

**\*SERVICIOS AMBIENTALES DE LAS CUENCAS Y PRODUCCIÓN DE AGUA,  
CONCEPTOS, VALORACION, EXPERIENCIAS  
Y SUS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN EL PERU**

**CARLOS A. LLERENA**

Facultad de Ciencias Forestales

Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú

[callerena@lamolina.edu.pe](mailto:callerena@lamolina.edu.pe)

Palabras clave: cuenca, agua, balance hídrico, valoración de servicios ambientales, PSA.

**Resumen**

Se examinan las experiencias recientes más importantes documentadas en América Latina y en otras partes del mundo, sobre consideración y pago de los servicios ambientales (PSA) generados por las cuencas hidrográficas en la producción regular de agua de buena calidad para satisfacer la necesidad de la población de este recurso vital. Se discuten los aspectos conceptuales básicos de la producción del agua en las cuencas, de los posibles efectos de los diferentes usos de la tierra y de las alteraciones de sus condiciones naturales en este proceso. Se exponen algunos mecanismos usados para la valoración y el monitoreo del recurso hídrico; y se evalúan las posibilidades de aplicación de criterios de PSA en las condiciones actuales del Perú, teniendo en cuenta la actitud positiva general hacia nuevas alternativas, participativas y equitativas de beneficio local en el manejo integral sostenible de recursos naturales. Se indican las principales limitaciones actuales que deberían superarse en este país para la óptima utilización de criterios de PSA; entre estas se señalan: las de medición precisa de la oferta y la demanda del agua, las referidas a las expectativas de la población beneficiaria, los frecuentes errores hidrológicos conceptuales, las carencias legales e institucionales y otras. Se asume que estas dificultades son superables y que, con algunos recursos y el esfuerzo concertado de algunas instituciones claves, varias de las experiencias revisadas son factibles de validarse exitosamente en el Perú.

**Abstract**

**WATERSHED ENVIRONMENTAL SERVICES AND WATER PRODUCTION: CONCEPTS, VALUATION, EXPERIENCES, AND ITS POTENTIAL APPLICATION IN PERU.** Key words: watershed, water, water balance, valuation of environmental services, payment for environmental services.

Several important Latin American and global experiences on payment for environmental services (PSA) and good quality water production by catchments are reviewed. Basic hydrological concepts related to water production on forested watersheds are briefly discussed, as well as the land use and cover change impacts on water quantity and quality. Water production valuation and monitoring methods are presented. The possibility of the PSA criteria application in Peru in the light of the present Peruvian positive attitude toward new, equitable, and environmental friendly alternatives against poverty is evaluated. The present main limitations to be overcome in Peru in order to develop PSA experiences are pointed out: Lack of hydrometeorological data, misunderstanding of hydrological processes, unreal expectations of local populations profits, legal and institutional deficiencies. It is considered that with good will and concerted local institutional effort all such local failures can be surmounted and PSA experiences are feasible to be validated and successfully applied in Peru.

---

\*©FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, durante el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.

## **Introducción**

La lógica de recibir una compensación por un servicio prestado ha sido normalmente aceptada desde las más antiguas civilizaciones. Asimismo, lo es el pago por el usufructo de una propiedad o un bien (alquiler o renta). Sin embargo, esta situación rutinaria con los servicios prestados por las personas o por el alquiler pagado por beneficios obtenidos por la utilización de bienes ajenos no es aún totalmente aceptada, claramente valorada y directamente aplicada a los servicios que el ambiente genera. Tampoco existe claridad en el caso del uso de los recursos naturales de dominio público y acceso irrestricto considerados bienes comunes o de “libre disponibilidad”, tales como el aire, el agua, el suelo, la fauna silvestre y los bosques, a pesar de la creciente presión demográfica sobre el medio y su oferta ambiental. Esto quizás se deba porque en la tradición de algunas regiones del planeta aun no están mentalmente muy lejanos los tiempos en los cuales las demandas de la población local no parecían afectar la oferta del medio y cada cual podía servirse a plenitud sin problemas o conflictos previsibles. En la actualidad, sin embargo, ya es frecuente observar situaciones en las cuales el beneficio o la satisfacción de una necesidad por una persona o grupo, aún en una actuación sin excesos, puede significar el perjuicio o la privación de sus pares (Llerena 1987). En este escenario, el Pago por Servicios Ambientales (PSA), tomado como la justa compensación por las externalidades positivas producidas por un medio o espacio determinado que cuenta con ciertas características naturales o artificiales deseables, surge como un concepto novedoso, interesante y útil; en el cual la compensación pagada, además de significar un posible y justo beneficio económico a los habitantes del espacio involucrado en la externalidad favorable, sirve también para estimular el mantenimiento del buen estado del mismo.

En este foro sobre sistemas de PSA, del Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas de Arequipa (CLAMCHA), serán presentados aspectos sobre los fundamentos del PSA, su valoración económica, el tema legal, varias de sus experiencias prácticas y su implementación, sus herramientas metodológicas y sus impactos más saltantes.

Esta revisión pretende desarrollar el PSA enfocando fundamentalmente los servicios ambientales de las cuencas hidrográficas en la producción regular de agua de buena calidad, sus conceptos hidrológicos básicos, los avances en la valoración de tales servicios de las cuencas en el Perú, así como las posibilidades y limitaciones de la aplicación de algunas de las numerosas experiencias exitosas de otros países en el nuestro.

