muy destruido, sin el cráter original. Se constituye como un estrato-volcán erosionado de lavas predominantemente basálticas.

Fuente: Baxter, 1984.

En las áreas urbanas deberá considerarse que un 25% de la superficie no es impermeabilizada, de manera que se estima un índice  $k_{fc}$  ponderado en la subcuenca, según el tipo de suelo que predomina en este territorio.

Estimado el coeficiente  $k_{fc}$ , se calcula el parámetro “C” en la superficie de la subcuenca, a fin de realizar del balance hídrico. La estimación de “C” se logra mediante la ecuación 2, donde se considera la suma de los coeficientes  $k_p$ ,  $k_v$  y  $k_{fc}$ . Los resultados de este análisis se muestran en la figura 4.6.

<p><b>Figura 4.5. Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo (<math>k_{fc}</math>)</b></p>	<p><b>Figura 4.6. Mapa de coeficientes de infiltración “C”.</b></p>
	
 <p><b>Universidad Tecnológica de El Salvador</b></p>	 <p>Fuente: Elaboración propia</p>

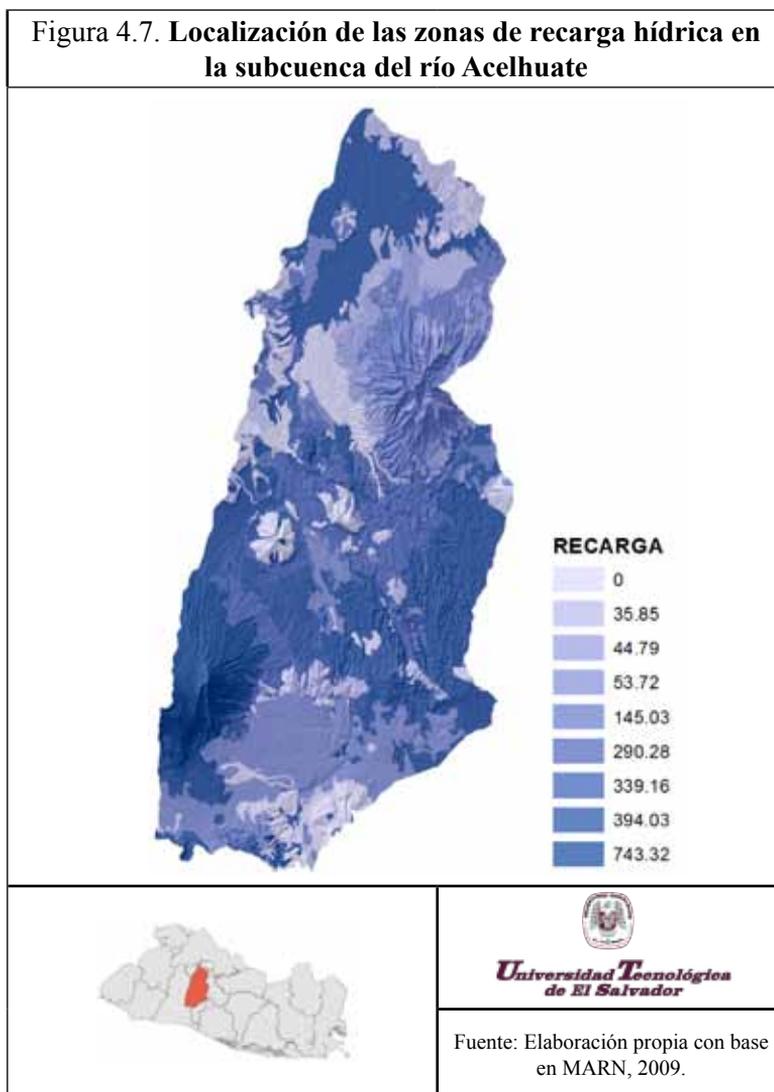
A partir de los resultados obtenidos del balance hídrico, se determinó que el volumen de infiltración potencial anual es de 1.442,68 mm en la subcuenca del río Acelhuate, lo que equivale a 1.034,90 mill.m<sup>3</sup>/año. El mapa de recarga potencial resultante de todo el análisis anterior se muestra en la figura 4.7.

### 4.2.3. Evapotranspiración

En la metodología de la investigación se definió la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa, junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

Tabla 4.4. Datos de precipitación de las estaciones pluviométricas en la subcuenca Acelhuate

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
L08	124,2	127,5	153,0	151,9	147,5	141,6	158,7	153,9	134,9	131,6	121,1	118,6	1.664,55
S10	137,4	141,9	173,4	168,5	163,8	146,9	157,1	152,7	137,8	137,6	128,4	129,0	1.744,54



Para el cálculo de la recarga del acuífero proveniente de la precipitación, se consideró la evapotranspiración potencial promedio de 10 años de las

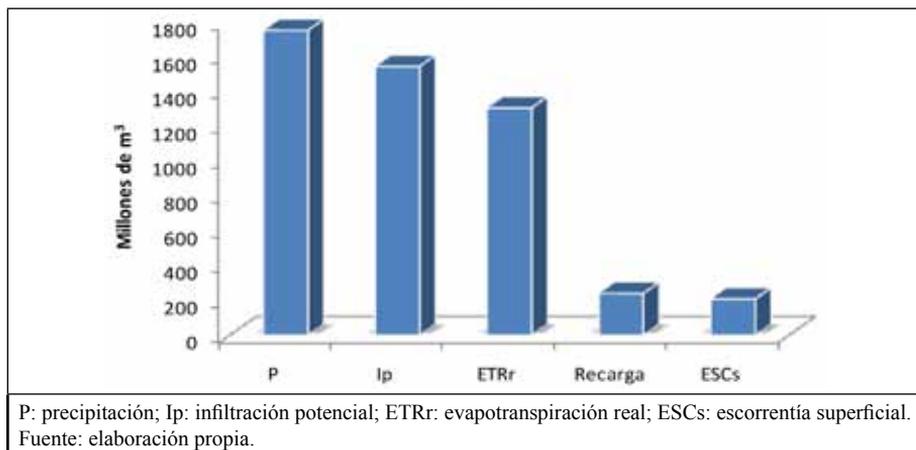
estaciones L08 (Santa Tecla) y S10 (Aeropuerto Ilopango). Estas estaciones fueron consideradas, ya que dentro de la subcuenca, son las que reportan datos de evapotranspiración potencial. Los registros de dichas estaciones se presenten en la tabla 4.4.

Con base en esta información se establece que el volumen promedio de agua evapotranspirada en la subcuenca es de 1.704,55 mm anuales. Este valor ha sido dividido entre la precipitación promedio (1.860 mm) a fin de seleccionar la ecuación 4 que se utilizará para calcular el valor de la evapotranspiración real en el territorio. Dado que el cociente resultante es de 0,92 se decide utilizar la siguiente expresión  $\left(1,12 - \frac{0,44ET_p}{P}\right)ET_p$ . Con ello, se tiene que la evapotranspiración real es de 1.219,09 mm al año, equivalentes a 874,51 mill.m<sup>3</sup>/año.

#### 4.2.4. Recarga hídrica

Una vez obtenido el valor de la infiltración potencial (*I*) y de la evapotranspiración real (*ET<sub>r</sub>*), es posible determinar la recarga hídrica, a partir de la ecuación 5. Antes de eso, se requiere convertir las unidades de volumen, de mm a m<sup>3</sup>, sabiendo que un milímetro de agua equivale a un centímetro de profundidad en una superficie de un metro cúbico (Calles, 2003). Siendo así, se tiene que el volumen de lluvia promedio (menos la intercepción del follaje) equivale a 1.174,16 mill.m<sup>3</sup>/año, el de evapotranspiración real a 874,21 mill.m<sup>3</sup>/año. Por lo tanto, aplicando la ecuación 5, el volumen de recarga hídrica en la subcuenca equivale a 160,39 mill.m<sup>3</sup>/año.

Gráfico 4.2. Resumen del balance hídrico para la subcuenca del río Acelhuate



#### **4.2.5. Escorrentía superficial**

Finalmente, con los parámetros del balance hídrico obtenidos hasta acá, se puede estimar la escorrentía superficial de la subcuenca, a partir de la aplicación de la ecuación 6, dando como resultado un volumen de 138.98 mill. m<sup>3</sup>/año.

El balance hídrico de la subcuenca permite destacar el volumen de evapotranspiración, el cual constituye un 66% del agua que entra al sistema, y que se pierde en forma de gas. Eso significa que sólo un 34% del volumen hídrico en el territorio puede estar disponible, ya sea de forma superficial o subterránea; de ahí la importancia de localizar las zonas de recarga y colocar en perspectiva las presiones que ocurren en ellas, sobre todo, la densidad poblacional y el cambio de uso de suelo. A manera de resumen, los datos del balance hídrico se detallan en el gráfico 4.2.

### **4.3. Presupuesto de aguas**

En este acápite se presentan los volúmenes estimados de oferta y demanda hídrica en la subcuenca del río Acelhuate, de acuerdo con la estructura de la tabla 3.2.

#### **4.3.1. Oferta total hídrica**

La subcuenca del río Acelhuate se localiza en la vertiente Pacífica, por lo que las precipitaciones se concentran entre mayo y octubre (época lluviosa), mientras que en el resto del año las precipitaciones cesan (época seca), permitiendo la existencia de dos períodos que transitan entre ambas estaciones. Con la precipitación promedio de la subcuenca y aplicando la ecuación 8 se obtiene la oferta total estimada en 1.334,27 mill.m<sup>3</sup>/año de agua.

