



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias  
Comisión Nacional Forestal

## REPORTE FINAL

### Diseño de un sistema de Pago por Servicios Ambientales Hídricos en la Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México.

Autor: M.Sc. Jorge Luis Chagoya Fuentes

#### Introducción

Los bosques localizados en la Sierra de Otontepec generan diversos servicios ambientales (fijación de carbono, conservación de la biodiversidad, belleza escénica, control de erosión laminar y generación de los recursos hidrológicos) (Gaceta del Estado de Veracruz 2005). Sin embargo, debido a las características socioeconómicas y culturales de la población local, los servicios mencionados anteriormente no son valorados. En otras palabras, las externalidades positivas que estos bosques generan no son compensadas por los usuarios de las mismas y los poseedores del bosque no reciben ningún estímulo para asegurar la preservación de los ecosistemas naturales (Pagiola *et al* 2006). Los esquemas de Pago por Servicios Ambientales hidrológicos (PSAH) surgen como una estrategia para vincular a los que protegen un ecosistema que provee un servicio ambiental hidrológico con los usuarios del mismo, donde en teoría los usuarios del servicio hidrológico deben pagar una tarifa para la conservación del ecosistema (Wunder 2005). Desafortunadamente, la implementación de esquemas de PSAH en naciones subdesarrolladas ha sido complicada y los resultados del impacto positivo que estos esquemas han tenido son muy escasos (FAO 2004a, 2004b). Estudios recientes indican algunas razones por las cuales estos esquemas han tenido dificultades en su proceso de implementación y evaluación de impactos. Los autores argumentan que muchas de las políticas de PSAH en Latinoamérica son diseñadas para su ejecución a nivel nacional con los mismos criterios para todas las eco-regiones del país y que en el caso de los Servicios Ambientales Hídricos (SAH) las condiciones son variables de una región a otra, por ejemplo: la geología é hidrología de la microcuenca; la vocación productiva de los suelos; el costo de oportunidad de las actividades productivas en la zona; el grado de marginación y pobreza de la población local; el porcentaje anual de incremento poblacional; la infraestructura hidráulica; el nivel cultural y las tradiciones locales (FAO 2004a; Wunder 2005; Porras *et al* 2008).

La Sierra de Otontepec abastece directamente de agua fresca a una población aproximada de 100,000 personas distribuidas en 9 municipalidades (Tepetzintla, Tamalín, Tantíma, Chontla, Ixcatepec, Chinampa de Gorostiza, Naranjos-Amatlán, Tancoco y Citlaltepetl) (INEGI 2005). Desde el punto de vista de mercado, los proveedores de dichos servicio son los Ejidatarios y Pequeños Propietarios de los terrenos que se encuentran en las zonas de

recarga de los acuíferos y los usuarios son las personas que viven en las comunidades y ciudades asentadas en las partes bajas. La situación anterior genera un conflicto de intereses entre las personas de las tierras altas que modifican el bosque natural para producir algo y así poder sobrevivir y las personas de las tierras bajas que año con año perciben que el abastecimiento de agua es menor y creen que la reducción en el flujo de los manantiales es debido a la deforestación en las zonas altas de la Sierra. En un intento para vincular a ambos actores, en 2005 el Municipio de Tepetzintla comento su interés sobre el desarrollo de una propuesta para pago local de SAH con el objetivo de proteger el bosque nativo en las zonas altas é incrementar el flujo de los acuíferos que abastecen a esta municipalidad (Información personal, Ing. Jesús Zeníl Méndez, Presidente Municipal de Tepetzintla (Periodo 2005-2007). Sin embargo, el establecimiento de un esquema local de PSAH basado en suposiciones causa-efecto (Kaimowitz 2005) y sin conocimiento del monto a pagar por la protección del bosque podría traer en primer término, falsas expectativas entre los usuarios del agua que estuvieran pagando un PSAH y en segundo término un desanimo de los dueños del bosque a participar dentro del esquema propuesto si el monto a pagar no cubre adecuadamente el costo de oportunidad de la tierra. Los argumentos anteriores fueron el sustento para el desarrollo de la presente investigación, la cual tuvo como objetivo principal el desarrollo de una propuesta de un esquema local de Pago por Servicios Ambientales Hídricos para las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes en la Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México.

## **Problemática**

La Sierra de Otontepec, debido a sus características geológicas (Robin 1976) y a su cobertura boscosa, está plenamente capacitada para capturar el agua de lluvia, retenerla en el subsuelo y posteriormente liberarla lentamente mediante numerosos manantiales. El agua liberada por los acuíferos es transportada por una red de líneas y depósitos hasta los asentamientos humanos localizados tierras abajo. Sin embargo, debido a las características socioeconómicas y culturales de la región, el bosque nativo es transformado a otros usos de suelo que generan ingresos para los pobladores de las comunidades rurales (agricultura y ganadería). Desafortunadamente, este cambio de uso de suelo puede poner en riesgo la capacidad de recarga de los acuíferos, mediante la reducción de la tasa de infiltración del suelo (Bruijnzeel 1990). Entonces una posible solución a este conflicto es el Pago para la protección de los Servicios Hidrológicos que los bosques naturales ofrecen (mantenimiento de la tasa de infiltración normal de los primeros centímetros del suelo). Hasta el momento la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) mediante su programa de PSAH es la única institución en México que está pagando por la conservación del bosque en zonas de recarga de mantos acuíferos (SEMARNAT 2009). De hecho, en la Sierra de Otontepec se está pagando un PSAH a algunos ejidos y pequeños propietarios (ejemplo: Ejido San Juan-Nicolasillo), sin embargo hay muchas partes de la Sierra que son áreas de recarga importantes pero que por una parte no cumplen con los requisitos marcados por la CONAFOR para acceder al apoyo y en otros casos el costo de oportunidad de la tierra es mayor al pago otorgado por la institución.

## **Antecedentes**

Gobierno del Estado de Veracruz en el 2005 decretó Área Natural Protegida a la Sierra de Otontepec (Gaceta del Estado de Veracruz 2005). Sin embargo, antes de la publicación del decreto, la Sierra prácticamente estaba fuera de la visión de las instituciones. La situación anterior generó zonas de conflicto de uso de suelo, donde grandes áreas se deforestaron, a veces influenciadas por políticas nacionales como el “Programa Nacional de desmontes” (Castañeda 2006) y la Ley de la Reforma Agraria de 1971 y por otro lado al incremento del precio de la tierra cuando este fuera desmontado y con pasturas. Actualmente, 1,862 hectáreas de la zona alta de la Sierra están posesionadas en 9 ejidos (Tancoco, Tancoco1, San Juan Otontepec, San Juan Nicolasillo, Copaltitla, Citlaltepétl, Apachicruz 1, Apachicruz y Adolfo López Mateos) y es un común denominador que los ejidatarios son personas de descendencia indígena (Huastecos) y con una cultura muy arraigada de la agricultura. El Decreto de ANP sugiere, por la importancia de los servicios ecosistémicos que la Sierra provee, un ordenamiento territorial, liberando las áreas que están por arriba de los 550 msnm de su actividad actual y su conversión a bosque natural. Sin embargo, el documento es normativo y no indica en qué forma se hará este ordenamiento territorial y como se compensará el costo de oportunidad a los actuales poseedores de las tierras.