## **Conceptos básicos y temas afines**

**La cuenca:** es un área drenada por un río, de cualquier tamaño: desde el Amazonas o el Nilo que drenan al mar caudales de miles de metros cúbicos cada segundo provenientes de millones de kilómetros cuadrados, hasta la quebrada intermitente de primer orden más modesta que drena tan sólo algunas hectáreas y tributa un flujo mínimo a su río colector. Sin embargo, es claro también que la cuenca es un sistema interconectado por el agua que fluye por la pendiente en una red de drenaje, desde sus límites más altos en sus divisorias hasta la desembocadura del río mayor. La cuenca es además una unidad natural tridimensional con interfases con la atmósfera y el subsuelo en función de la altura y profundidad que alcance su vegetación. La cuenca en sus tres dimensiones cumple muchas funciones (Black 1999).

El concepto de unidad territorial natural es el más importante ya que sólo a partir de esta clara apreciación se puede comprender que únicamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos. Es decir, cuantificar la oferta de agua que “produce” la cuenca durante el ciclo hidrológico. Es por sus cualidades de unidad hidrológica y de medio colector-almacenador-integrador de los procesos naturales y antrópicos que ocurren en la cuenca, que esta puede ventajosamente ser también una unidad política, administrativa, de gestión ambiental o de manejo de los diversos recursos naturales que alberga. La combinación de los conceptos de cuenca y ecosistema es muy útil en la investigación científica físico-biológica.

Es asimismo común, presentar a la cuenca hidrográfica como un área en la que se distinguen sectores altos, medios y bajos los cuales en función de las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos. Otra visión de las cuencas las divide en las siguientes zonas diferenciadas: río (que incluye el cauce en vaciante y creciente y su planicie de inundación), los valles adyacentes al río y las laderas en las partes más altas, hasta la divisoria de aguas.

**El balance hídrico:** el ciclo hidrológico es el proceso global por el cual se considera al agua un recurso natural renovable, debido a que en esa circulación espontánea y continua el líquido vital se purifica y retorna temporalmente a sus fuentes que la ponen al alcance de sus múltiples demandantes. Como ya fue anticipado, sólo es posible cuantificar el ciclo hidrológico dentro de los límites de una cuenca y una manera simple y práctica de hacerlo es mediante la siguiente ecuación:

$$P = Q + ET$$

P = Precipitación

Q = Caudal (Q = Es + Ess + Est)

Es = Esguerrimiento superficial

Ess = Esguerrimiento subsuperficial

Est = Esguerrimiento subterráneo

ET = Evapotranspiración (ET = E + T)

E = Evaporación = Esuelo + Efollaje (*intercepción*)

T = Transpiración

Esta representación, que puede ser considerada simplista, es muy usada y defendida con fines más prácticos que científicos, debido a la relativa facilidad de conseguir valores de P y Q. Obviamente, disponiendo de los medios y recursos es posible aumentar los parámetros y mejorar la precisión del balance hídrico. A continuación se presentan ejemplos tomados de Lima (1993), quien cita a más de 30 científicos que emplean el método. (valores en mm):

	P	Q	ET
Arizona, EE.UU., chaparral	549	34	515
Arizona, EE.UU., coníferas	639	71	568
Ohio, EE.UU., latifoliadas	970	300	670
Japón, coníferas	1113	290	823
Sud-Africa, savana	1390	590	800
Kenia, bosque tropical	1905	416	1489
Amazonia, Brasil, b. tropical	2089	541	1548
Malasia, bosque tropical	2156	1076	1079
Nueva Zelandia, podocarpus	2600	1600	1000
Queensland, Australia, b. tropical	3900	2372	1528

Algunos puntos destacables de la relación  $P = Q + ET$  son: toda el agua en cualquiera de sus formas que recibe la cuenca proviene de la precipitación (aunque esto puede no ser el caso en algunas situaciones de excepción de transferencia subterránea entre cuencas); y no siempre Q esta formado por los tres tipos de esguerrimiento indicados.

**Los bosques y el agua en la cuenca:** en las cuencas hidrográficas la cobertura vegetal es diversa y puede estar conformada por praderas o páramos, bosques de diferentes tipos de árboles y arbustos y cultivos o una combinación de estos. En este foro hay otros trabajos que se concentran en el tema de los páramos y otros tipos de vegetación, aquí desarrollaremos a mayor detalle lo referido a bosques.

Las relaciones entre los bosques-agua en el espacio que estos ocupan y en su área de influencia en una cuenca hidrográfica, son temas de estudio de la hidrología forestal que es una especialidad cuyos conceptos centrales y sus aplicaciones prácticas están aún poco desarrollados, difundidos e investigados en nuestro medio. Aspectos tales como bosques (también deforestación y reforestación) y lluvias, caudal, erosión hídrica y agua del suelo son todavía objeto de confusiones e interpretaciones erradas que pueden tener consecuencias inconvenientes (Hamilton y King 1983, Troendle y King 1985, Bruijnzeel 1991, Lima 1993, Kumari y Chomitz 1996, Abbasi y Vinithan 1997, Sandstrom 1998, Ataroff y Rada 2000) .