#### **4.3.2. Oferta disponible**

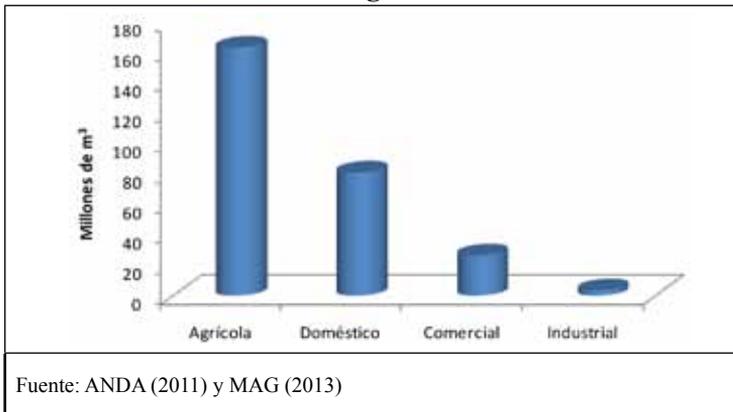
A partir de los datos de evapotranspiración real y potencial estimados en el balance hídrico y aplicando la ecuación 4, fue posible estimar la evapotranspiración real media en 874,51 mill.m<sup>3</sup>/año. Este dato equivale al 66% de la precipitación media en la subcuenca. La oferta proveniente de la precipitación anual, se estima como la diferencia entre los niveles de precipitación y la evapotranspiración real. Entonces si la evapotranspiración real es de 874,51 mill.m<sup>3</sup>/año, aplicando la ecuación 9 se determina que la oferta

natural disponible para la demanda social en la subcuenca es de 299,37 mill. m<sup>3</sup>/año, la cual deberá gestionarse de tal forma que esté disponible de forma sostenible para toda la sociedad. Por el contrario, una demanda mayor que este volumen presupone el agotamiento del recurso agua, y por consiguiente, el riesgo de lograr objetivos de desarrollo en el área metropolitana.

Esta disponibilidad de agua tiene dos modalidades; por un lado, en términos de agua subterránea (recarga hídrica), cuyo valor se obtiene del balance hídrico, y que equivale a 160,39 mill.m<sup>3</sup>/año; y por otra parte, escorrentía superficial, cuyo volumen asciende a 138,98 mill.m<sup>3</sup>/año.

### 4.3.3. Demanda

Gráfico 4.3. Demanda de agua de los distintos sectores



La estimación está basada en la información obtenida a través de los registros de ANDA (2011) e informes del MAG (2013), referidos a la región de la subcuenca. A partir de estos registros se determinó el total anual del agua explotada por fuentes privadas. Dada la información disponible se hizo una cuantificación de la demanda social (incluidas las fugas), y de acuerdo a los resultados, y aplicando la ecuación 10 se determina que ésta es de 273,84 mill. m<sup>3</sup>/año, siendo el mayor consumo el que corresponde a abastecimiento agrícola (gráfico 4.3). Por tanto, a partir de la ecuación 10 se obtiene la demanda total estimada en 1.148,35 mill.m<sup>3</sup>/año.

La tabla 4.5 ilustra la situación actual de la subcuenca y advierte de un superávit estimado en 185,92 mill.m<sup>3</sup>/año (obtenido a partir de la

ecuación 7). No obstante, el valor de recarga hídrica señala la existencia de un déficit, ya que como se puede observar, se presenta una demanda social de agua subterránea que excede la oferta disponible en 66,98 mill.m<sup>3</sup>/año, lo que hace pensar que se está sobre-utilizando este recurso. Por su parte, en lo que respecta al agua superficial, es necesario indicar que también hay un superávit de acuerdo a la información disponible (92,51 mill.m<sup>3</sup>/año), haciendo notar que no están consideradas las concesiones en uso, siendo urgente el registro de los aprovechamientos hídricos para establecer un volumen más aproximado de la demanda hídrica (superficial y subterránea).

Es importante hacer notar que los excedentes a los que se ha hecho referencia en el párrafo anterior no toman en consideración el ciclo hidrosocial, en tanto que un buen porcentaje del agua disponible (tanto superficial, como subterránea) presenta problemas en su calidad.

Tabla 4.5. **Síntesis del presupuesto hídrico anual para la subcuenca del río Acelhuate**

	<b>Volumen mill.m<sup>3</sup>/año</b>
<b>Oferta</b>	
Total (precipitación)	<b>1.334,27</b>
Disponible	299,37
Escorrentía superficial	138,98
Recarga	160,39
<b>Demanda</b>	
Total	<b>1.148,35</b>
Demanda ecológica	874,51
Demanda social	273,84
Agua superficial	46,47
Agua subterránea	227,37
<b>Excedente disponible</b>	<b>185,92</b>
Escorrentía superficial	92,51
Recarga	<b>-66,98</b>

Fuente: elaboración propia

Según Landaverde y Romero (citado por MARN, 2013a), en una investigación denominada “Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas según ICA en diferentes pozos de San Salvador y zonas extendidas”<sup>6</sup>, se encontró que la calidad del agua de 2 de 20 pozos situados en el AMSS y sus alrededores resultó ser “mala”, mientras que en 12 fue regular, de modo que sólo en seis resultó buena y en ninguno excelente. Por otra parte, de acuerdo con el MARN (2013b), en la subcuenca del río Acelhuate existen 18 plantas de tratamiento de diferentes urbanizaciones, 45 descargas directas sin tratamiento previo de colectores de diámetros que varían entre 8 y 12 pulgadas, y ocho puntos de descarga directa de colectores de gran diámetro (15 a 84”). Asimismo, dicha fuente identifica 110 industrias, de las cuales, 40 no cuentan con permiso de funcionamiento.

Adicionalmente, en la microcuenca del río Tomayate (inmersa en la subcuenca Acelhuate), el 68% de las aguas del río corresponde a aguas residuales, y el 32% a industriales, siendo la principal fuente de contaminación los vertidos de colectores sanitarios de ANDA, del Penal La Esperanza y de un ingenio de azúcar, además de 31 vertederos ubicados en las laderas de quebradas y ríos afluentes. Con base en la misma fuente de información, en la microcuenca del río Las Cañas (dentro de la subcuenca), el 37% de las descargas de aguas residuales son de tipo especial, y el 63% de aguas residuales domésticas (MARN, 2013a); además de que ese río recibe un total de 19 descargas de aguas residuales, únicamente tres de ellas contaban con sistemas de tratamiento previo a ser descargados a dicho cuerpo de agua, pero ninguna de las descargas cumple con los límites de calidad establecidos por la normativa vigente (MARN, 2013b).

#### **4.4. Valoración económica ecológica**

En los próximos párrafos se presentan los resultados de la valoración económica, la cual ha empleado técnicas como el costo de oportunidad y excedente del consumidor, a fin de estimar un valor económico de servicio ambiental hídrico generado por los ecosistemas boscosos y agroforestales de la subcuenca.

---

<sup>6</sup> Realizada en la época seca de 2007.

#### 4.4.1. Valor de la productividad hídrica

Para estimar el valor de la productividad hídrica de los ecosistemas forestales y agroforestales del territorio en análisis, se han desarrollado al menos cuatro sub-etapas metodológicas: (i) localización de las áreas de recarga hídrica; (ii) identificación del uso del suelo; (iii) delimitación de ecosistemas forestales y agroforestales (café); y (iv) estimación del costo de oportunidad por la ocupación del suelo con cobertura forestal.

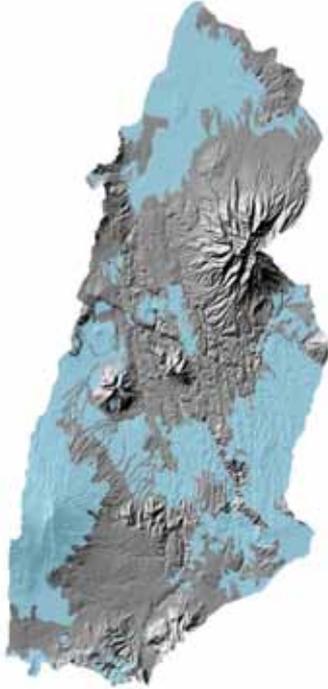
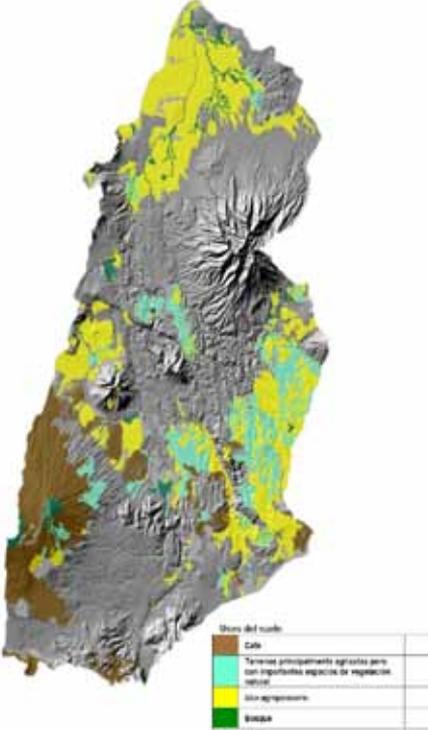
El primer paso para determinar la superficie forestada fue la localización de las áreas de recarga, las cuales se muestran en a figura 4.8. Las áreas de recarga incluidas en esta figura constituyen las mejores desde el punto de vista de productividad de infiltración, con un valor promedio mayor a los 350 mm anuales. Una vez delimitadas estas áreas, y como segundo paso, se incorporó la información relacionada con el uso del suelo, de acuerdo con el mapa de uso del suelo *Corine Land Cover*, elaborado por la Universidad de El Salvador (2010). Este procedimiento fue necesario para determinar la cobertura vegetal que predomina en las zonas de recarga (figura 4.9). El programa *Corine Land Cover* se apoya sobre una nomenclatura estándar jerarquizada con 3 niveles y en algunos casos una subdivisión del tercer nivel, el cual es utilizado solamente para el nivel nacional. A continuación se presentan las características de la cobertura vegetal presente en las zonas de recarga (FAO, 2010):

**Café.** Los cultivos de café son en general cultivados en asociación con especies arborescentes por diversas razones: sombra, aporte nutritivo, entre otras.

**Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural.** Superficies principalmente agrícolas, interrumpidas por espacios naturales importantes (CNR, 2003). En estas unidades, ningún subconjunto homogéneo de 25 ha o más puede ser aislada en territorio agrícola o en espacios naturales (vegetación natural, bosques, pastizales naturales, láminas de agua o rocosos). Las tierras agrícolas ocupan entre el 25 % y el 75 % de la superficie total de la unidad. Las zonas de bosque no son incluidas de esta categoría.