Este proyecto presenta una propuesta para diseñar un esquema local de PSAH que contempla la compensación del costo de oportunidad de la tierra a los dueños de los bosques, por la venta de los servicios ambientales hídricos que sus bosques ayudan a producir, bajo las condiciones biofísicas y socioeconómicas de la Sierra de Otontepec.

Una recomendación de estudios recientes sobre protección de microcuencas es, que el desarrollo de esquemas Locales de Pago por Servicios Ambientales Hídricos (PSAH) deben basarse en información multidisciplinaria, esto con el objetivo de evitar falsas recomendaciones, las cuales pongan en riesgo su implementación y operación (FAO 2004a, 2004b). Es por eso que el diseño del presente esquema local de PSAH, se desarrollo tomando en cuenta la siguiente información: a) Parámetros hidrológicos básicos (escorrentía, infiltración, percolación, cambios de humedad del perfil del suelo) de los principales usos de suelo localizados en la zona de recarga de un acuífero (bosque en regeneración secundaria, bosque de encino, pasturas con arbustos y pasturas sin árboles), b) Información geológica, características físico-químicas de los suelos localizados en la zona de recarga, c) Información meteorológica, d) Costo de Oportunidad de los bosques nativos, e) Infraestructura hidráulica existente para abastecimiento de agua y f) Punto de vista de los usuarios del agua con respecto al pago de un servicio ambiental hídrico.

## **Metodología para la construcción del esquema local de PSAH para la Sierra de Otontepec**

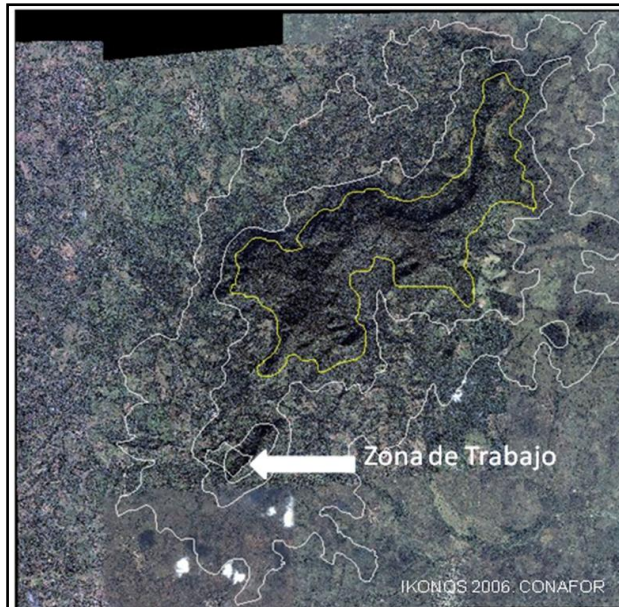
El presente proyecto desarrolló una metodología para diseñar un esquema local de PSAH. Este método sugiere una serie de pasos los cuales se presentan a continuación. El orden en que aparecen, es el orden lógico sugerido en el cual se deberán de realizar las actividades en campo. Cada paso se ejemplifica con un estudio de caso realizado en una microcuenca localizada en la zona alta de la Sierra de Otontepec.

## Paso 1. Marco Legal

Para el desarrollo de un esquema local de PSAH es necesario conocer el contexto legal que aplica en la zona donde se piensa establecer el esquema. El objetivo de esta actividad es identificar leyes ó decretos que puedan ayudar ó limitar el desarrollo del esquema a proponer.

### Ejemplo:

El caso de la Sierra de Otontepec es muy interesante y para mejor entendimiento del contexto político seguiré una línea de tiempo. Después de la Revolución Mexicana consumada en 1917 las tierras de la Sierra de Otontepec fueron ocupadas por campesinos los cuales implementaron esquemas tradicionales de agricultura. Posteriormente al surgimiento de la ley de la Reforma Agraria publicada en 1971, el estado asigno parte de las tierras altas a ejidatarios los cuales empiezan a utilizar los recursos naturales donados. Los ejidos localizados en la Sierra de Otontepec son: Tancoco 1; Tancoco, San Juan Otontepec, San Juan Nicolasillo, Copaltitla, Citlaltepétl, Apachicruz, Apachicruz y Adolfo López Mateos, los cuales cubren una superficie de 1,862 hectáreas. Las personas ubicadas en los ejidos comenzaron a utilizar las tierras para poder sobrevivir. Posteriormente y bajo el régimen de la pequeña propiedad, áreas extensas de la Sierra se empezaron a desmontar y a establecer en pastizales, los cuales cubren hasta el momento un área total de 10,358 hectáreas. En Febrero del 2005 el Gobierno del Estado de Veracruz, promulga el decreto de “Área Natural Protegida Sierra de Otontepec” (ANPSO) la cual esta soportada por la Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección del Medio Ambiente publicada en 1988. Hasta antes del decreto la montaña estuvo fuera de la visión de las instituciones y de la ley, por lo que realizo un uso y abuso de los recursos naturales. El decreto de ANPSO marca tres zonas; terrenos entre las cotas de 350 y 550 msnm, terrenos entre 550 y 750 msnm y terrenos arriba de los 750 msnm (Imagen 1). En la zona núcleo (+750 msnm) la cual según el decreto debe estar bajo uso de suelo forestal tiene fuertes zonas de conflicto (zonas de agricultura y ganadería). Para finalizar, se puede comentar que, por un lado, la ley marca que en la Sierra de Otontepec debe protegerse la cobertura boscosa, pero por el otro lado, los campesinos y ganaderos utilizan las tierras que se les asignaron ó compraron. Evidentemente existe un conflicto político de uso de suelo, la pregunta es: ¿Qué estrategia hay que seguir para que no se genere un conflicto político-social y al mismo tiempo proteger los bosques? El presente proyecto es una propuesta para lograrlo.



Mapa 1. Área Natural Protegida “Sierra de Otontepec” Norte de Veracruz, México.

## **Paso 2. Identificar a un núcleo poblacional con problemas de abastecimiento de agua**

Este punto es de relevancia ya que el interés de la población en participar en algún esquema de PSAH es directamente proporcional al grado de escasez del recurso hídrico. Una comunidad sin problemas de abastecimiento de agua no considera prioritario la conservación del ecosistema que los abastece. En otras palabras, la demanda de solución a los problemas de abastecimiento de agua debe venir de la comunidad hacia las instituciones y no en sentido inverso.

### **Ejemplo:**

El Gobierno Municipal de Tepetzintla, Veracruz en la Administración 2005 –2007, comento al autor del presente estudio, que tenía la intención de implementar un esquema de PSAH para las comunidades con problemas mas severos de abastecimiento de agua, esto con la finalidad de resolver esta situación demandada durante las campañas políticas. La implementación del esquema local de PSAH tendría como objetivo la protección de los bosques y la reconversión de uso de suelo (siguiendo el decreto de ANP) en las zonas altas de la montaña para incrementar el caudal de los manantiales. La recomendación fue, que primero se debe hacer un estudio de las características biofísicas y socioeconómicas de ambos actores del conflicto, esto es, los proveedores y los usuarios del servicio ambiental, con el objetivo de evitar falsas expectativas en la población las cuales pudieran generar en el futuro problemas sociales y políticos. Se seleccionaron las comunidades rurales de “El Humo-Tepetzintla”, “Tezitlal-Tepetzitla” y “Tezitlal-Chontla” las cuales cuentan en total con una población de 2,072 personas y que a pesar de pertenecer a dos municipios diferentes se abastecen desde hace 20 años, de la misma área de recarga. De estas comunidades, “El Humo” sufre de escasez de agua sobre todo en los meses de sequía y la población atribuye esto a la deforestación a la que ha sido sujeta la parte alta de la montaña.