### *Bosques y lluvia*

En contra de algunos supuestos antiguos que aún se llegan a admitir como válidos, la evapotranspiración de un bosque no implica necesariamente que se produzca lluvia o un aumento de la misma en la cuenca o sub-cuenca en donde se ubica tal bosque (Golding 1970).

Sin embargo, hay dos excepciones a lo arriba afirmado. Una es el caso de los llamados “bosques de neblinas “ o “bosques nublados”, de ecosistemas montañosos o de lomas en los cuales se concentra el aire cargado de humedad movido por los vientos, la humedad atmosférica se condensa y el agua cae al suelo desde el follaje aumentando en forma importante su dotación para los procesos hidro-biológicos. Este proceso llamado también “lluvia horizontal” puede llegar a aportar hasta 100% más de agua disponible al suelo (Stadtmuller 1987, 1994, Hamilton et al 1995, Bruijnzeel y Hamilton 2000, WWF/ IUCN 2000). La otra situación excepcional se da en la cuenca amazónica la cual por su enorme extensión continua de bosques (unos 6 millones de kilómetros cuadrados), por la gran altura de su divisoria occidental y por la circulación atmosférica llega a convertir hasta el 75% de su evapotranspiración en lluvia que retorna dentro de sus linderos (Salati et al 1974, Salati y Vosé 1984, Victoria et al 1991)

Una de las interrelaciones más importantes entre el bosque y la lluvia se da en el proceso de intercepción, por el cual gran parte de la precipitación incidente en la cuenca moja el follaje, queda retenida en la copa de los árboles y retorna la atmósfera por evaporación. Los valores de intercepción varían en función de la composición del bosque, sus características y ubicación. Un rango de valores medios de intercepción expresada como porcentaje de la lluvia total, generalmente aceptado para los bosques 15 a 40 %. Como se indicó anteriormente, la intercepción es parte de la evapotranspiración (Bruijnzel 1990, 1991).

### ***Bosques y caudales***

La presencia de bosques en una cuenca no significa el aumento del caudal sino generalmente (en función al tipo de bosque, su estado y el clima) su posible disminución como consecuencia de las demandas de agua por la planta y su intercepción (evapotranspiración). El popular concepto del bosque y sus suelos forestales considerados como “esponja hídrica” por su capacidad de retener el agua y soltarla poco a poco, debería por lo menos combinarse con el de “bomba hidráulica” por la cantidad de agua que mueve del suelo hacia la atmósfera (Hewlett 1982, Hamilton y King 1983, Smiet 1987, Brooks et al 1997).

Sin embargo, la mayor cobertura vegetal de la cuenca con bosques mejorará su capacidad de infiltración y el agua de lluvia que llegue al suelo, incrementará gradualmente el caudal por la vía sub-superficial, produciendo un flujo de agua más limpio y regular, con rangos de caudales anuales extremos más pequeños. Asimismo, la evapotranspiración permitirá crear nuevos espacios disponibles para almacenar agua, disminuyendo los riesgos de saturación e inundación. Hay también controversia en relación a la deforestación y las inundaciones (Gentry y López-Parodi 1980, Hewlett 1982a, Sternberg 1987, Ives 1991), aunque cada vez es más claro que no existe una correspondencia directa y lineal entre ambos eventos.

Una cuenca deforestada transferirá un menor volumen de agua hacia la atmósfera por evapotranspiración, quedando por tanto más agua para el caudal. Sin embargo, con escasa vegetación sobre el suelo y menores valores de infiltración, el agua de lluvia que llegue al suelo alcanzará los cauces por escurrimientos superficiales rápidos que producirán erosión en las laderas y un flujo violento y cargado de sedimentos que aumentará la turbidez del río y las posibilidades de altos picos de descarga e inundaciones.

### ***Bosques y erosión***

El potencial de erosión de la lluvia tanto por el impacto del agua al caer como por su escurrimiento superficial, se mitiga por la cubierta forestal aérea y de la hojarasca acumulada producida por el bosque, al disminuir esta el golpe de las gotas que llegan al suelo e interrumpir el flujo del escurrimiento sobre él, minimizando en ambos casos su energía cinética. Para que un bosque presente las mejores posibilidades de mitigar la erosión debe contar con sus tres niveles de protección del suelo en buenas condiciones: la copa, la capa de hojarasca y su sistema radicular. Cuando en un bosque o en una plantación forestal no se cuenta con la protección de la hojarasca sobre el suelo, debido a su aprovechamiento para

establos, crianza de aves o por causa de incendios forestales, la lluvia que se produzca al concentrarse en las copas y caer sobre un suelo desprotegido, podría ocasionar estragos erosivos de mayor magnitud en zonas con árboles que en zonas deforestadas. La protección del bosque contra procesos de erosión en masa es limitada (Siddle et al 1985 y Ramsay 1987)

**El manejo de cuencas:** de acuerdo a IPROGA (1996) y Dourojeanni (1994), quienes toman la definición planteada en 1989 por el Grupo Manejo de Cuencas de la UNALM, se entiende como tal la aplicación de principios y métodos para el uso racional, integrado y participativo de los recursos naturales de la cuenca; fundamentalmente del agua, del suelo y de la vegetación, a fin de lograr una producción de bienes óptima y sostenida a partir de estos recursos, con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores y usuarios de la cuenca. En el manejo de la cuenca es importante la labor coordinada de las instituciones públicas y privadas pertinentes.