**Mosaico de cultivos y pasto.** Yuxtaposición de pequeñas parcelas de cultivos anuales diversificados, de pastos y/o de cultivos permanentes. Son

clasificadas bajo este código las unidades de paisajes identificables por respuestas espectrales características y compuestas por pequeñas parcelas de cultivos anuales diversificados, en praderas y/o en cultivos permanentes, con tal que ningún conjunto de más de 25 ha en una de estas tres categorías no pueda ser aislado dentro de una unidad de paisaje (CNR, 2003). Las tierras arables, las praderas, los frutales ocupan cada uno menos del 75 % de la superficie total de la unidad. Los jardines familiares entran en esta categoría.

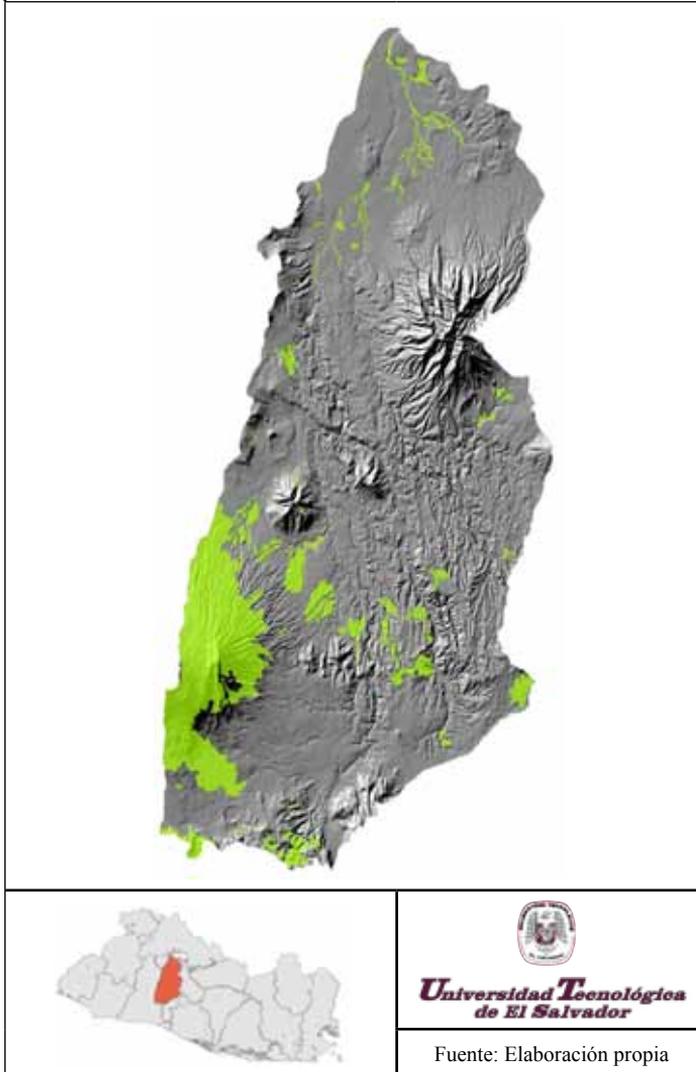
Figura 4.8. Localización de las zonas de recarga hídrica	Figura 4.9. Uso del suelo en las zonas de recarga hídrica
	
 <p data-bbox="186 1499 572 1564"><b>Universidad Tecnológica de El Salvador</b></p>	 <p data-bbox="715 1576 955 1602">Fuente: Elaboración propia</p>

**Bosque.** Incluyen bosque siempre verde, bosque de galería, bosque mixto, y bosque mixto semi-caducifóleos; la descripción de cada categoría de bosque se presenta a continuación (FAO, 2010).

- **Bosque siempre verde:** comprende el conjunto de las formaciones vegetales cuyos follajes son siempre verdes durante todo el año. La densidad de la cubierta aparente debe representar al menos 75% (CNR, 2003).
- **Bosque de galería:** cinturones de vegetación a orillas de los ríos; un tipo de vegetación bastante intervenido, aunque el ancho de éstos en la gran mayoría de los casos es menor a 100 m (CNR, 2003).
- **Bosque mixto:** formaciones vegetales principalmente constituidas de árboles, pero también de matorrales y arbustos, donde ni los frondosos ni las coníferas dominan. Este tema comprende no sólo los bosques mezclados al sentido estricto de la definición silvícola (mezcla por pie o por grupo), pero también los parcelares forestales complejas donde el mosaico de frondosas y de coníferas está superpuesto y donde ninguna población homogénea de más de 25 ha se distingue (CNR, 2003).
- **Bosque mixto semi-caducifóleo:** es una formación vegetal esencialmente constituida por arboles pero también por los arbustos donde ni las especies deciduas, ni las especies sempervirentes dominan. Este tema comprende los bosques mezclados donde la representatividad de las especies debe ser entre 25 y 75% (CNR, 2003).

El tercer paso metodológico consistió en delimitar aquellas áreas en cuyos espacios sobresalen, según las definiciones establecidas por FAO (2010), las zonas de ocupación arborescente, tales como café y bosque (figura 4.10). Esta superficie asciende a 7.938 hectáreas. No obstante, como muestra el mapa de la figura 4.2, las actividades agropecuarias y el desarrollo urbano ejercen presión sobre estas áreas de ecosistemas arbolados. Esto hace evidente la existencia de un costo de oportunidad por el uso del suelo, sobre todo en aquellas tierras cuya ocupación es arborescente pero podrían utilizarse para actividades agropecuarias o desarrollos urbanos, de tal manera que una forma de compensar a los dueños de esas tierras sería pagando ese costo de oportunidad para motivarlos a que mantengan el uso del suelo bajo cobertura arbolada.

**Figura 4.10. Ecosistemas forestales y agroforestales en las zonas de recarga hídrica**



Para establecer el valor monetario de ese costo de oportunidad se ha tomado como referencia el nivel de rentabilidad de la agricultura, sobre todo aquella que está basada en granos básicos (maíz, frijol, arroz y sorgo). A partir de la información del MAG (2013a y 2013b) referida a los costos de producción e índices de precios al productor agropecuario, se determinó la rentabilidad

promedio de los cuatro cultivos, ponderando la superficie sembrada de cada uno de ellos. Así, la utilidad obtenida es de US\$106,0 ha/año, valor monetario que constituye el costo de oportunidad que se incorpora en la fórmula que calcula el valor de captación hídrica de los bosques y el cafetal. A ese valor se adicionan los costos de administración y mantenimiento de las actividades forestales y agroforestales, por lo que el valor total ascendería a US\$114,86<sup>7</sup>.

Por otro lado, para conocer la importancia que tiene el bosque en la captación hídrica, se utilizó la información generada por investigaciones similares, en las que se ponderan las funciones ecológicas del bosque, tales como: provisión de agua, regulación del clima, hábitat de flora y fauna y prevención de riesgos naturales (Calles, 2003). En esos casos, el porcentaje del servicio hídrico del bosque oscila entre 25% y 50%, estableciéndose como un valor promedio 35%.

Esto significa que del total de servicios ecosistémicos que proveen los bosques y cafetales, el servicio ambiental hídrico posee una importancia para la sociedad ponderada en un 35%; de manera que será esa la proporción del costo de oportunidad que debiera pagarse a los dueños de las áreas arboladas, a fin de que las mantengan ocupando los suelos. Por lo tanto, el valor monetario que define la compensación a pagar por los usuarios del agua es de US\$77.30/ha/año. Entre tanto, el volumen de agua captado por la cobertura arbórea en la subcuenca es de 27.227.340 m<sup>3</sup>/año. De esta manera, utilizando la ecuación 12, se obtiene el valor de captación (VC):

$$VC = \frac{0,35 \times 77,3 \times 7.938}{27.227.340} = \text{US\$0,008/m}^3$$

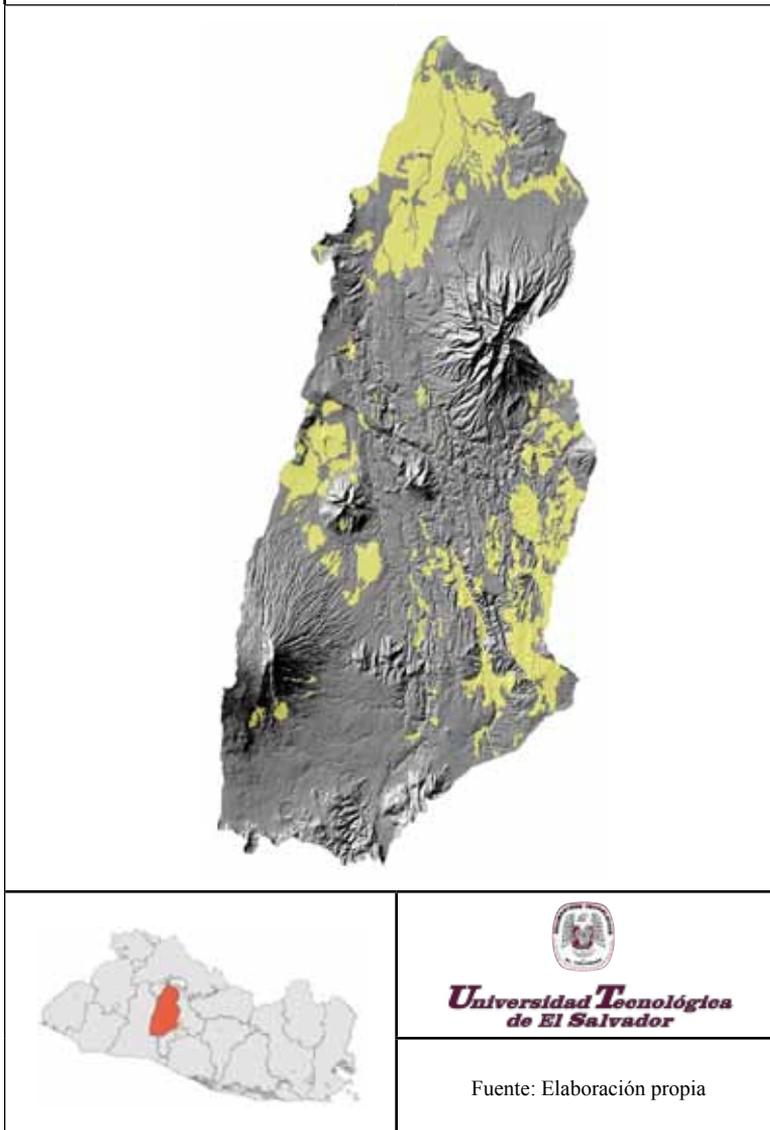
#### 4.4.2. Valor de restauración de la subcuenca

La superficie a recuperar se determinó a partir de la Figura 4.9, y la constituye el uso del suelo agropecuario localizado en áreas de alta recarga hídrica (mayor a los 350 mm anuales); este uso del suelo se compone de caña de azúcar, cultivos anuales, granos básicos, mosaico de cultivos y pastos, pastos naturales y pastos cultivados. En la Figura 4.11 se detalla la superficie a recuperar, la cual asciende a 12.704 hectáreas.