## **Paso 3. Localizar los manantiales que abastecen a la comunidad y delimitar el área de recarga del acuífero.**

Para hacer más eficiente el uso de los escasos recursos económicos y poder calcular adecuadamente el monto del pago, es indispensable identificar donde están localizados los manantiales que abastecen a las comunidades y determinar su área de recarga la cual será prioritaria para su protección. Este paso es trascendental en el desarrollo del presente esquema de PSAH, ya que identificando el manantial que abastece a la comunidad se puede monitorear año con año, con el objetivo de medir su flujo base (producción de agua al final de la época seca), conociendo su flujo base se puede calcular la cantidad de agua que cada ciudadano esta recibiendo por día y se puede determinar también, tomando en cuenta la información demográfica, cual será el abastecimiento para los próximos años. Además, en caso de que se ejerza algún recurso económico en la zona de recarga, se podrá comentar que ese recurso tiene un impacto cuantificado en la conservación de una cantidad específica de agua.

Por otro lado, la delimitación del área de recarga indicará donde se tiene que pagar, evitando ejercer recursos en zonas que no son prioritarias. Además, esta actividad indicará si se tienen conflictos de uso de suelo en la zona de recarga y se identificarán quienes son

los dueños de dichos terrenos, a los cuales se les clasificará como los proveedores del servicio ambiental hídrico.

### **Ejemplo:**

Para llevar a cabo esta etapa del estudio de caso, se solicitó la ayuda de un experto en geología y suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (Ph.D. Adreas Nieuwenhuys), se visitaron los manantiales y se determinó, por medio de la descripción de los perfiles del suelo y la topografía de la microcuenca, la posible área de recarga de los manantiales que abastecen a las comunidades antes mencionadas. Dicha área tiene una extensión de 68 Hectáreas (Imagen 2). Los dueños de las tierras en la microcuenca son 10 Ejidatarios y dos pequeños propietarios. Los usos de suelo identificados en la microcuenca fueron: Bosque en Regeneración Secundaria (23.6 has), Bosques perturbados de encino (*Quercus oleoides*) (5.3 has), Bosques riparios (4.5 has) Pasturas con arbustos (*Conestegia xalapensis*) (4.8 has), Pasturas con árboles de Encino (20.0 has) y el resto en pasturas de Estrella de África sin árboles (9.8 has) (Imagen 3).



Imagen 2.- Zona de Recarga de los manantiales que abastecen a la comunidad de “El Humo”, Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México. Imagen Satelital IKONOS (Dic 2006). Propietario: CONAFOR

Conocer el tamaño del área de recarga es de mucha utilidad para entender el ciclo hidrológico de la microcuenca, esto es ¿Cuanto tarda una gota de agua que cae en forma de lluvia en atravesar todo el acuífero y ser liberada en los manantiales? Según un estudio de vulcanología de la Sierra de Otontepec desarrollado en 1975 por Robin Claude, indica que la montaña esta asentada sobre la plataforma continental a la altura de los 600 msnm y que fue formada por un volcán, el cual presentó 9 procesos de lava, alguno de los cuales tienen mas de 100 metros de espesor. Si consideramos que la Sierra tiene en algunos lugares 1,000

metros de altura esto quiere decir que una gota que cae en la parte más alta debe atravesar más de 300 metros de roca para llegar a la plataforma y posteriormente ser liberada en un manantial. El comentario anterior tiene implicaciones en el desarrollo de políticas de PSAH, ya que si el ciclo hidrológico de la microcuenca en estudio es de mediano y largo plazo, las actividades de mejoramiento ó reconversión de uso de suelo, tendrán un impacto que será difícil de cuantificar en el corto plazo. Por lo que se sugiere, no tener como objetivo el incremento en la producción de agua de los manantiales como premisa para establecer el esquema local de PSAH, solo la conservación de los bosques como el uso de suelo más seguro para garantizar una buena tasa de infiltración en los suelos. Reforzando lo anterior, información meteorológica local indica que el acuífero recarga dependiendo la cantidad de lluvia que reciba y de la forma en que las lluvias son distribuidas. Esto quiere decir que en años con lluvias continuas y poco violentas el acuífero tendrá mayores probabilidades de recargar que en un año con una época de lluvias muy corta y en forma muy violenta. Finalmente se puede comentar que, con base en el aforamiento de los manantiales durante tres años (Grafico 1). El flujo base no presentó variaciones muy marcadas durante ese lapso de tiempo, +/- 4.3 litros por segundo, lo que implica una producción anual base de 135.6 millones de litros de agua y una disponibilidad por habitante por día de 180 litros.

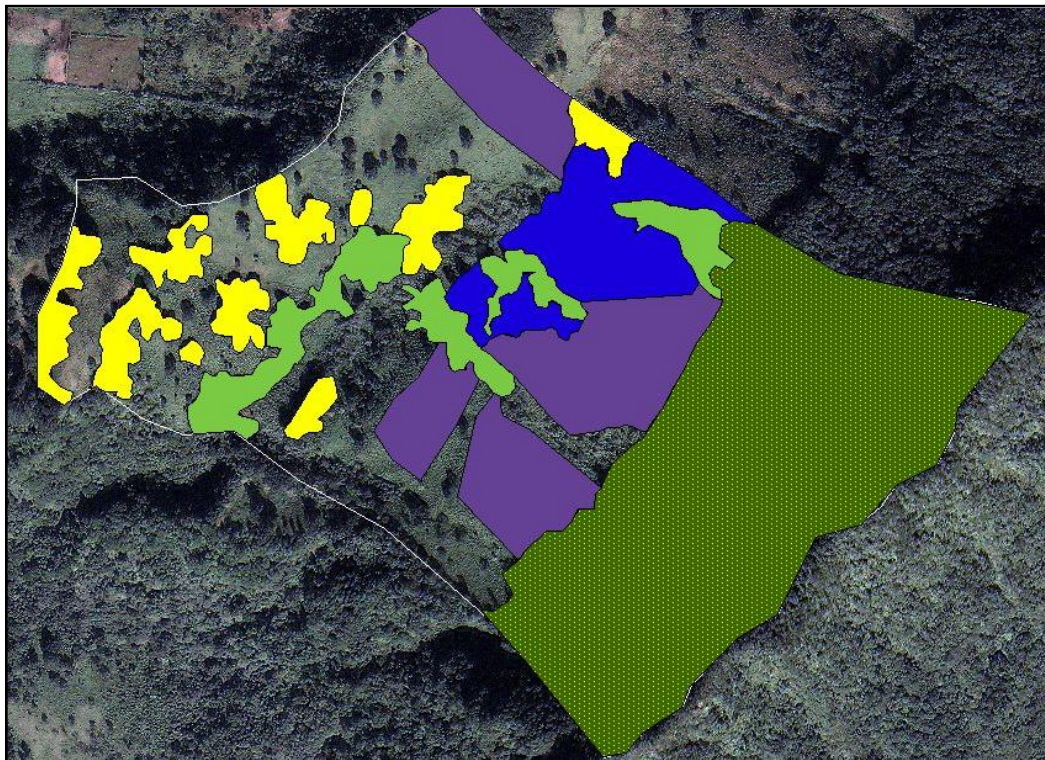


Imagen 3.- Zona de Recarga de los manantiales que abastecen a la comunidad de “El Humo”, Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México. Imagen Satelital IKONOS (Dic 2006). Prop. CONAFOR. Descripción: Amarillo - Bosquetes de Encino; Verde Claro - Bosques Riparios; Morado - Pasturas sin árboles; Azul - Sistema Silvopastoril (Pasturas + Arbustos); Sin color – Pasturas con árboles de Encino.