Este amplio concepto implica importantes temas inherentes al manejo de la cuenca tales como la multidisciplinariedad y la necesidad de contar con especialistas en hidrología, suelos y cultivos, riegos, forestería, agrostología, zootecnia, pesquería, biología, geología, geomorfología (terrestre y fluvial), ciencias humanas, economía, entre otras; la fundamental participación de la población local; la condición de sistema integral e integrado de la cuenca; la sostenibilidad; y la coordinación interinstitucional (IPROGA 1996).

**Temas afines:** existe un sinnúmero de temas interrelacionados entre sí y muy afines a la problemática actual de las cuencas, a su manejo y al PSA, que no pueden ser desarrollados en este documento. Algunos de ellos se tratarán en el CLAMCHA. Por su importancia, algunos se mencionan brevemente aquí y se ampliarán más adelante. Tal es el caso de la calidad del agua (Kunkle et al, 1990), la regulación de los caudales de los ríos, el caudal ecológico y la productividad acuática (Brown 1991, Naiman 1992, Mantiega y Olmeda 1992, Duffield et al 1994, Ritcher et al 1997, Petts 1996, Sanz-Ronda et al 2001); en relación con la cobertura vegetal, los bosques nublados de montaña y los bosques de protección en laderas y riberas (Clinnick 1985, Sidle et al 1985, Stadtmuller 1986, Welsh 1991, Stadtmuller 1994, Hamilton et al 1995, Acosta 1996, Lima et al 1999, Rodrigues y Leitao 2000, Bruijnzeel y Hamilton 2000, WWF/IUCN 2000, Zanabria 2001).

## **Valoración de servicios ambientales en el Perú**

**Cordillera Escalera, Tarapoto, San Martín, Perú:** aparentemente el único caso difundido de valoración cuantitativa de los servicios hidrológico-ambientales de una cuenca es el que se llevó a cabo con motivo de la presentación de la propuesta del estudio justificatorio para el establecimiento del área de conservación regional Cordillera Escalera (bosque muy húmedo Premontano Tropical y bosque nublado montano tropical) por CEDISA y APECO, con apoyo de BIOFOR (Glave y Pizarro 2001). Se tomaron mediciones directas de los caudales de los ríos que drenan las cuencas de Escalera (Shanusi, Cumbaza, Chazuta-Chipaota y Cainarachi), se estimó su caudal medio y se calculó el valor económico del agua que llevan, utilizando para este fin las tarifas existentes por los diferentes usos del agua (doméstico, agropecuario, industrial y acuícola) en la zona de la ciudad de Tarapoto y alrededores. Luego se calculó el valor económico de la zona por su servicio ambiental como fuente generadora de agua con regímenes regulares y de buena calidad y por adicionales servicios similares (Portilla 2001).

Aunque el método es en buena parte aproximado y podrían plantearse algunos problemas metodológicos, los resultados muestran con claridad y holgura que los servicios ambientales debidos a la presencia del bosque en las cuencas de la Cordillera Escalera, influyen en forma favorable, tanto cuantitativamente (captación de neblinas) como cualitativamente (agua con bajo contenido de sedimentos en suspensión), en el producto final que entregan aguas abajo a los pobladores de las ciudades, a los agricultores y a los acuicultores. En este caso específico, la explotación del bosque que protege laderas y riberas y la deforestación del área, en especial en las cabeceras de las cuencas, no sólo subiría los costos de limpieza del agua antes de su uso final, sino que es muy probable que la eliminación de los árboles en cuya superficie foliar se condensan las neblinas genere la significativa disminución de los caudales, especialmente en la época de estiaje. Actualmente, el servicio ambiental de generación de agua es el principal de estos servicios de Escalera con más del 85% del total (Portilla 2001). La necesidad de valoración económica de los ecosistemas que proveen servicios ambientales se ve más claramente cuando estos enfrentan amenazas (Glave, 2002).

## **Experiencias de PSA en cuencas para la producción de agua**

No se conocen aún experiencias concretas de este tipo en el Perú. Sin embargo, de acuerdo al IIED, actualmente se cuentan más de 60 en el mundo y varias iniciativas y casos con avances

prácticos son planteados a partir de 1997 por TNC (1997) en Quito, Ecuador; Echavarría y Lochman (1999) y Echavarría (1999) en Nueva York, EE.UU.; Paraná, Brasil; Cauca, Colombia; Quito, Ecuador; y Francia; NSC (2000) en Nueva York, EE.UU.; Johnson et al (2001) en Francia, Costa Rica, Cauca, Colombia; Nueva York y otras ciudades en EE.UU.; Australia; y Paraná, Brasil; IIED (2002) en el Caribe, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia, México y Filipinas; Pagiola (2002) y Pagiola et al (2002) en Costa Rica, India, EE.UU. y Quito, Ecuador; Echavarría (2002), Echavarría y Vogel (2002) y Vogel (2002) en Pimampiro, Cuenca y Quito, Ecuador; y Bent (1998) y Hill (2003) en Quabbin, Massachusetts, EE.UU..