---

<sup>7</sup> Este valor corresponde al tercer año en un sistema en bosquetes.

Figura 4.11. Zonas a restaurar por su importancia hídrica



De acuerdo con SINADES (2009), al “sistema de prácticas de gestión de los recursos naturales terrestres para aprovechar, conservar, restaurar y mejorar su estructura, funcionalidad y productividad ecosistémica y económica, sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”, se le denomina Manejo Sustentable de Tierras (MST).

En este orden de ideas, la FAO (2011) ha estimado un monto de inversión equivalente a **US\$650** por hectárea por año para la implementación de acciones efectivas de MST, tales como: obras y prácticas de conservación de suelos y agua, agroforestería, diversificación de cultivos y manejo de bosques naturales; reforestación; capacitación y organización; desarrollo de actividades productivas sostenibles; manejo sostenible de recursos naturales; manejo de cuencas; y desarrollo productivo agropecuario y empresarial, entre otros (SINADES, 2009).

Asimismo, no debe olvidarse que habrá que adicionar el monto estimado de la utilidad generada por las actividades agrícolas de granos básicos, el cual asciende a US\$106,0/ha/año. Asimismo, el valor de restauración considera la productividad hídrica de la subcuenca estimada en 27.227.340 m<sup>3</sup>/año; el 35% de ponderación social otorgado a los bosques y cafetales; y el área que deberá restaurarse. Con esta información se sustituyen las variables en la ecuación 13 para obtener el valor de restauración de US\$0,12/m<sup>3</sup>. Es decir,

$$VC = \frac{0,35 \times 756 \times 12.704}{27.227.340}$$

$$VR = \text{US\$0,12} / \text{m}^3$$

Según Calles (2003), dicho valor debe mostrar un comportamiento de disminución en años posteriores, debido a una disminución en los costos de mantenimiento, por lo que una estrategia de cobro de cánones o tarifas hídricas deberá tomar en cuenta la posibilidad de cambios en los valores a cobrar debido a esta reducción de costos de restauración.

#### **4.4.3. Valor del agua como insumo de la producción**

- **Valor del agua en el sector doméstico**

De acuerdo con el enfoque utilizado para estimar el valor del agua como insumo de la producción, el nivel de consumo es fundamental, ya que se intenta reflejar, de forma particular, las características de los usuarios. Por lo tanto, en el sector doméstico, por encima de un consumo óptimo (capaz de satisfacer necesidades básicas familiares) los usuarios de agua están dispuestos a pagar

más por volúmenes hídricos considerados como “físicamente no necesarios” (llenado de piscinas, lavado de automóviles, entre otros usos). Es por eso que, aunque en el sector doméstico no se produce un bien o servicio para el mercado, si existe un precio por disfrutar de estos bienes y servicios disponibles (Calles, 2003); y, por lo tanto habrá que estimarse el valor del agua en este sector.

**Tabla 4.6. Valor del agua en el sector doméstico de la subcuenca del río Acelhuate**

Nivel de consumo	Consumo		Precio		Elasticidad	Parámetro k	Tasa de crecimiento	Parámetro $k_1$	Excedente US\$/m <sup>3</sup>
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>					
Baja	11	11,17	0,210	0,210	-0,2518	7,43	0,021	7,58	<b>0,0004</b>
Media	30	30,47	0,319	0,326	-0,2518	22,50	0,021	22,97	<b>0,0016</b>
Alta	87	88,36	1,300	1,327	-0,2518	92,94	0,021	94,89	<b>0,0188</b>

Fuente: elaboración propia con base en registros de consumo y tarifas de los sistemas de acueducto residencial en la región metropolitana de San Salvador (ANDA, 2011).

**Tabla 4.7. Promedio ponderado del valor del agua en el sector doméstico**

Nivel de demanda	Demanda m <sup>3</sup> /año	Precio US\$/m <sup>3</sup>
Media	36.619.400	0,0016
Alta	18.363.200	0,0188
<b>Total</b>	<b>54.982.600</b>	<b>0,0073</b>

Fuente: elaboración propia, con base en ANDA (2011).

Para los cálculos de este valor se ha echado mano a la información de ANDA referente al nivel de consumo del sector residencial, distinguiendo entre: bajo, medio y alto. Además, se utilizó la tarifa de agua actual (según consumo) y un nivel de elasticidad precio de la demanda de -0.2518. Finalmente, se asume un crecimiento económico de 2.1% para el sector doméstico en los municipios de la subcuenca. Utilizando la ecuación 16 se obtiene el excedente del consumidor para los rangos de consumo en cuestión, obteniéndose los valores de la tabla 4.6.

De acuerdo con esta información, la asignación de un canon por aprovechamiento de agua para el sector doméstico debería considerar un rango de consumo mayor o igual al nivel medio (por encima de 30 m<sup>3</sup>) establecido por ANDA. Además, será necesario considerar que el valor del recurso debe ser uno sólo, por lo que el promedio ponderado es una estimación más apropiada, y puede ser aplicada no sólo para el sector residencial, sino también para las instituciones de gobierno, autónomas y municipales, en caso de requerirse. La tabla 4.7 presenta el valor ponderado del agua para el sector doméstico, el cual equivale a US\$0,0073/m<sup>3</sup>.

- **Valor del agua en el sector industrial y comercial**

A diferencia del sector doméstico, en el industrial y comercial, el agua si constituye un insumo de producción de bienes y servicios, con un precio de mercado (Calles, 2003). A pesar de esto, el precio de la producción sólo incorpora el costo del servicio de potabilización y abastecimiento brindado por ANDA, juntas a administradoras de agua, o incluso municipalidades; por lo tanto, no incluye el valor del agua utilizada como insumo para la generación de productos y servicios.

**Tabla 4.8. Valor del agua en los sectores industriales y comerciales de la subcuenca del río Acelhuate**

Nivel de demanda (m <sup>3</sup> )	Consumo		Precio		Elasticidad	Parámetro k	Tasa de crecimiento	Parámetro k <sub>1</sub>	Excedente (US\$/m <sup>3</sup> )
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>					
<b>Industrial</b>									
0 a 20	7	7,09	2,085	2,12	-0,2518	8,42	0,018	8,57	<b>0,0018</b>
21 a 40	25	25,34	0,847	0,862	-0,2518	23,98	0,018	24,41	<b>0,0026</b>
41 a más	866	877,64	1,452	1,478	-0,2518	951,26	0,018	968,39	<b>0,1527</b>
<b>Comercial</b>									
0 a 20	9	9,13	2,085	2,12	-0,2518	10,83	0,019	11,03	<b>0,0025</b>
21 a 40	29	29,41	0,847	0,863	-0,2518	27,81	0,019	28,34	<b>0,0033</b>
41 a más	254	257,60	1,452	1,480	-0,2518	279,01	0,019	284,31	<b>0,0500</b>

Fuente: elaboración propia con base en registros de consumo y tarifas de los sistemas de acueducto residencial en la región metropolitana de San Salvador (ANDA, 2011).

Por lo anterior, resulta de gran importancia el cálculo del valor monetario del agua en los sectores industrial y comercial, lo cual es posible si se trae a cuenta y se relacionan la demanda anual de agua de estos sectores y las tarifas hídricas que se les cobra, suponiendo una elasticidad-precio negativa y menor que la unidad; esto debido a que, según Calles (2003), la demanda de agua es inelástica con respecto al precio, es decir, por cada unidad porcentual de cambio en el precio, la demanda se reduce proporcionalmente. Siendo así, para este cálculo se asume una elasticidad de -0.3% y una tasa de crecimiento de estos sectores de 1.8% y 1.9%, para el sector industrial y comercial, respectivamente. Los datos que se muestran en la tabla 4.8 corresponden a la región metropolitana de San Salvador, y los cálculos utilizan la ecuación 16, con niveles de consumo de agua (m<sup>3</sup>/mes) y tarifas de agua cobradas por ANDA (2011).

**Tabla 4.9. Promedio ponderado del valor del agua en los sectores industrial y comercial**

Nivel de demanda	Demanda m <sup>3</sup> /año	Precio US\$/m <sup>3</sup>
<b>Industrial</b>		
0 a 20	23.900	0,0018
21 a 40	25.900	0,0026
41 a más	2.362.900	0,1527
<b>Total</b>	<b>2.412.700</b>	<b>0,1496</b>
<b>Comercial</b>		
0 a 20	1.555.700	0,0025
21 a 40	1.668.300	0,0033
41 a más	14.789.600	0,0500
<b>Total</b>	<b>18.013.600</b>	<b>0,0416</b>

Fuente: elaboración propia, con base en ANDA (2011).

Con estos cálculos se obtienen los valores particulares de cada sector; no obstante, para ponderarlos resulta conveniente asociar dichos valores con los niveles de demanda anual, así como muestra la tabla 4.9, según la cual, para el sector industrial, el valor del agua es de US\$0,1496/m<sup>3</sup>, y para el sector comercial en US\$0,0416/m<sup>3</sup>.

- **Valor del agua en el sector agrícola**

Se ha dicho que el sector agrícola en la subcuenca del río Acelhuate está basado en el cultivo de granos básicos de subsistencia (maíz, frijol y sorgo), cuya demanda hídrica se satisface sobre en la época lluviosa principalmente, aunque también pueden encontrarse áreas agrícolas bajo riego. Por el contrario, el cultivo de caña de azúcar presente en la subcuenca (principalmente en el municipio de Nejapa y Apopa) satisface su demanda hídrica con una significativa proporción de agua bajo riego. Con información sobre el rendimiento anual por hectárea, producción, costos y precios de la caña de azúcar, y aplicando la ecuación (17), se obtiene el valor del agua como insumo de la producción en el sector agrícola, el cual equivale US\$0.0099/m<sup>3</sup> (tabla 4.10).