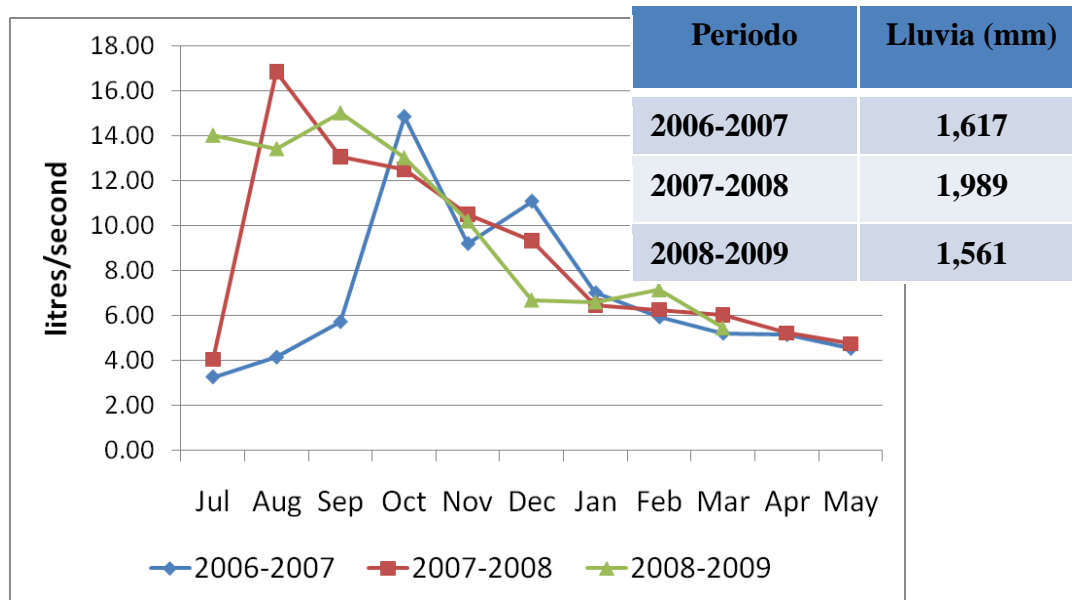


Grafico 1.- Flujo anual de los manantiales que abastecen a las comunidades de “El Humo”, “Tezital-Tepetzintla”, “Tezital-Chontla”. Periodo 2006-2009.

Con base en el gráfico número 1 se puede comentar que el flujo de los manantiales es fuertemente influenciado durante la época de lluvias, el cual ha llegado a registrar más de 16 l/seg, reduciéndose paulatinamente durante los meses de sequia para llegar a un flujo aproximado de 4 l/seg. También se puede observar que la cantidad de lluvia durante los tres años de muestreo ha variado en algunos casos con una diferencia de más de 300 mm. Sin embargo, es interesante notar que el flujo base al final de época de sequia es prácticamente el mismo. Estos resultados ayudan a soportar la hipótesis de que no es posible incrementar el flujo base los manantiales con algún cambio de uso de suelo, ya que tal parece, que en este caso la geología esta influenciando el ciclo hidrológico del acuífero.

Durante la visita a la zona donde están los manantiales se observo que cada comunidad tiene infraestructura rustica para captar el agua que es liberada (Fotos 1 y 2). Sin embargo, la distribución del agua no es equitativa (Tabla 1). Los resultados indican que la disponibilidad del agua es muy distinta entre las comunidades y que “El Humo” recibe una menor cantidad por habitante (107.2 l/habitante/día). Esta situación es muy importante considerarla dentro del diseño del esquema local de PSAH ya que debe haber una distribución equitativa de agua para poder asignar un pago equitativo con base en el consumo. Esto implica que paralelo al desarrollo del esquema de PSAH se debe trabajar en la organización de las comunidades para la buena gobernanza del recurso hídrico.

Tabla 1. Abastecimiento de agua a las comunidades de “El Humo”, “Tezital-Tepetzintla” y “Tezital-Chontla” con base en el aforo del día 3 de Junio del 2008.

Comunidad	Litros/Segundo	Habitantes	Litros/habitante/día
“El Humo”	2,27	1,828	107.2
“Tezital-Tepetzintla”	0.64	87	633.4
“Tezital-Chontla”	1.31	157	720.74



Fotos 1 y 2. Aforamiento de los manantiales que abastecen a las comunidades de “El Humo”, “Tezital-Tepetzintla”, “Tezital-Chontla”. Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México.

#### **Paso 4. Obtener información biofísica básica del comportamiento hidrológico de los usos de suelos de la microcuenca**

Este punto es trascendental en el diseño de un esquema local de PSAH. Desafortunadamente, casi todos los esquemas establecidos de PSAH en Latinoamérica están soportados en suposiciones causa-efecto sin ningún soporte científico, poniendo en riesgo la sostenibilidad del esquema (FAO 2004a; FAO 2004b; Bonell 2005; Kaimowitz 2005; Wunder 2005; Pagiola *et al* 2006; Porras *et al* 2008). Por lo que es muy importante determinar si al cambiar el uso de suelo de bosque a pasturas se está afectando en ciclo hidrológico bajo las condiciones biofísicas de cada zona de recarga. Se recomienda que en cada microcuenca que se vaya a establecer un esquema local de PSAH, se realicen las siguientes actividades; 1) identificación de los usos de suelo mas importantes en la zona de recarga, 2) realizar en cada uso una descripción del perfil del suelo, siguiendo una metodología estandarizada, 3) realizar un análisis físico y químico de los suelos, 3) toma de muestras de suelo para determinar el grado de compactación y 4) pruebas de infiltración con la técnica de doble anillo. Con la información anterior es posible cuantificar si el cambio de uso de suelo esta alterando la capacidad natural de infiltración de los suelos. En caso afirmativo, se podrá decir que si se realiza una regeneración natural del bosque en una zona de recarga se tendrá la posibilidad de incrementar la tasa de infiltración y en caso contrario, esto es si el cambio de uso no ha perturbado considerablemente las características del suelo, se evitara crear falsas expectativas entre los usuarios del agua, sobre el incremento del caudal.

### **Ejemplo:**

En el área de recarga del acuífero que abastece a la comunidades se identificaron los siguientes usos del suelo: Bosques de Encino, Bosque en Regeneración Secundaria, Sistema Silvopastoril (pasturas + arbustos), Pasturas con árboles de Encino y Pasturas sin árboles. En cada uso se realizó la descripción del perfil del suelo siguiendo la metodología propuesta por FAO 1990. Además, se cuantificaron los siguientes parámetros; escorrentía superficial, goteo de copa, comportamiento de humedad en el perfil del suelo, infiltración con doble anillo, densidad aparente del suelo y se calculó la evapotranspiración y la percolación de cada uso de suelo.