Por su mayor desarrollo relativo y por la información con que se cuenta se presentarán los casos de Quito en Ecuador, Costa Rica y Quabbin. En otras presentaciones del CLAMCHA especialistas dedicados al tema plantearán casos adicionales de PSA en cuencas para la producción de agua en: Guatemala, Costa Rica, Perú, Panamá, Chile, República Dominicana, Ecuador, Nicaragua, Honduras, El Salvador y México.

#### **Quito, Ecuador:**

- Servicio ambiental prestado: Agua suficiente y de calidad para Quito y su entorno
- ¿Quién lo presta? Los pobladores de la cuenca alta de las Reservas Cayambé-Coca y Antisana
- ¿Quién paga por él? Los usuarios del agua (agricultores, industriales, residentes urbanos, hidroeléctricas), el Gobierno central (autoridad de aguas), con aportes privados.
- ¿Qué instrumentos se usan? Desde el año 2000 FONAG, fondo especial bien manejado financieramente, para proteger la cuenca y conservar sus bosques y vegetación silvestre.
- Nivel de eficiencia logrado: De medio a bajo
- Impacto en los bosques o vegetación natural: Se inicia a fines del 2002 y es aún incipiente

#### **Costa Rica:**

- Servicio ambiental prestado: Hidrológicos, detener la deforestación, reforestar y proteger las cuencas
- ¿Quién lo presta? Pobladores de los bosques en las cuencas altas
- ¿Quién paga por él? Los ciudadanos usuarios del agua doméstica, agrícola e industrial; los que habitan planicies de inundación y los productores de hidroenergía

- ¿Qué instrumentos se usan? El FONAFIFO desde 1997 es un fondo provisto de ingresos con respaldo legal.
- Nivel de eficiencia logrado: Medio
- Impacto en los bosques o vegetación natural: Decreció la deforestación, aumentó la reforestación y se protegieron las cuencas.

#### **Quabbin, MA, EE.UU.:**

- Servicio ambiental prestado: Principalmente agua para la ciudad de Boston
- ¿Quién lo presta? Desde 1930, la autoridad local, la Comisión del Distrito Metropolitano que lo maneja y que paga un alquiler a los pueblos en donde esta ubicado el reservorio.
- ¿Quién paga por él? Los usuarios del agua en la ciudad y los que usan el reservorio y su entorno para turismo, recreación, pesca y observación de aves.
- ¿Qué instrumentos se usan? Recaudación de tarifas de agua y venta de madera de sus bosques.
- Nivel de eficiencia: Alto
- Impacto en los bosques o vegetación natural: Mantenimiento de la cobertura vegetal, manejo de bosques para producción de madera y protección de la cuenca.

#### **Posibilidades**

En general, existen interesantes modelos a seguir en temas de política, legislación, organización local y de instituciones encargadas de programas de PSA por producción de agua en cuencas, siendo los casos de Ecuador y Costa Rica los que merecen ser considerados con mayor atención en el Perú..

Costa Rica por su menor superficie territorial, su mayor estabilidad política en los últimos años y al alcance nacional de su programa de PSA, muestra una situación más promisoría y con mayor potencial de replica en otros países de Centro y Sud-América.

#### **Limitaciones**

En forma práctica, al estar aun en sus comienzos el programa PSA en Costa Rica y abarcar diferentes servicios, su alcance nacional puede significar una carga muy fuerte con metas de difícil cumplimiento.

La principal dificultad observada en los programas PSA en Ecuador está directamente relacionada a las crisis vividas en ese país en los últimos años.

En comparación a Costa Rica y Ecuador y otros países en los cuales se han desarrollado programas PSA, la situación del Perú en temas de medición hidrometeorológica y en catastro rural es pobre, en especial en la región amazónica y andina. Asimismo, los aspectos políticos, legales y administrativos, en general están menos implementados, en especial en lo que respecta al control del uso y al pago de tarifas de agua.

### **Las exigencias del futuro previsible**

Hay en el Perú en el futuro cercano, aspectos centrales como la nueva Ley de Aguas que podría generar algunas situaciones novedosas en temas de PSA por servicios hidrológicos de cuencas. Temas que necesariamente deben ser considerados próximamente son el incremento y la mejor calidad de datos hidrometeorológicos en coordinación con el SENAMHI, pero sin dejar todo el gran trabajo por hacer en este campo sólo en sus manos (Gunston 1998); la mejora en la información catastral; el aumento en la eficiencia en el uso del agua, en especial en el riego y en el uso doméstico (NCDENR 1998, Pammenter 2002)); la generación de nuevas ofertas hídricas especialmente en zonas áridas tales como atrapanieblas y reciclaje de aguas (Sopper y Kardos 1972). Se deberá también prestar atención técnicamente al tema de los ríos regulados con derivaciones o transvases de agua y su caudal ecológico (FAO 1995). Serán asuntos que precisarán asimismo ser tratados el de las plantas genéticamente modificadas y su consumo de agua (Kaufmann et al 1987, Grill y Ziegler 1998); la medición más precisa de la transpiración de los árboles (Wullschleger et al 1998); y los posibles impactos de los cambios globales en los bosques, la vegetación nativa altonadina y la oferta hídrica del Perú (Llerena 1991, Gash et al 1996, Bonell 1998). Frente a todas estas demandas del futuro, la participación ordenada de los centros educativos en todos sus niveles junto con iniciativas privadas se hace imprescindible para cubrir las necesidades de educación ambiental en especial en zonas rurales, capacitación práctica, técnica y superior e investigación científica. .