Tabla 4.10. **Valor del agua en el sector agrícola de la subcuenca del río Acelhuate**

Cultivo	Rendimiento anual (Tm/ha/año)		Agua usada (m <sup>3</sup> /ha/año)	Producción Kg/m <sup>3</sup>	Costo de producción (US\$/Kg)	Precio producto (US\$/Kg)	Valor del agua (US\$/m <sup>3</sup> )
	Secano (Qs)	Riego* (Qr)	V <sub>r</sub>	(Q <sub>r</sub> - Q <sub>s</sub> ) / V <sub>r</sub>	C	P	(P-C)x(Q <sub>r</sub> -Q <sub>s</sub> )/V <sub>r</sub>
Caña de azúcar	83.32	98.31	15.610,58	0,96025	0,0246	0,035	0,0099

Fuente: Elaboración propia con base en información de GOES/PNUMA (1981); MAG (2013a); MAG (2013b); Ramos (2010); y Agroindustria azucarera de El Salvador (2012).

- **Valor final del agua como promedio de los distintos sectores**

Como se ha establecido antes, el valor del agua como insumo de la producción es un componente de la valoración económica ecológica, por lo que realmente interesa estimar un único valor, indistintamente el sector a que se haga referencia. Para ello, se propone un promedio ponderado que se basa en los niveles de demanda por m<sup>3</sup> anual de agua, el cual puede utilizarse para la aplicación de cánones por aprovechamiento del recurso hídrico en la subcuenca. En tal sentido, aplicando la ecuación 18, el valor promedio del agua como insumo de la producción es de US\$0.0137/m<sup>3</sup> (tabla 4.11).

<b>Tabla 4.11. Promedio ponderado del valor del agua en los sectores industrial y comercial</b>		
<b>Sector</b>	<b>Demanda m<sup>3</sup>/año</b>	<b>Precio US\$/m<sup>3</sup></b>
Doméstico	54.982.600	0,0073
Industrial	2.412.700	0,1496
Comercial	18.013.600	0,0416
Agrícola	125.375.281	0,0099
<b>Total</b>	<b>200.784.181</b>	<b>0,0137</b>
Fuente: elaboración propia, con base en ANDA (2011).		

#### 4.4.4. Valores económicos del servicio ambiental hídrico

Los valores económicos máximos de los componentes del servicio ambiental hídrico, se presentan en la tabla 4.12. El valor del agua como insumo es un componente que debe contemplarse como parte de un canon por aprovechamiento de agua para aquellos sectores que así la utilizan, con el fin de promover el desarrollo social con los ingresos generados por el aprovechamiento del agua, ya que por lo general, la comunidad protege los recursos que están en su localidad (Calles, 2003).

Tabla 4.12. Valores económicos en el servicio ambiental hídrico

<b>Sector</b>	<b>Valor de captación</b>	<b>Valor de restauración</b>	<b>Valor del agua como insumo</b>	<b>Total</b>
Doméstico	0.008	0.12	0,0073	<b>0,1353</b>
Industrial	0.008	0.12	0,1496	<b>0,2776</b>
Comercial	0.008	0.12	0,0416	<b>0,1696</b>
Agropecuario	0.008	0.12	0,0099	<b>0,1379</b>

Fuente: elaboración propia.

## V. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se desprenden varias conclusiones importantes que pueden contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos en la subcuenca del río Acelhuate; seguidamente se presenta la discusión de las principales de ellas y las recomendaciones debidas, tomando como referencia los objetivos planteados al inicio.

### 5.1. Conclusiones

- **Uso del suelo en la subcuenca del río Acelhuate**

El sistema hidrológico de la subcuenca posee una importancia estratégica para la región metropolitana de San Salvador, ya que constituye un territorio de recogimiento de 88,1 millones de m<sup>3</sup> de agua por año, volumen que constituye el 47% de la producción total de ANDA en los municipios que conforman la subcuenca. Esta cantidad de agua es extraída directamente del sistema tradicional de ANDA y operadores descentralizados, compuesto por pozos y captaciones localizados en la subcuenca.

Los ecosistemas que posibilitan este aprovisionamiento de agua son el café y el bosque que se localiza principalmente en el volcán de San Salvador, Antigua Cuscatlán y Santa Tecla, con importantes relictos en otros municipios de la subcuenca, que en conjunto únicamente ocupa el 9.4% y 8.7% del territorio, lo cual podría traducirse en una seria amenaza para la provisión del servicio ambiental hídrico; sobre todo, debido a que en la ocupación del suelo predominan las actividades agrícolas, que a pesar de que en ellas sólo se produce el 15% de granos básicos de todo el país, constituyen la base socioeconómica de la población rural de la subcuenca por la generación de empleo. Esta superficie de uso de suelo equivale a 31.615,12 hectáreas de tierra (44%), que junto con el área destinada al cultivo de la caña de azúcar, representan el 55% del territorio (aproximadamente 40 mil hectáreas).

- **Presupuesto Hídrico**

La subcuenca posee una oferta hídrica anual disponible de 1.334,27 mill.m<sup>3</sup>, distribuida en 138,98 mill.m<sup>3</sup>/año de agua superficial y 160,39 mill.m<sup>3</sup>/año de agua subterránea. De esta oferta disponible se están aprovechando 273,37 mill.m<sup>3</sup>/año, distribuidos en 46,47 mill.m<sup>3</sup>/año de agua superficial y 227,37 mill.m<sup>3</sup>/año de agua subterránea, quedando un volumen no utilizado de 185,92 mill.m<sup>3</sup>/año. La evapotranspiración real estimada en el territorio es de 874,51 mill.m<sup>3</sup>/año.

De acuerdo con este presupuesto hídrico, en la subcuenca existe un déficit de 66.98 mill.m<sup>3</sup>/año con respecto al agua subterránea; es decir, el ritmo de aprovechamiento de este recurso, calculado en 227,37 mill.m<sup>3</sup>/año es mayor que la recarga anual, equivalente a 160,39 mill.m<sup>3</sup>/año. En otras palabras, con el nivel de demanda hídrica subterránea de los sectores doméstico, industrial, comercial y agrícola se sobrepasa la capacidad de recarga del territorio, por lo que eventualmente se podría agotar permanentemente esta fuente de agua. Es preciso acotar que según Calles (2003), el tiempo de agotamiento depende del volumen disponible del acuífero y de la velocidad con la que se continúe aprovechando el recurso, en el entendido que no todos los aprovechamientos subterráneos están registrados por la administración pública, por lo que el volumen hídrico consumido por los distintos sectores económicos podría ser mayor del estimado en esta investigación.

Asimismo, es importante considerar la variabilidad climática, cuyos efectos se hacen tangibles en el régimen estacional de lluvias, sobre todo en la extemporaneidad de la época seca, la cual a veces supera los seis meses, limitando la recarga de agua; al igual que en la época lluviosa (72%), en donde se concentran importantes volúmenes de agua en los meses de junio y septiembre, restringiendo la capacidad del suelo de infiltrar agua, representando además una amenaza a inundaciones para las partes bajas de la subcuenca que generalmente concentran asentamientos humanos.

- **Valoración económica – ecológica**

Los valores monetarios estimados a partir de la utilización de los distintos enfoques de valoración económica, demuestran que el servicio ambiental hídrico que proveen los ecosistemas de bosque y cafetal en la subcuenca del río Acelhuate no tiene ningún reconocimiento por los usuarios del agua, ya que no son cobrados en las tarifas hídricas que se paga en cada sector

de la economía, por lo que es claro que existe un subsidio ambiental en las actividades productivas, que vistas de esa forma, constituyen emprendimientos no sostenibles desde el punto de vista hídrico.

Por otra parte, la gestión de las áreas de recarga hídrica en la subcuenca requieren de recursos financieros, cuya fuente no precisamente debiera provenir de las instituciones públicas, quienes poseen un presupuesto limitado para esta labor (cuando existe). De tal forma que el reconocimiento (a través de un canon por aprovechamiento) por la sociedad del valor del agua como servicio ambiental de los ecosistemas arbolados es imperativo para tener a disposición capital financiero que sufrague la restauración de zonas degradadas con potencial hídrico y la protección de bosques y cafetales con importancia para la provisión de agua.

El servicio ecosistémico del bosque y cafetal que pone a disposición de la sociedad importantes volúmenes de agua es valorado en US\$0,008 por m<sup>3</sup> (aproximadamente 1 centavo de dólar estadounidense por cada metro cúbico); mientras que el valor de restauración de la subcuenca, en aquellas zonas de interés para la recarga hídrica, es de US\$0,12/m<sup>3</sup>, y el del agua como insumo de la producción es de US\$0,0137/m<sup>3</sup>. Estos valores deben de asociarse a la demanda de cada sector económico y focalizarse, sobre todo, en la población que utiliza el agua para satisfacer necesidades que no son básicas para el ser humano, cuyos volúmenes superan los 30 m<sup>3</sup> por mes en el sector doméstico. Siendo así, el sector doméstico debiera pagar US\$0,14 por cada m<sup>3</sup> de agua consumido; mientras que el sector industrial lo debería hacer con US\$0,28/m<sup>3</sup>; el comercial con US\$0,17/m<sup>3</sup>; y el sector agropecuario con US\$0,14/m<sup>3</sup>.

## 5.2. Recomendaciones

- Debido a que la disponibilidad de agua subterránea presenta un déficit de 66.98 mill.m<sup>3</sup>/año, respecto a su demanda, se prevé un agotamiento de esta fuente hídrica en el mediano o largo plazo, por lo que es fundamental la gestión territorial de las áreas de recarga, cuyas presiones derivadas de las actividades agrícolas y el desarrollo urbano exigen emprender esfuerzos que involucren a todos los actores vinculados con el sector hídrico en la región metropolitana de San Salvador, entre los que destacan dueños de tierras, usuarios del agua (incluida ANDA) e instituciones públicas relacionadas con la gestión hídrica.

- El cobro de un canon por aprovechamiento de agua como mecanismo que reconoce el valor del agua como servicio que proveen los ecosistemas boscosos y cafetales de la subcuenca, requiere de un marco legal para que sea implementado. No obstante, son muchos los intentos de aprobación de anteproyectos de ley de aguas, sin que se obtengan avances importantes, por lo que se recomienda fortalecer a los gobiernos locales para que sean éstos, amparados en la Constitución de la República y el Código Municipal, los que, mediante el diseño y aplicación de ordenanzas, gestionen el recurso hídrico, haciendo uso de esquemas de incentivos para aquellos usuarios que estén alineados con los objetivos de restauración y conservación de ecosistemas que favorezcan la captación y disposición del recurso hídrico a la sociedad.