Los resultados obtenidos de la descripción de los suelos indican que los suelos donde existe alto grado de pendiente presentan depósitos colluviales (son originados por derrumbes) y están en proceso de formación (Inceptisoles), su estructura es muy buena (formación de agregados), el porcentaje de materia orgánica es alto, la textura presenta poca adhesión y se observo gran desarrollo de raíces en los primeros 30 cm. Así mismo, existe una gran cantidad de macroporos y grietas pequeñas que ayudan a la infiltración del agua. Sin embargo, los perfiles cambian abruptamente a la profundidad de 70 cm donde se tornan más arcillosos, más densos, con menos materia orgánica, raíces y poros (Foto 3 y 4).



Fotos 3 y 4. Perfiles del suelo en Bosque en regeneración secundaria (Izquierda) y Pasturas con arbustos (Derecha). Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México.

Como se puede apreciar en las fotos 3 y 4 los perfiles son bastante parecidos en ambos usos de suelo. En ambos casos el horizonte A fue formado por un proceso colluvial (observe las rocas colocadas en irregular forma) que se depositó sobre otro suelo que estaba en proceso de meteorización (zona de roca en foto izquierda y zona rojiza en foto derecha). Cabe mencionar que según la literatura en este tipo de suelos el movimiento de escorrentía es predominantemente sub-superficial (Bonell 2005).

## Indicadores Hidrológicos

### Escorrentía

Para determinar la escorrentía superficial se instaló una parcela de 10 x 20 metros (200 m<sup>2</sup>) en cada uno de los usos de suelo identificados, la razón para hacerlas de este tamaño es que mientras más grande es la parcela es más representativa de las características del suelo. Su proceso de construcción e instalación se presentan en la fotos 5, 6, 7 y 8. Además, se diseño y construyo el equipo necesario para medir la posible escorrentía. Los resultados indican que la escorrentía superficial es muy escasa en todos los usos de suelo (menos del 5%). Estos resultados son similares a los encontrados en las Montañas Azules de Jamaica (McDonald *et al* 2002) y en la Sierra de Oaxaca (Martínez *et al* 2001). Bonell (2005) indica que en este tipo de montañas donde existe presencia de procesos colluviales la escorrentía sub-superficial es predominante, teniendo en partes de la ladera un reflujó de escorrentía que emerge del subsuelo y posteriormente vuelve al subsuelo en zonas de mayor infiltración (Diagrama 1).



(5)



(6)



(7)



(8)

Fotos 5, 6, 7 y 8. Proceso de construcción de las parcelas de escorrentía. Corte de la lamina galvanizada (5). Lamina galvanizada instalada en campo y desagüe de 4" de la parcela de escorrentía (6). Construcción de la fosa donde se coloco el equipo para medir escorrentía (7). Equipo para medición de escorrentía instalado en campo (8).

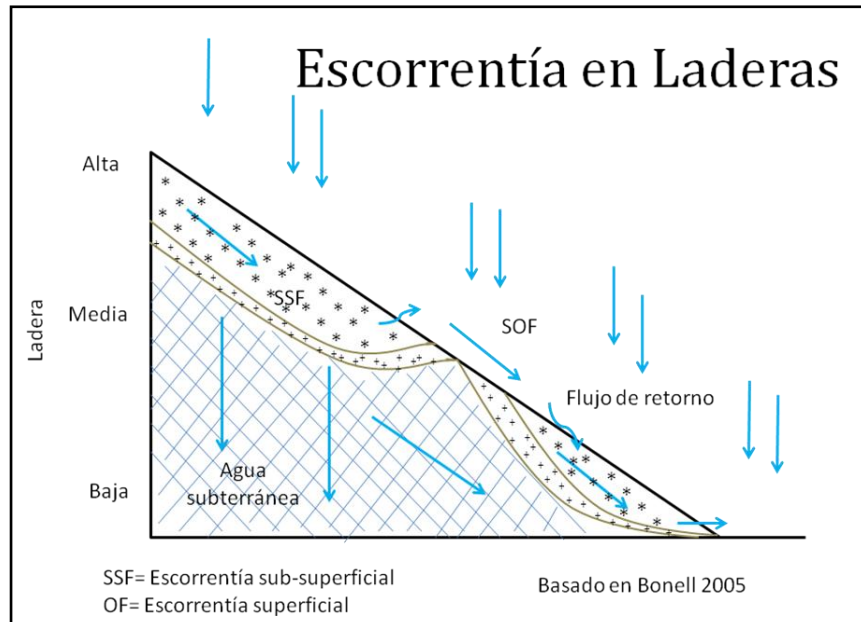


Diagrama 1. Escorrentía en laderas. Las flechas azules indican el flujo del agua. \* Indica una textura permeable causada por un proceso colluvial. + Indica una textura menos permeable. La cuadrícula indica la roca madre donde se retiene el agua subterránea que posteriormente será liberada en los manantiales.

### Densidad Aparente

Debido a la presencia de rocas en el suelos, la densidad aparente se calculo con un método denominado bolsa abierta (USDA 1999) (Fotos 9 y 10). Se desarrollaron 20 pruebas en cada uso de suelo mediante un muestreo al azar. Los resultados indican que la densidad aparente es significativamente menor ( $p < 0.001$ ) en los usos de suelo con bosque y sistema silvopastoril que las pasturas sin árboles ( $0.97, 0.99, 0.99$  vs  $1.17$   $\text{g}/\text{cm}^3$ , para bosque en regeneración secundaria, bosque perturbado de encino, sistema silvopastoril y pastura de estrella de África, respectivamente). Esto indica que la actividad pecuaria esta compactando los suelos. Sin embargo, es importante comentar que este nivel de compactación no se considera muy severo para este tipo de suelos (Ward and Elliot 1995).



Fotos 9 y 10. Prueba de densidad aparente método "Bolsa Abierta". Note la cantidad de rocas en los primeros 10 cm del suelo. El espacio se rellena con agua para calcular el volumen que estaba ocupado por el suelo.