### **Conclusiones**

- La apertura de estos tiempos ante temas ambientales, la urgencia de encarar las crecientes demandas de agua en cantidad y calidad adecuadas en los próximos años; y las actuales

discusiones legales en el país en torno al agua, crean una situación muy favorable en el Perú para el desarrollo concertado de programas de PSA hidrológicos de cuencas hidrográficas. Aunque aún no se pueden exhibir casos concretos ya se han dado los primeros pasos.

- Hay muchas lecciones a tomar en cuenta a partir de las experiencias vividas en otros países tales como Costa Rica y Ecuador que son las más documentadas actualmente. Se debe examinar con mayor detención los casos de Brasil y Colombia. La reunión del CLAMCHA-PSA permitirá avanzar en este conocimiento.
- Es urgente incrementar y mejorar las bases de datos de medición del agua y estar en condiciones de realizar balances hídricos más precisos en las cuencas hidrográficas del Perú. Asimismo, para lograr acuerdos estables y funcionales entre proveedores y beneficiarios de servicios ambientales se debe mejorar el catastro rural.
- Con el fin de evitar expectativas erradas y de orientar mejor a la población en general, se deben presentar más extensivamente y difundir mejor los conceptos hidrológico-forestales más importantes relacionados al PSA.

### **Agradecimientos**

A Martha Echavarría por compartir generosamente sus experiencias en PSA; a la FAO por invitarme a participar en el Taller sobre PSA hidrológicos y facilitar mi presencia en el III CLAMCHA; y a Zoila Cruz, Marne Suárez, Rosa María Hermoza, Amanda De la Torre y Fernando Regal por su apoyo en la preparación de mis ponencias.

### **Referencias bibliográficas**

- ABBASI,S.A. y VINITHAN, S. (1997).** Ecological Impacts of Eucalyptus: Myths and Realities. *Indian Forester* 123 (8):710-739.
- ACOSTA, B.A.N. (1996)** Las Precipitaciones Ocultas y sus Aplicaciones a la Agricultura, FAO-CTA-JRC/EU-WMO, Agrometeorological Applications Associates, Ornex, 170pp.
- ATAROFF, M. y RADA, F. (2000).** Deforestation Impact on Water Dynamics in a Venezuelan Andean Cloud Forest. *Ambio* 29 (7):440-444.
- BENT, G.C. (1998)** Effects of forest management activities on runoff components and ground-water recharge to Quabbin Reservoir, central Massachusetts. USGS, Marlborough, MA, USA. Presentado en la Conferencia Internacional del Grupo de Trabajo 1.05.06 de la IUFRO y otras instituciones, Sturbridge, MA. (No publicado)
- BLACK,P.E.(1997).** Watershed Functions. *Journal of The American Water resources*

*Association* 33(1):1-11.

**BONELL, M.** (1998). Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology. *Climatic Change* 39:215-272.

**BROOKS, K.N., FFOLLIOTT, P., GREGERSEN, M. y DeBANO, L.** (1997) Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University Press, Ames, 502pp.

**BROWN, G.W.** (1985) Forestry and Water Quality, College of Forestry, Oregon State University, Corvallis, 142pp.

**BROWN, T.C.** (1991) Water for Wilderness Areas: Instream Flow Needs, Protection, and Economic Value. *Rivers* 2(4):311-325.

**BROWN, T.C. y BINKLEY, D.** (1994) Effect of management on water quality in North American forests, USDA-FS, GTR RM-248, Fort Collins, 27pp.

**BRUIJNZEEL, L.A.** (1990) Hydrology of moist tropical Forests and effects of conversion: a state of knowledge review. UNESCO, IAHS, Free University Amsterdam, 224pp.

**BRUIJNZEEL, L.A.** (1991) Hydrological impacts of tropical forest conversion. *Nature & Resources* 27 (2):36-45.

**BRUIJNZEEL, L.A. y HAMILTON, L.S.** (2000) Decision Time for Cloud Forests. UNESCO, IUCN, WWF, 39 pp.

**CLINNICK, P.F.** 1984. Buffer Strip Management in Forest Operations: A Review, *Australian Forestry* 48 (1):34-45.

**DOUROJEANNI, A.** (1994) Políticas Públicas para el Desarrollo Sustentable: la Gestión Integral de Cuencas, CEPAL-INRENA, Lima, 222pp.

**DOUROJEANNI, A.** (1994a) La Gestión del Agua y las Cuencas en América Latina, *Revista de la CEPAL* 53: 111-126.

**DUFFIELD, J.W., BROWN, T.C. y ALLEN, S.D.** 1994. Economic Value of Instream Flow in Montana's Big Hole and Bitterroot Rivers, Research Paper. USDA Forest Service, 64 pp.

**ECHAVARRIA, M.** (1999) Agua: Valoración del Servicio Ambiental que Prestan las Áreas Protegidas, TNC, Quito, 79pp.

**ECHAVARRIA, M.** (2002) Financing Watershed Conservation; The FONAG Water Fund in Quito, Ecuador. En: Pagiola, S., Bishop, J. y Landel-Mills, N. (Editores), *Selling Forest Environmental Services*, Earthscan, Londres: 91-101.