- La gestión del recurso hídrico con enfoque de cuenca también supone implementar planes de desarrollo y ordenamiento territorial, instrumentos con los que cuentan la mayoría de municipios de la región metropolitana de San Salvador, pero que por distintas razones no han sido aplicados a dichos territorios. En el contexto de las presiones y déficit hídrico de la subcuenca del río Acelhuate, es fundamental incorporar los criterios de zonificación ambiental, sobre todo, aquellos que están referidos a la recarga hídrica, capacidad agrológica y uso del suelo, con el objetivo de propiciar una ocupación del suelo compatible con los procesos biofísicos que favorecen la infiltración del suelo, pero que también permita emprender actividades productivas rentables, como son la agroforestería, agrosilvicultura y proyectos agrosilvopastoriles.

- No deben descartarse medidas para reducir la demanda y consumo de agua, sobre la base de la información relacionada a la extracción real de agua en la subcuenca. En el sector doméstico-residencial deberán impulsarse programas de educación en el uso del agua para evitar despilfarro o mal uso del agua. Entre tanto, en los sectores industrial y comercial es imperativo que se promuevan programas de producción más limpia, enfocados en la eficiencia en el uso del agua en las actividades productivas. En la agricultura es fundamental asistir a los productores para que mejoren la eficiencia de riego, aparejando tecnologías que incrementen la productividad de los cultivos.

- Los valores monetarios obtenidos a partir de los distintas técnicas de valoración utilizadas en esta investigación pueden utilizarse como un valor

de referencia ante una eventual aprobación del Anteproyecto de Ley General de aguas, la cual establece en el Artículo 105, la necesidad de establecer el pago anual de cánones por el valor del agua que todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, usen o aprovechen. De hecho, este anteproyecto de ley define el canon como *“instrumento económico que representa el valor de los recursos hídricos, el cual está relacionado con cada uno de sus usos y con las actividades de la administración pública necesarias para revertir la contaminación y degradación en bienes que forman parte del dominio público hídrico”*.

- En tal sentido, ante la necesidad de determinar la base imponible de un canon por uso y aprovechamiento de aguas, resulta de urgencia tomar en cuenta los criterios de tipo de uso del agua, volumen efectivamente aprovechado y consumido, y el beneficio que genera su uso o aprovechamiento; tal y como se ha desarrollado en la presente investigación, y que fundamentaría el requerimiento de *“elaborar la propuesta de cánones sobre uso y aprovechamiento del agua y demás bienes del dominio público hídrico...”*, establecido en el Artículo 18 del mencionado anteproyecto de ley.

- De igual forma, se recomienda utilizar este tipo de valoraciones económicas ecológicas para dar respuesta a las necesidades de diseño e implementación de mecanismos financieros, solicitados en la Política nacional del recurso hídrico, y que tienen por objetivo garantizar la conservación y disponibilidad de agua, así como para desarrollar acciones de restauración de la parte media y alta de las cuencas con potencial para la recarga hídrica.

- Finalmente, según la Estrategia nacional de recursos hídricos, la movilización de financiamiento es uno de los mayores desafíos para avanzar en el desarrollo del sector hídrico nacional. Por ello, es necesario definir un plan de inversiones estratégicas que articule las acciones propuestas bajo la agenda hídrica con agendas de cambio climático, reducción de riesgos, biodiversidad y otras. Esto permitirá optimizar el uso de recursos externos; para ello, resulta fundamental la movilización de un importante volumen de recursos internos, mediante cánones y fondos especiales, cuyos valores deberán estimarse a partir de valoraciones económicas como la desarrollada en esta investigación.

## VI. Bibliografía

- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). 2011. Boletín estadístico. República de El Salvador, C.A.
- Agroindustria azucarera de El Salvador. 2012. Foro: “agricultura sostenible, estrategia de negocios para nuevos mercados”. Fundación Empresarial para la Acción Social. FUNDEMAS. El Salvador.
- Agüero, M. 1996. Marco Conceptual de Referencia. En: Estudio de Elaboración de los Términos de Referencia del Estudio Valorización Económica y Social de los Recursos Naturales e Impactos Ambientales. Ministerio de Planificación y Coordinación de Chile.
- Alarcón, L.; Díaz, O.; Dimas, L.; González, M.; Herrador, D.; Segura, E. 2001. Costo de prácticas agrícolas para la generación de servicios ambientales en El Salvador. San Salvador, El Salvador, Fundación PRISMA. 23 p
- Allan, J.D. 2004. Landscapes and Riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 35:257-284.
- Ander, E. 1991. El desafío ecológico. Editorial Universidad Estatal a Distancia UNED. San José, Costa Rica.
- Alcama, j., et al. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Estados Unidos.
- Azqueta, D. 2002. Introducción a la economía ambiental. McGraw-Hill/ Interamericana España. Madrid.
- Azqueta, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. McGraw-Hill/Interamericana España. Madrid.
- Balvanera, P. et al. 2009. Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Balmford, A., Rodrigues, A.S.L., Walpole, M., ten Brink, P., Kettunen, M., Braat, L. & de Groot, R. (2008). *The Economics of Biodiversity and Ecosystems: Scoping the Science*. Cambridge, UK: European Commission.
- Barrantes, G. y Vega, M. Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca del río tempisque y su aplicación al ajuste de tarifas. Asociación

- para el desarrollo sostenible del área de conservación Tempisque (ASOTEMPISQUE). Costa Rica, 2002.
- Baumol, W.J. y W.E. Oates. 1988. *The theory of environmental policy*, 2a edición. Cambridge University Press, New York, Estados Unidos.
- Baxter, S. 1984 *Léxico Estratigráfico de El Salvador*. Superintendencia de Energía Comisión de Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, San Salvador 108 p.
- Bowers, J. 2005. Instrument choice for sustainable development: an application to the forestry sector. *Forest Policy and Economics* 7:97-107.
- Bartolomé, J. 1999. El agua, dominio público jurídico y bien público económico: coincidencias y divergencias de sus conceptos. Servicio de Urbanismo, Obras y Medio Ambiente. Ayuntamiento de Jaca. Huesca, España.
- Bradshaw, C.J.A., Sodhi, N. Peh, K. y Brook, B.. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13:2379-2395.
- Calder, I.A. 1998. Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiology* 18:625-631.
- Calles, J. 2003. Evaluación del servicio ambiental hídrico en la Cuenca Alta del Río Lempa y su aplicación en el ajuste de la tarifa hídrica del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123 p.
- CATIE. 1997. Productos no maderables del bosque en Baja Talamanca, Costa Rica. Olafo-CIFOR. Asociación San Migueleña de Conservación y Desarrollo (ASACODE). Turrialba, Costa Rica.
- CCT - CINTERPEDS. 1995. Valoración Económico Ecológica del Agua: Primera Aproximación para la Interiorización de Costos. San José, Costa Rica.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Cristeche, E. y J.A. Penna. 2008. *Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales*. Estudios Socioeconómicos de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción y Recursos Naturales N° 3. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Daily, G.C., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J. et al. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. *Issues in Ecology* 2:1-18.
- Dingman, S.L. 1997. *Physical Hydrology*. Prentice Hall. Pp. 646.

- Ferreiro, A. 1994. Valoración Económica del Agua. En Diego Azqueta y Antonio Ferreiro (eds). Análisis económico y gestión de los recursos naturales. Alianza Editorial S.A. Madrid, España.
- Freeman III, A.M. 1993. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future, Washington, D.C. Estados Unidos.
- Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE). 2009. El café, generador de servicios ambientales. Fundación PROCAFE. Santa Tecla, La Libertad. El Salvador.
- GOES (Gobierno de El Salvador)/PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 1981. Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. El Salvador, Documento Básico No. 12, Recursos y Demandas Potenciales de la Región "A" Cuenca Alta. PLAMDARH, San Salvador, El Salvador. 196p.
- Heuvelod J. et al. 1986. Agroclimatología tropical. 1era Ed. Editorial UNED. San José, Costa Rica.
- Ingeniería Sin Fronteras y Prosalus. 2008. Derecho al agua. Madrid. Disponible en <http://www.prosalus.es>
- Jobbágy, E. 2009. Servicios hídricos de los ecosistemas y su relación con el uso de la tierra en la llanura chaco-pampeana. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Kroeger, T. y F. Casey. 2007. An assessment of market-based approaches to providing ecosystem services on agricultural lands. Ecological Economics 64:321-332.
- Martínez, M. 2008. Mercados de servicios ambientales. Análisis de tres experiencias centroamericanas de pago por servicios ambientales. Tesis doctoral para el programa de ciencias ambientales (economía ecológica y gestión ambiental). Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2013a. Costos de producción 2012-2013. Dirección General de Economía Agropecuaria. División de Estadísticas Agropecuarias. República de El Salvador, C.A.
- \_\_\_\_\_. 2013b. Anuario de estadísticas agropecuarias 2012-2013. Dirección General de Economía Agropecuaria. División de Estadísticas Agropecuarias. República de El Salvador, C.A.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2013a. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. República de El Salvador, C.A.
- \_\_\_\_\_. 2013b. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental. República de El Salvador, C.A.
- Mitchell, R. y Carson, R. 1989. Using Surveys To Value Publics Goods: The