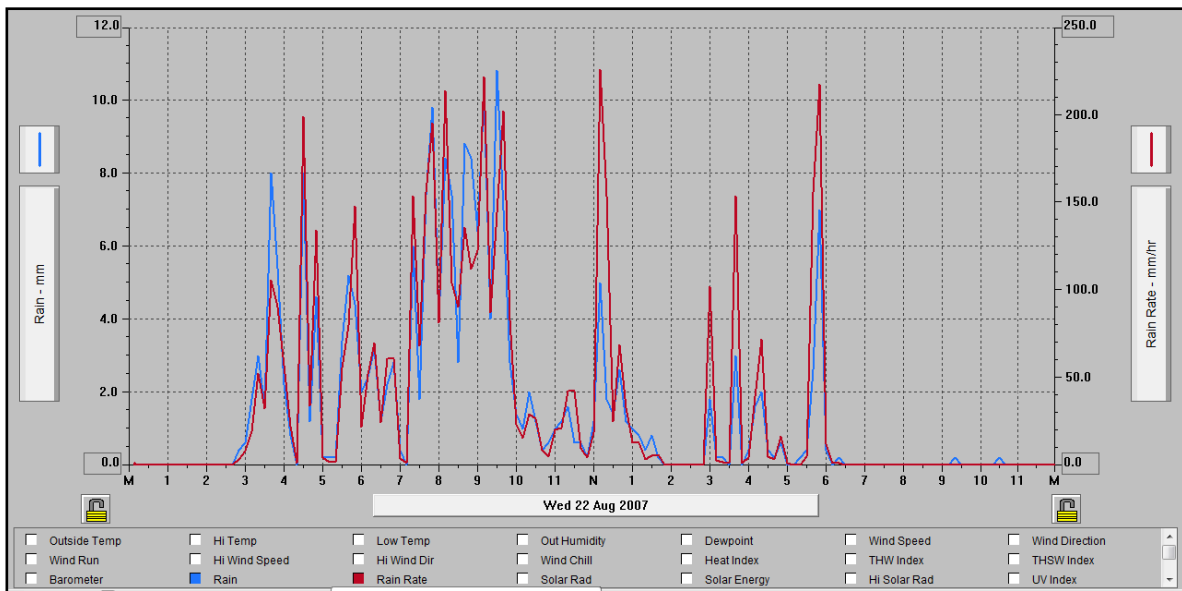
## **Infiltración**

En cada uno de los usos de suelo se llevaron a cabo 5 pruebas de infiltración con la técnica de doble anillo (Henríquez and Cabalceta 1999). Los resultados indican que la infiltración de los suelos es significativamente mayor ( $p < 0.001$ ) en los usos de suelo forestales que en las pasturas sin árboles (14.09, 11.15, 7.82 vs 0.98 cm/h, para sistema silvopastoril, bosque en regeneración secundaria, bosque de encino y pastura de estrella de África, respectivamente) Estos resultados son similares a los reportados en la literatura por Yates *et al.*, 2000; Schultz *et al.*, 2004 and Zimmermann *et al* 2006. La gran diferencia entre los usos de suelo forestales y las pasturas puede deberse a la cantidad de roca a través del perfil de suelo (Farvolden 1963) y la presencia de raíces más profundas de los árboles y arbustos (Bergkamp 1998). Aquí surge una pregunta interesante, ¿Por qué si los bosques tienen un potencial mayor para infiltrar, el escurrimiento superficial es escaso en todos los usos de suelo? La respuesta puede estar en cuatro aspectos 1) la menor tasa de infiltración es suficiente para transportar el agua de lluvia liberada por la tormenta, 2) el comportamiento de una tormenta, 2) las características del perfil del suelo y 3) la capacidad de drenaje del subsuelo. En la gráfica 2 se presenta el comportamiento del Huracán Dean el cual impactó la zona el día 22 de Agosto del 2007 con categoría 2.

En la gráfica 1 se observa que la tormenta inició a las 3 am del día 22 y terminó a las 6 am del día 23, esto es 27 horas de lluvia. También se aprecia que se tuvieron periodos muy intensos de lluvia seguidos por periodos de calma. Esto es, el suelo tiene tiempo para infiltrar cuando deja de llover. Si tomamos en cuenta el menor potencial de infiltración registrado (0.98 cm/h) y lo multiplicamos por la duración de la tormenta (27 h), tenemos que ese suelo tuvo la capacidad de infiltrar 264 mm de los 300 mm que registró el huracán. Aunado a lo anterior se puede comentar que los suelos de la microcuenca tienen una gran capacidad de drenaje. En la gráfica 3 se presenta el comportamiento de la humedad del perfil de suelo a tres profundidades (15, 45 y 75 cm, respectivamente) durante el periodo Agosto - Octubre 2007. Al analizar el gráfico y tomando en cuenta de que cada punto representa un día, se observa que los suelos tienen una extraordinaria capacidad para desalojar el exceso de agua y quedar a capacidad de campo a las 24 hrs posteriores a una tormenta. Esto evita la saturación del perfil y facilita el transporte de agua hacia las capas más profundas. Es sumamente importante remarcar que este comportamiento hidrológico es normal en suelos formados por lavas basálticas alcalinas (Stephenson and Zuzel 1981; Smith 2004; Weiler *et al* 2005). Por lo que es probable que en otro tipo de suelos el comportamiento hidrológico sea diferente. En resumen se puede comentar que, los bosques nativos y el sistema silvopastoril evaluado tienen un extraordinario potencial de infiltración y que las pasturas, aunque poseen un menor potencial para infiltrar, han tenido la capacidad de infiltrar la lluvia generada por las tormentas registradas durante 2007. Sin embargo esta situación puede ser distinta si los dueños de los terrenos cambian el manejo de sus pasturas (sobrepastoreo, quema, uso de herbicidas) ó actividad productiva (agricultura ó venta de madera). Para responder adecuadamente estas suposiciones es necesario desarrollar más investigación con usos de suelo llevados hasta un proceso de degradación (caso que no encontramos en esta microcuenca). Esto es comparar los bosques contra pasturas muy degradadas ó cultivos agrícolas con suelo desnudo. Tal vez los resultados serían distintos pero hay que hacer los experimentos. Por lo anterior propongo que se considere continuar con esta investigación en la sierra de Otontepec ó incorporar los usos de suelo que se sugieren y/ó realizar estudios similares en otras zonas muy importantes de recarga hídrica

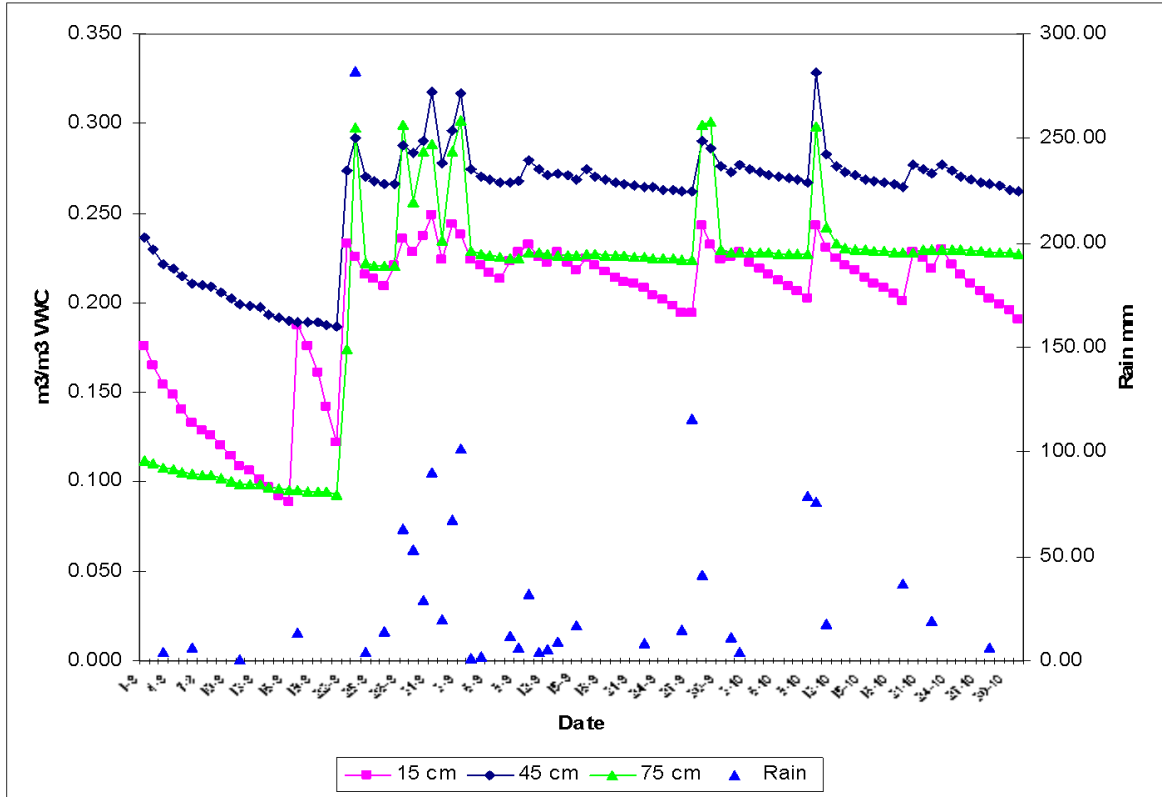
en el estado de Veracruz, como puede ser El Cofre de Perote, Los Tuxtlas, Coatepec, la cuenca alta del Rio Jamapa, entre otros.