**ECHAVARRIA, M. y LOCHMAN, L.** (1999) Policy Mechanisms for Watershed Conservation, Case Studies. Conservation Finance and Policy Program, TNC Latin America and Caribbean Region, Arlington, 29pp.

**ECHAVARRIA, M. y VOGEL, J.H.** (2002) Impact Assessment of Watershed Environmental Services: Emerging Lessons from Pimampiro and Cuenca in Ecuador, Ecodecisión-IIED, Quito, 61pp.

**FAO** (1995) Environmental Impact Assessment of Irrigation and Drainage Projects, Irrigation and Drainage Paper 53, ODA-FAO, Roma, 74pp.

**GASH, J.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M. y VICTORIA, R.L.** (Editores, 1996) Amazonian Deforestation and Climate, Institute of Hydrology, Wiley & Sons, Chichester, 611pp.

**GENTRY, A.H. y LOPEZ-PARODI, J.** (1980) Deforestation and Increasing Flooding of the Upper Amazon. *Science* 210:1354-1356

**GLAVE, M. y PIZARRO, R.** (Editores, 2001). Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú. INRENA, IRG, USAID. 474 pp.

**GLAVE, M.** (2002). Riquezas no debidamente apreciadas, ¿Cuánto valen los recursos de altas montañas? Diario "El Comercio", Lima, jueves 21 de noviembre de 2002.

**GOLDING, D.L.** (1970). The Effects of Forests on Precipitation. *The Forestry Chronicle*

46:5:397-402.

- GRILL, E. y ZIEGLER, H.** (1998) A Plant's Dilemma, *Science* 282: 252-253.
- GUNSTON, H.** (1998) Hydrology in Tropical Countries, ITDG, Wallingford, 108pp.
- HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. y SCATENA, F.N.** (Editores, 1995) Tropical Montane Cloud Forests, Ecological Studies Vol.110, Springer-Verlag, Ann Arbor, 407pp.
- HAMILTON, L.S. y KING, P.N.** (1983) Tropical forested watersheds, Hydrologic and soils response to mayor uses or conversions, East-West Center/UNESCO-MAB, Westview Press, Boulder,168pp.
- HEWLETT, J.D.** (1982) Principles of forest hydrology, The University of Georgia Press, Athens, 183pp.
- HEWLETT, J.D.** (1982a) Forests and Floods in the Light of Recent Investigation. Proceedings Canadian Hydrological Symposium, Fredericton: 543-560.
- HILL, S.** (2003) Quabbin quenches Boston's thirst, Daily Hampshire Gazette, Northampton, Mass (Internet).
- IIED** (2002) Markets for Watershed Protection Services and Improved Livelihoods. Project Meeting, London, 32pp.
- IPROGA** (1996) Metodología para la Elaboración de Planes Maestros de Cuencas, Instituto de Promoción para la Gestión del Agua, Lima, 78pp.
- IVES, J.** (1991). Floods in Bangladesh: who is to blame? *New Scientist*:34-37.
- JOHNSON, N., WHITE, A. Y PERROT-MAITRE, D.** (2001) Developing Markets for Water Services from Forests: Issues and Lessons for Innovators. Forest Trends, WRI, Katoomba Group, Washington D.C., 21pp.
- KAUFMANN, M.R., TROENDLE C.A., RYAN M.G y MOWRER, H.T** (1987) Trees: the Link Between Silviculture and Hydrology. Management of Subalpine Forests: Building on 50 Years of Research. Proceedings of a Technical Conference, USDA FS, Fort Collins, 60 pp.
- KUMARI, K y CHOMITZ, K.M.** (1996) The Domestic Benefits of Tropical forests: A Critical Review Emphasizing Hydrological Functions, The World Bank Working Paper N° 1601, 52pp.
- KUNKLE, S., JOHNSON, W.S y FLORA, M.** (1990). Monitoreo de calidad de Agua de Corrientes para Determinar los Impactos por Usos de la Tierra. Manual de Entrenamiento. Servicio Forestal, Washington, EEUU.
- LIMA, W. de P.** (1993) Impacto ambiental do eucalipto, Edusp, Sao Paulo, 301pp.
- LIMA, W. P., ZAKIA, M.J., CAMARA, C.D., FERRAZ, F.F. y CEZARE, C.G.** (1999) Indicators of Soil and Water Conservation for Sustainable Forest Management in the Neotropics. Invited paper: Conferencia y Taller Internacional sobre Indicadores para el Manejo Forestal Sostenible en el Neotrópico. CATIE, Costa Rica.
- LLERENA, P.C.** (1987) Erosion and Sedimentation Issues in Peru. En: *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim* (Simposio de Corvallis, OR) Public. IAHS N° 165: 3-14
- LLERENA, P.C.** (1991) Contaminación Atmosférica, Efecto Invernadero y Cambios climáticos: Sus Impactos Forestales, *Revista Forestal del Perú* 18 (2): 101-135
- MANTEIGA, L. y C.OLMEDA.** (1992). La Regulación del Caudal Ecológico, *Quercus* 76:44-46.
- NAIMAN, R.J.** (Editor, 1992) Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change, Springer-Verlag, New York, 542pp.
- NCDENR** (1998). Water Efficiency Manual for Commercial, Industrial and Institutional Facilities, North Carolina Department of Environment and Natural Resources, 117 pp.
- PAGIOLA, S.** (2002) Paying for Water Services in Central America: Learning from Costa

Rica. En: Pagiola, S., Bishop, J. y Landel-Mills, N. (Editores), *Selling Forest Environmental Services*, Earthscan, Londres: 37-61.