- Contingent Valuation Method. Washington, D.C. Resources for the Future.
- Moreno, A. 1995. La medición de las externalidades ambientales: un enfoque espacio-temporal. Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid. ISSN 0211-9803.
- Moreno M. 2001. Resumen de las Metodologías de Valoración de recursos naturales y ambientales. Documento de apoyo para los cursos de Valoración impartidos en el centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE-UNA)
- Moreno, M. 2005. La valoración económica de los servicios que brinda la biodiversidad: La experiencia en Costa Rica.
- Odum, E.P. 1989. Input Management of Production Systems. Science 243:177-181.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe nacional El Salvador. FAO Departamento Forestal. Roma 00153, Italia.
- \_\_\_\_\_. 2002. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2002: La agricultura y los bienes públicos mundiales diez años después de la Cumbre de la Tierra, Roma, Italia.
- Penna, J., de Prada, J. y Cristeche, E. 2011. Valoración económica de los servicios ambientales: teoría, métodos y aplicaciones. Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Quijas, S., Schmid, B. y Balvanera, P. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. Basic and Applied Ecology 11: 582-593.
- Ramos, C. 2010. Análisis de los efectos de la producción de cultivos bioenergéticos sobre la disponibilidad de los recursos hídricos: el caso del sistema chira. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Reyes, V., O. Segura O., M. Miriam, Fallas J., Valverde, C. y Sánchez, R. 2001. Definición de parámetros hídricos para la valoración del servicio ambiental de protección del recurso hídrico brindado por los bosques y plantaciones de Costa Rica. Documento elaborado para el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal "FONAFIFO".
- Reynolds, J. 1995. (editora). Las Aguas Subterráneas en Costa Rica: Un recurso en Peligro. En Utilización y Manejo del Recurso Hídrico. Editorial Fundación UNA, Heredia, Costa Rica. 93 p.
- Rosenthal et al. 1984. The travel cost model: concepts and applications.
- Russi, D. 2012. Glosario de meteorología e hidrología inglés-español. Versión

- 7ª. UCAR/COMET. Disponible en [http://www.meted.ucar.edu/index\\_es.php](http://www.meted.ucar.edu/index_es.php).
- Schosinsky, G., Losilla, M. 2000. Modelo Analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. En la Revista Geológica de América Central. Escuela Centroamericana de Geología. Número 23. Diciembre del 2000. Universidad de Costa Rica.
- Sánchez, J. 2008. Valoración contingente y costo de viaje aplicados al área recreativa laguna de Mucubají. Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES). 2009. Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. Dirección general del sector primario y recursos naturales renovables. México.
- Turner, R., D. Pearce y I. Bateman. 1993. Environmental Economics: An Elementary Introduction. Johns Hopkins University Press, Baltimore. Estados Unidos.
- Universidad de El Salvador y Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE). 2010. Mapa de usos de suelo de la República de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. El Salvador.
- Urtecho, J. 2011. Valoración Económica de Bienes y Servicios Ambientales, Método de Precios Hedónicos. Universidad Nacional del Callao, Ciudad Universitaria, Bellavista-Callao. Perú.

## RECOPIACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES PUBLICADAS 2008-2014

PRODUCTO	COLECCIÓN
Curso de Derecho Penal Salvadoreño. Parte General Volumen III. Teoría de la ley penal. Miguel Alberto Trejo Escobar	Colección Jurídica
Etnografía de salvadoreños migrantes en Brentwood y Hempstead Nueva York Jorge Arturo Colorado Berrios	Facultad de Ciencias Sociales
Proyecto de registro y reconocimiento de sitios arqueológicos históricos de El Salvador (PAHES-UTEC) José Heriberto Erquicia Cruz	Facultad de Ciencias Sociales Escuela de Antropología
En defensa de la Patria. Historia del Conflicto Armado en El Salvador 1980-1992 General Humberto Corado Figueroa	
Las controversiales fichas de fincas salvadoreñas. Antecedentes, origen y final. José Luis Cabrera Arévalo	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología
Recopilación Investigativa. Tomo I	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa. Tomo II	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa. Tomo III	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Apuntes sobre Mercadeo moderno José A. Exprúa	
El Estado Constitucional Dr. Mario Antonio Solano Ramírez	Colección Jurídica
Las agrupaciones ilícitas como delincuencia organizada Leonardo Ramírez Murcia	Colección Jurídica
La mujer dormida. Novela corta Eduardo Badía Serra	Colección Literaria
Koot. Revista de museología No. 1	Museo Universitario de Antropología
De la ilusión al desencanto. Reforma económica en El Salvador 1989-2009 Juan Héctor Vidal	Colección Ciencias Sociales
Casa Blanca Chalchuapa, El Salvador. Excavación en la trinchera 4N Nobuyuki Ito	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social. Escuela de Antropología

Recopilación Investigativa 2009. Tomo 1	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa 2009. Tomo 2	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
Recopilación Investigativa 2009. Tomo 3	Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social
El nuevo proceso civil y mercantil salvadoreño	Colección Jurídica
Koot. Revista de museología No. 2	Museo Universitario de Antropología
Discursos en el tiempo para graduados y otros temas educativos José Adolfo Araujo Romagoza	
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación Investigativa 2010	Vicerrectoría de Investigación
Decisiones Dr. Jorge Bustamente	
Compendio Gramatical. José Braulio Galdámez	
Foro económico: El Salvador 2011	Colección Ciencias Sociales
La violencia social delincencial asociada a la salud mental en los salvadoreños. Investigación Dr. José Ricardo Gutiérrez Quintanilla	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo I	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo II	Vicerrectoría de Investigación
Recopilación de investigación 2011 Tomo III	Vicerrectoría de Investigación
Programa psicopreventivo de educación para la vida efectividad en adolescentes UTEC-PGR Ana Sandra Aguilar de Mendoza- Milton Alexander Portillo	Vicerrectoría de Investigación
El lenguaje delincencial en El Salvador. Braulio Galdámez	
Medicina tradicional entre los indígenas de Izalco, Sonsonate, El Salvador Beatriz Castillo	Colección Ciencias Sociales
Contenido y proyección del anteproyecto de constitución política de 1950. Dr. Alfredo Martínez Moreno	Colección Jurídica
Revista Koot No 3 Dr. Ramón Rivas	Museo Universitario de Antropología

<p>Causas de la participación del clero salvadoreño en el movimiento emancipador del 5 de noviembre de 1811 en El Salvador y la postura de las autoridades eclesiales del Vaticano ante dicha participación. Claudia Rivera Navarrete</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Estudio Histórico proceso de independencia: 1811-1823 Tomo II Dr. José Melgar Brizuela</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>El Salvador insurgente 1811-1821 Centroamérica. Tomo III César A. Ramírez A.</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Antropología en El Salvador. Recorrido histórico y descriptivo Dr. Ramón Rivas</p>	<p>Colección Ciencias Sociales</p>
<p>Representatividad y pueblo en las revueltas de principios del siglo XIX en las colonias hispanoamericanas Héctor Raúl Grenni Montiel.</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Guía básica para la exportación de la Flor de Loroco, desde El Salvador hacia España, a través de las escuelas de hostelería del País Vasco. Álvaro Fernández Pérez</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>La regulación jurídico-penal de la trata de personas especial referencia a El Salvador y España Hazel Jasmin Bolaños Vásquez</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Infancia y adolescencia en la prensa escrita, radio y televisión salvadoreña Camila Calles Minero Morena Azucena Mayorga</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Participación científica de las mujeres en El Salvador. Primera aproximación Camila Calles Minero</p>	<p>Colección Investigaciones</p>
<p>Mejores prácticas en preparación de alimentos en la micro y la pequeña empresa José Remberto Miranda Mejía</p>	<p>Colección Investigaciones No. 29</p>
<p>Evaluación de factores psicosociales de riesgo y de protección de violencia juvenil en El Salvador José Ricardo Gutiérrez Quintanilla</p>	<p>Colección Investigaciones No. 30</p>
<p>Historias, patrimonios e identidades en el municipio de Huizúcar, La Libertad, El Salvador José Heriberto Erquicia Cruz Martha Marielba Herrera Reina Ariana Ninel Pleitez Quiñónez</p>	<p>Colección Investigaciones No. 31</p>
<p>Condiciones socioeconómicas de preparación para la PAES de los estudiantes de Educación Media Saúl Campos Morán Paola María Navarrete</p>	<p>Colección Investigaciones No. 32</p>

<p>Inventario de las capacidades turísticas del municipio de Chilitupán, departamento de La Libertad Lissette Cristalina Canales de Ramírez Carlos Jonatán Chávez Mejía Marco Antonio Aguilar Flores</p>	<p>Colección Investigaciones No. 33</p>
<p>Delitos relacionados con la pornografía de personas menores de 18 años. Especial referencia a las tecnologías de la información y la comunicación como medio comisivo Hazel Jasmin Bolaños Vásquez Miguel Ángel Boldova Pasamar Carlos Fuertes Iglesias</p>	<p>Colección Investigaciones No. 34</p>
<p>Condiciones culturales de los estudiantes de educación media para el aprendizaje del idioma inglés Saúl Campos Morán Paola María Navarrete Julio Aníbal Blanco</p>	<p>Colección Investigaciones No. 35</p>
<p>Valoración económica del recurso hídrico como un servicio ambiental de las zonas de recarga en las subcuenca del río Acelhuate José Ricardo Calles</p>	<p>Colección Investigaciones No. 36</p>
<p>Migración forzada y violencia criminal: Una aproximación teórico-práctica en el contexto actual Elsa Ramos</p>	<p>Colección Investigaciones No. 37</p>
<p>La prevención del maltrato en la escuela. Experiencia de un programa entre alumnos de educación media Ana Sandra Aguilar de Mendoza José Manuel Andreu Rodríguez María Elena Peña Fernández</p>	<p>Colección Investigaciones No. 38</p>

## RECOPIACIÓN DE COLECCIONES “CUADERNILLOS” 2008-2013

TITULO	COLECCIÓN
El método en la investigación. Breve historia del derecho internacional humanitario desde el mundo antiguo hasta el tratado de Utrecht Colección de Derecho No. 1 Dr. Jaime López Nuila Lic. Aldonov Frankeko Álvarez Ferrufino	Colección de Derecho
Modo de proceder en el recurso de casación en materias: civiles, mercantiles y de familia Colección de Derecho No. 2 Dr. Guillermo Machón Rivera	Colección de Derecho
La administración de justicia y la elección de los magistrados de la corte suprema de justicia luego de los acuerdos de paz Colección de Derecho No. 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez	Colección de Derecho
La Proyección Social una propuesta práctica Colección Cuaderno No. 1 Lic. Carlos Reynaldo López Nuila	Rectoría Adjunta
Hacia una nueva cultura jurídica en materia procesal civil y mercantil Colección de Derecho No. 4 Lic. Juan Carlos Ramírez Cienfuegos	Colección de Derecho
La educación: ¿derecho natural o garantía fundamental? Dr. Jaime López Nuila	Colección de Derecho
Realidad Nacional 1 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 2 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 3 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 4 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales
Realidad Nacional 5 Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez Lic. Aldonov Frankeko Álvarez	Colección Ciencias Sociales