Grafica 2. Comportamiento de la lluvia generada por el Huracán “Dean”. Registro de la estación micro-meteorológica DAVIS® localizada en San Juan Otontepec, Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México, 2007.



Los argumentos presentados con anterioridad son la base para la siguiente reflexión. La producción de agua del acuífero bajo estudio está determinada por factores que están fuera de las manos del hombre (geología de la microcuenca y las condiciones meteorológicas) y por factores que pueden ser modificados por el mismo (uso del suelo). En este estudio de caso y con base en la información recolectada, no se puede asegurar un incremento en la producción del acuífero. En Economía Ecológica se diría que no se puede asegurar un efecto “Adicional” por el cambio de pasturas a bosque (Wunder 2005). Por lo que el esquema de pago para esta microcuenca debe tener como objetivo, la preservación del bosque natural como el uso de suelo más seguro para mantener intactas las características físico-químicas del suelo, algo similar a la compra de un seguro de vida o de automóvil. En otras palabras, mientras exista el bosque se tendrá la tranquilidad de que el servicio ambiental hídrico se está generando adecuadamente y no se tendrá la zozobra de que el dueño de la tierra degrade los suelos, afectando la recarga del acuífero.

El diseño de políticas de PSAH debe evolucionar con el paso de los años. Soportar un esquema con base en suposiciones causa-efecto puede hacer insostenible su aplicación a largo plazo (Kaimowitz 2005, Porrás *et al* 2008). En el caso de los esquemas locales de PSAH esta recomendación es mucho más importante ya que “prometer” a la gente más agua con un pago por SAH “sin tener la certeza” de que esa situación sucederá puede poner en riesgo la estabilidad política y social de la comunidad. Finalmente, el bosque debe ser valuado por todos los servicios ecosistémicos que ayuda a producir (agua, fijación de Carbono, conservación de la biodiversidad, entre otros). El punto es encontrar los mercados para cada uno de estos servicios, unir cada uno de los pagos y hacer el monto más atractivo.



Grafica 3. Comportamiento de la humedad del suelo en un bosque en regeneración secundaria a tres profundidades 15, 45 y 75 cm, respectivamente. Periodo Agosto-October 2007. Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México, 2007.

### Paso 5. Costo de oportunidad de los bosques naturales

Una vez que se tienen identificados los usos de suelo más importantes en la microcuenca se procede al cálculo del costo de oportunidad de los bosques presentes en el área. Esto es, ¿Cuanto deja de ganar el dueño de la tierra por dejar en su terreno los bosques? ó ¿Qué actividad productiva se desarrollaría en el área donde se encuentra el bosque y cuál sería su rentabilidad? (Northon-Griffiths and Southey 1995). El costo de oportunidad no es igual para todos los bosques y depende de los siguientes factores: 1) vocación productiva del terreno; esto dependerá de la calidad de los suelos, el grado de pendiente, el acceso a caminos, la cercanía a un poblado, mientras más productiva sea la tierra más caro será el costo de protección; 2) el grado de marginación social que se tenga en la zona; mientras más pobre es una persona más presión ejerce sobre el recurso natural que tiene a la mano, 3) la especie forestal existente en el bosque; mientras más valor ó uso tenga una especie forestal más caro será el valor de su conservación (Naidoo and Adamowicz 2006). Para calcular en costo de oportunidad se calcula la rentabilidad de una actividad alterna hipotética pero potencialmente factible para la zona, a la que el bosque pudiera convertirse (en este caso ganadería). Para su cálculo, se pueden utilizar las metodologías presentadas por Brown 1981; Gittinger 1982; Northon-Griffiths and Southey 1995 y Gobbi 2000 donde se calcula la utilidad neta que el uso de suelo alterno genera ó el valor presente neto (VAN), quedando alguna de esas cantidades como el pago para la preservación del bosque.

## Ejemplo:

Se determino el costo de oportunidad para los bosques naturales existentes en la zona de recarga del acuífero que abastecen a las comunidades utilizando la metodología presentada por Northon-Griffiths and Southey 1995 (Formulas 1 y 2). Los bosques más comunes son los bosques intervenido de Encino de + de 40 años, bosques en regeneración secundaria de + 25 años de edad y bosques riparios. El bosque en regeneración secundaria se encuentra en la zona alta de la microcuenca y los bosques intervenidos de encino y riparios se encuentran en la parte media y baja de la misma. Los usos de suelo alternativos van desde la venta de la madera en pie de encino, hasta el establecimiento de pasturas con ganado bovino de doble propósito. En la tabla 2 se muestra el costo de oportunidad de los bosques en la zona de recarga. La información para construir los escenarios fue obtenida de informantes clave que viven de la carpintería, ganaderos y jornaleros de la zona.

### Formula 1

$$\begin{aligned} OC_{\text{Conservación del Bosque}} &= NB_{\text{Actividad Ganadera}} \\ NB_{\text{Actividad Ganadera}} &= NR_{\text{Actividad Ganadera}} = GR_{\text{Actividad Ganadera}} - C_{\text{Actividad Ganadera}} \end{aligned}$$

### Formula 2

$$\begin{aligned} OC_{\text{Conservación del sistema silvopastoril}} &= NB_{\text{(pasturas + arbustos)}} - NB_{\text{pasturas sin arbustos}} \\ NB_{\text{(pasturas + arbustos)}} &= NR_{\text{(pasturas + arbustos)}} = GR_{\text{(pasturas + arbustos)}} - C_{\text{(pasturas + arbustos)}} \\ NB_{\text{pasturas sin arbustos}} &= NR_{\text{pasturas sin arbustos}} = GR_{\text{pasturas sin arbustos}} - C_{\text{pasturas sin arbustos}} \end{aligned}$$

#### Donde

OC = Costo de Oportunidad  
NB = Beneficio Neto  
NR = Retorno Neto  
GR = Beneficio bruto  
C = Costos

La especie de Encino que se tiene en la zona de recarga es el *Quercus oleoides* Schltdl. & Cham, es una especie poco estudiada, pero los autores que la mencionan coinciden en que es un árbol de lento crecimiento, de madera dura y densa (0.86), muy dominante, el cual no deja crecer nada bajo su copa, su madera es muy apreciada para postes de alambre de púas, para construcción de casas y como leña. El mercado demanda cada día mas esta madera, generando mucha presión sobre los remanentes de bosque que todavía existen en la zona. Cuando un árbol es cortado ó derrumbado por el viento, los dueños del terreno aprovechan para introducir cultivos anuales tales como cilantro ó implementar pasturas, las cuales poco a poco se van estableciendo. En algunas partes es considerado una plaga ya que, después del corte, rebrota vigorosamente desde la raíz. Según los autores, es factible trabajar la regeneración secundaria de la especie, el problema es el largo turno de corta y la demanda sobre tierras para cultivar o introducir pasturas por parte de los dueños de la tierra (OFI-CATIE 2003).