**PAGIOLA, S., BISHOP, J. y LANDEL-MILLS, N.** (Editores, 2002) *Selling Forest Environmental Services*, Earthscan, Londres, 299pp.

**PAMMENTER, N.W.**(2002). Water Use Efficiency: What are the implications for plantation forestry?.*Southern African Forestry Journal* 195:73-78.

**PETTS, G.E.** (1996)Water Allocation to Protect River Ecosystems, *Regulated Rivers: Research & Management* 12:353-365.

**PORTILLA, C.A.** (2001) Valoración Económica del Bosque de Protección, Cordillera Escalera, San Martín. En: Glave, M. y Pizarro, R. (Editores), Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú, INRENA-IRG-USAID: 237-284.

**RAMSAY,W.J.H.**(1987).Deforestation and erosion in the Nepalese Himalaya: Is the link myth or reality? En: *Forest Hydrology and Watershed Management* (Simposio de Vancouver, Canadá) Public. IAHS N° 167:239-249..

**RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.F., WIGINGTON, R. y BRAUN, D,P.**(1997) How much water does a river need?, *Freshwater Biology* 37:231-249.

**RODRIGUES, R.R. y LEITAO, F.H. de F.** (Editores, 2000). Matas Ciliares: Conservação e Recuperação. Edusp, Sao Paulo, 320 pp.

**SALATI, E., DALL'OLIO, A., MATSUI, E. y GAT, J.** (1979) Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study, *Water Resources Research* 15 (5):150-1258.

**SALATI, E. y VOSE, P.B.** (1984) Amazon Basin: A System in Equilibrium. *Science* 225 (4658): 129-138.

**SANDSTROM,K.**(1998). Can Forests "Provide" Water: Widespread Myth or Scientific Reality? *Ambio* 27 (2):132-138.

**SANZ -RONDA, F.J., MONGIL, J., SAÍZ, A y MARTINEZ DE AZAGRA, A.** (2001). Estudio de Caudales Mínimos de Mantenimiento en varios Ríos de las Provincias de Burgos y Palencia..En: Protección y Restauración del Medio Natural: 515-521, Montes para la sociedad del Nuevo Milenio III Congreso Forestal Español. Granada, España.

**SIDLE, R.C., PEARCE, A.J. y O'LOUGHLIN, C.L.** (1985) Hillslope stability and land use, Monografía sobre recursos hídricos No. 11, American Geophysical Union, Washington D.C., 140pp.

**SMIET, F.** (1987) Tropical Watershed Under Attack, *Ambio* 16 (2-3): 156-158

**SOPPER, W.E. y KARDOS. L.T.** (1972). Effects of Municipal Wastewater Disposal on the Forest Ecosystem,. Reprint Series n.31. Institute for Research on Land & Water Resources.

**STADTMULLER, T.** (1994) Impacto Hidrológico del Manejo Forestal de Bosques Naturales Tropicales: Medidas para Mitigarlo, una revisión bibliográfica, CATIE-COSUDE, Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N° 10, Turrialba, 62pp.

**STADTMULLER, T.** (1987) Los bosques nublados en el trópico húmedo, UNU, CATIE, Turrialba, 85pp.

**STERNBERG, H.O.** (1987).Aggravation of Floods in the Amazon River as a Consequence of Deforestation?.*Geografiska Annaler* 69 A(1):201-219.

**SWANSON, R.H., BERNIER, P.Y. y WOODARD, P.D.** (Editores, 1987) Forest hydrology and watershed management, Publicación IAHS No. 167, Wallingford, 625pp.

**TNC** (1997) Water: Together We Can Care For It, Case Study of a Watershed Conservation Fund for Quito, Ecuador. The Nature Conservancy, 14pp.

**TROENDLE,C.A y KING, R.M.**(1985) The Effect of Timber Harvest on the Fool Creek Watershed, 30 Years Later, *Water Resources Research* 21 (12):1915-1922.

**VICTORIA, R.L., MARTINELLI, L.A., MORTATI, J. y RICHEY, J.** (1991)

Mechanisms of Water Recycling in the Amazon Basin: Isotopic Insights. *Ambio* 20 (8): 384-387.

**VOGEL, J.H.** (2002) Markets or Metaphors? A Sustainable Livelihoods Approach to Environmental Services: Two Cases from Ecuador. IIED & Ecodecisión, Quito, 49pp.

**WELSCH, D.J.** Riparian Forest Buffers, function and design for Protection and Enhancement of Water Resources. USDA, Forest Service. 20pp.

**WULLSCHLEGER, S.D., MEINZER, F.C y R.A. VERTESSY.** (1998). A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology* 18:499-512.

**WWF/IUCN** (2000). Bosques Nublados Tropicales Montanos: Tiempo para la Acción, WWF International, The World conservation Union, *arborvitae*, 28 pp.

**ZANABRIA, V.C.P.** (2001) Los bosques tropicales nublados de montaña en la quebrada Torohuaca, San Ignacio, Cajamarca y su influencia en la precipitación local, Tesis Ing. For., UNALM, 72pp. + anexos.

*calp*