<p>Realidad Nacional 6  Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez  Lic. Aldonov Frankeko Álvarez</p>	<p>Colección Ciencias Sociales</p>
<p>Realidad Nacional 7  Lic. Rene Edgardo Vargas Valdez  Lic. Aldonov Frankeko Álvarez</p>	<p>Colección Ciencias Sociales</p>
<p>Obstáculos para una investigación social orientada al desarrollo  Colección de Investigaciones  Dr. José Padrón Guillen</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Estructura familia y conducta antisocial de los estudiantes en Educación Media  Colección de Investigaciones No. 2  Luis Fernando Orantes Salazar</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Prevalencia de alteraciones afectivas: depresión y ansiedad en la población salvadoreña  Colección de Investigaciones No. 3  José Ricardo Gutiérrez</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Violación de derechos ante la discriminación de género.  Enfoque social  Colección de Investigaciones No. 4  Elsa Ramos</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible.  Fase I  Colección de Investigaciones No. 5  Ana Cristina Vidal Vidales</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Importancia de Iso indicadores y la medición del quehacer científico  Colección de Investigaciones No. 6  Noris López de Castaneda</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Situación de la educación superior en El Salvador  Colección de Investigaciones No. 1  Lic. Carlos Reynaldo López Nuila</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>La violencia social delincencial asociada a la salud mental.  Colección de Investigaciones No. 7  Lic. Ricardo Gutiérrez Quintanilla</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Estado de adaptación integral del estudiante de educación media de El Salvador  Colección de Investigaciones No. 8  Luis Fernando Orantes</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Aproximación etnográfica al culto popular del Hermano Macario en Izalco, Sonsonate, El Salvador.  Colección de Investigaciones No. 9  José Heriberto Erquicia Cruz</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>

<p>La televisión como generadora de pautas de conducta en los jóvenes salvadoreños  Colección de Investigaciones No. 10  Edith Ruth Vaquerano de Portillo  Domingo Orlando Alfaro Alfaro</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Violencia en las franjas infantiles de la televisión salvadoreña y canales infantiles de cable  Colección de Investigaciones No. 11  Camila Calles Minero  Morena Azucena Mayorga  Tania Pineda</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Factores que influyen en los estudiantes y que contribuyeron a determinar los resultados de la PAES 2011  Colección de Investigaciones No. 12  Saúl Campos  Blanca Ruth Orantes</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Responsabilidad legal en el manejo y disposición de desechos sólidos en hospitales de El Salvador  Colección de Investigaciones No. 13  Carolina Lucero Morán</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Obrajes de añil coloniales de los departamentos de San Vicente y La Paz, El Salvador  Colección de Investigaciones No. 14  José Heriberto Erquicia Cruz</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>San Benito de Palermo: elementos afrodescendientes en la religiosidad popular en El Salvador.  Colección de Investigaciones No. 16  José Heriberto Erquicia Cruz y Martha Marielba Herrera Reina</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Formación ciudadana en jóvenes y su impacto en el proceso democrático de El Salvador  Colección de Investigaciones No. 17  Saúl Campos</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Turismo como estrategia de desarrollo local. Caso San Esteban Catarina.  Colección de Investigaciones No. 18  Carolina Elizabeth Cerna, Larissa Guadalupe Martín y José Manuel Bonilla Alvarado</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Conformación de clúster de turismo como prueba piloto en el municipio de Nahuizalco.  Colección de Investigaciones No. 19  Blanca Ruth Galvez García, Rosa Patricia Vásquez de Alfaro, Juan Carlos Cerna Aguiñada y Oscar Armando Melgar.</p>	Vicerrectoría de Investigación
<p>Mujer y remesas: administración de las remesas.  Colección de Investigaciones No. 15  Elsa Ramos</p>	Vicerrectoría de Investigación

<p>Estrategias pedagógicas implementadas para estudiantes de educación media  Colección de Investigaciones No. 21  Ana Sandra Aguilar de Mendoza</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Participación política y ciudadana de la mujer en El Salvador  Colección de Investigaciones No. 20  Saúl Campos Morán</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Estrategia de implantación de clúster de turismo en Nahuizalco  (Propuesta de recorrido de las cuatro riquezas del municipio, como eje de desarrollo de la actividad turística)  Colección de Investigaciones No. 22  Blanca Ruth Gálvez Rivas  Rosa Patricia Vásquez de Alfaro  Óscar Armando Melgar Nájera</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Fomento del emprendedurismo a través de la capacitación y asesoría empresarial como apoyo al fortalecimiento del sector de la Mipyme del municipio de Nahuizalco en el departamento de Sonsonate. Diagnóstico de gestión.  Colección de Investigaciones No. 23  Vilma Elena Flores de Ávila</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Proyecto migraciones nahua-pipiles del postclásico en la Cordillera del Bálsamo  Colección de Investigaciones No. 24  Marlon V. Escamilla  William R. Fowler</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Transnacionalización de la sociedad salvadoreña, producto de las migraciones  Colección de Investigaciones No. 25  Elsa Ramos</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Imaginario y discursos de la herencia afrodescendiente en San Alejo, La Unión, El Salvador  Colección de Investigaciones No. 26  José Heriberto Erquicia Cruz  Martha Marielba Herrera Reina  Wolfgang Effenberger López</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>
<p>Metodología para la recuperación de espacios públicos  Colección de Investigaciones No. 27  Ana Cristina Vidal Vidales  Julio César Martínez Rivera</p>	<p>Vicerrectoría de Investigación</p>

## Hoja de vida

### **JOSÉ RICARDO CALLES HERNÁNDEZ**

El autor es Ingeniero Agrónomo con especialidad en economía agrícola, título obtenido en la ciudad de San Salvador en el año 2000. En el 2003 obtiene el título de Magíster Scientiae (MSc) en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas con especialidad en Administración y Gerencia Ambiental, en la ciudad de Turrialba, Costa Rica. A mediados del 2008 recibe el título de posgrado en Políticas e Instrumentos de gestión ambiental, en las ciudades de Madrid y París.

Como docente, el autor ha impartido diversas cátedras a nivel de maestría y licenciatura del área ambiental en universidades reconocidas de El Salvador. Entre los cursos impartidos destacan: Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Evaluación de Impacto Ambiental, Turismo y Medio Ambiente, Manejo de Sistemas Forestales y Economía Ambiental.

En el área profesional, el autor ha desarrollado importantes estudios de consultoría para empresas públicas y privadas, nacionales e internacionales, entre la que sobresalen: “Diagnóstico y diseño del plan de cogestión de la microcuenca del río Las Cañas”; “Desarrollo y puesta en marcha de un sistema para la supervisión y evaluación de los impactos de las actividades productivas de pesca y turismo en la zona costero marina”; “Diseño y puesta en marcha de mecanismo financiero para el sector hídrico bajo el Fondo Nacional del Ambiente de El Salvador”; “Evaluación Final del Proyecto Mejor Manejo y Conservación de Cuencas Hidrográficas Críticas”; “Fortalecimiento institucional en gestión financiera para el manejo sostenible de la tierra en Centroamérica y República Dominicana”; ‘Plan de Desarrollo Territorial de la Subregión Metropolitana de San Salvador’; “Sistematización de la información contenida en el registro de ejecución técnica del PMIE, para documentar los procesos y su incidencia en la conservación de biodiversidad y uso cultural del territorio en Centroamérica”; Inventario de Gases de Efecto Invernadero para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, El Salvador’; ‘Costos Económicos de la Contaminación Hídrica en la Cuenca del río Acelhuate»; y «Análisis del Impacto financiero producido con la implementación de la Metodología de Extensión Agrícola del Proyecto AGUA»; entre otros.

Asimismo, Ricardo Calles ha impartido diversos cursos a importantes actores del quehacer ambiental en el país, tales como municipalidades, ONG, y empresas privadas. Los cursos más notables han sido: «Fortalecimiento técnico a unidades ambientales municipales»; «Producción Más Limpia aplicada al Sector de Beneficiario de Café y Avícola de El Salvador»; «Ecología, Tecnología y Economía Ambiental»; y “Seguimiento y evaluación de proyectos socio-ambientales”.

En el área de investigación, el autor ha desarrollado los siguientes estudios: “Libro verde UTEC 2012, Estado del medio ambiente y perspectivas de sostenibilidad” (2013); “Diagnóstico ambiental del lago de Güija con énfasis en la calidad del agua” (2012); «Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca del río Lempa y su aplicación en el ajuste de la tarifa hídrica del Área Metropolitana de San Salvador” (2003);.

Las publicaciones más sobresalientes del autor han sido: “Aplicación del marco de referencia FMPEIR para la determinación del estado ambiental de El Salvador” (2013) en Revista Entorno de la Universidad Tecnológica, San Salvador, El Salvador; “Diagnóstico ambiental del lago de Güija con énfasis en la calidad del agua” (2012) en “Informe de estudios sobre humedales en Metapán”, San Salvador, El Salvador; «La valoración económica del servicio ambiental hídrico como fundamento para el ajuste de tarifas en el AMSS» (2007) en Suplemento Alternativas para el desarrollo, FUNDE, San Salvador, El Salvador; y “Evaluación del servicio ambiental hídrico en la cuenca alta del río Lempa” (2006) en Suplemento Recursos Naturales y Ambiente, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Esta investigación es una valoración del agua que proveen los bosques y cafetales localizados en las zonas de recarga de la subcuenca del río Acelhuate. Los valores monetarios que se han obtenido como resultado constituyen precios de referencia que debieran pagar los usuarios del recurso hídrico como una forma de reconocer los servicios ambientales que generan los ecosistemas. Dichos valores se han estimado utilizando técnicas basadas en enfoques como el costo de oportunidad del uso de la tierra, cambio en productividad y excedente del consumidor; las cuales, en su conjunto, contribuyen a fundamentar (desde el punto de vista económico-ecológico) el “precio” por el uso del agua. Asimismo, ha sido necesario determinar y analizar las entradas y salidas de agua dentro de la subcuenca, mediante un presupuesto de aguas, fundamentado en los componentes básicos del ciclo hidrológico: precipitación, infiltración, evapotranspiración, recarga y escorrentía.