Por su parte, el bosque en regeneración secundaria que se localiza en la parte alta de la microcuenca, no presenta especies de alto valor comercial, sin embargo genera una gran cantidad de materia orgánica lo cual asegura que la introducción de pasturas sea un éxito. El sistema silvopastoril evaluado en la zona indica que la especie arbustiva (*Conestegia*

*xalapensis* (Bonpl.) D. Don ex DC., tiene un efecto significativo en la infiltración del agua de lluvia. Este arbusto tiene una copa cerrada y una estructura muy ramificada, no es ingerido por las vacas y el área debajo de su copa no es pisoteado y no deja crecer el pasto, además, la sumatoria del área de sus copas, ocupa una parte considerable del potrero (36.3%) reduciendo su producción de forraje. Por lo cual el ganadero tiende a desaparecerla con el uso de herbicidas ó chapeo manual. Finalmente, los bosques riparios están establecidos en zonas de mucha piedra ó con una pendiente que no es accesible al ganado, estos terrenos no tiene vocación productiva por lo que su costo de oportunidad esta dado por el demandante del servicio ambiental.

Tabla 2. Costo de oportunidad por hectárea de los bosques naturales ubicados en una zona de recarga de un acuífero, Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México, 2008.

Uso de suelo			Costo de oportunidad (pesos/hectárea/año)
	Situación actual	Situación potencial	
1	Bosque Ripario	Bosque Ripario	350
2	Sistema Silvopastoril, pastura de Estrella de África + arbustos de <i>C. xalapensis</i>	Pasturas de Estrella de África sin arbustos con ganado bovino de doble propósito (0.3 UA/ha)	208
3	Bosque en Regeneración Secundaria + 25 años	Pastizal de Estrella de África con ganado bovino de doble propósito (1 UA/ha)	958
	Bosque de Encino + 40 años de edad	Pasturas de Estrella de África con ganado bovino de doble propósito (0.5 UA/ha)	2,775

\* PSAH ofertado por la CONAFOR.

Tomando en cuenta la información presentada en el inciso 2 y en el cuadro anterior se puede calcular el costo para proteger los remanentes de bosque y la conversión de sistema silvopastoril a bosque en regeneración secundaria en el área de recarga. En la tabla 3 se presentan los resultados.

Tabla 3. Costo total para proteger la superficie ocupada por bosques naturales y el cambio de uso de suelo de un sistema silvopastoril a bosque en regeneración secundaria, localizados en una microcuenca de la Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México, 2008.

Uso de Suelo	Área (Hectáreas)	Costo de oportunidad (pesos/ha/año)	Costo total (pesos/año)
Bosque Ripario	4.5	350	1,575
Sistema Silvopastoril	4.8	208	998
Bosque en Reg. Secundaria	23.6	958	22,608
Bosque de Encino	5.3	2,775	14,707.5
<b>Total</b>	<b>38.2</b>		<b>39,888</b>

Considerando la información de la tabla 3, el monto a pagar por año es de 39,888 pesos con los cuales se protegerían 38.2 hectáreas de bosques naturales. Al dividir el monto anterior entre el número de familias (405) de las comunidades de “El Humo”, “Tezital-Tepetzintla” y “Tezital-Chontla”, la cantidad a pagar por la protección de los bosques existentes es de 98.5 pesos por familia por año.

## **Paso 6. Opinión de los usuarios del servicio ambiental**

Tomar en cuenta la opinión de los usuarios del agua es un paso trascendental en la implementación de un esquema de PSAH (FAO 2004a, 2004b). Tal vez se tenga la mejor opción para proteger la zona de recarga y el costo de la protección del área sea potencialmente viable, pero si la población no tiene la intención de pagar por el servicio ambiental, su implementación será infructuosa. Para lograr lo anterior es necesario ser muy respetuoso de las tradiciones y la forma de organización de las comunidades. En la Sierra de Otontepec, los usuarios pueden ser comunidades ejidales ó poblados fincados en pequeña propiedad. En general cada comunidad tiene un comité del agua el cual puede servir como base para iniciar las platicas con la ciudadanía. Es importante remarcar que es la primera vez que los usuarios del agua escuchan algo sobre los Servicios Ambientales Hídricos, lo cual es un concepto difícil de entender y que además se habla de un pago lo cual vuelve más difícil el tema. También hay que recordar que la Sierra de Otontepec esta catalogada como una zona de alta marginación (SEDESOL, Diario oficial de la Federación, 31 de enero del 2002).

### **Ejemplo:**

Se llevaron a cabo 6 platicas (dos por cada población) para dar a conocer el proyecto de investigación y para preguntarle a la gente su opinión con respecto al pago por el servicio ambientales. En el primer acercamiento con los usuarios se realizo una presentación a cargo del responsable de la investigación y se dio una charla de las características del proyecto, se mencionaron algunas particularidades de la montaña y las actividades que se tendrían que realizar. Además se les pidió permiso para acceder y aforar sus manantiales. Afortunadamente, todas las comunidades dieron su permiso para realizar el trabajo y se realizo el compromiso de regresar cuando se tuviera la información biofísica y socioeconómica. Durante el segundo ciclo de charlas con las comunidades, se presentaron los resultados de la investigación y se les comento que con base en la información obtenida, no se les podía asegurar un incremento en la producción del acuífero. También, se les pregunto si estarían dispuestos a pagar por la protección de los bosques existentes, ya que esa era la mejor opción para garantizarles la conservación del ecosistema que provee el servicio ambiental hídrico. Las respuestas entre las comunidades fueron muy variadas, algunas personas comentaron que están dispuestas a pagar la cuota, pero que aquel que tiene puercos o una quesería casera tendría que pagar mas. Otras personas comentaron que las casas que tienen WC y baños con regaderas, deben pagar más que aquellas familias que tienen sus casas de adobe y utilizan letrinas. Es evidente que debido a la falta de medidores de agua, es difícil controlar el consumo del agua en las casas y establecer una cuota mas justa. Además, los encargados del comité del agua mencionaron que la red de almacenamiento y distribución es vieja y obsoleta, ya que los depósitos que abastecen a las

casas son pequeños y que durante varias horas en la noche se rebosan, dejando escapar una considerable cantidad de agua, la cual hace falta durante el día.

La comunidad de “Tezital-Tepezintla” expreso su conformidad por el pago, argumentando que ellos se transformarían en los guardabosques de la montaña, sin embargo es la comunidad más pequeña y para cubrir el costo de oportunidad total se necesita la participación de las otras comunidades. La comunidad de “Tezital-Chontla” no expreso abiertamente su disposición al pago ya que ellos nunca han pagado por su agua y ven algo difícil pagar por cuidar la zona de recarga. La comunidad de “El Humo – Tepetzintla”, la cual actualmente paga una tarifa por consumo de agua (5 pesos/mes), es la más preocupada por el abastecimiento (es la mas grande también) y hasta el momento de escribir este reporte final, sus autoridades estaban gestionando ante el H. Ayuntamiento la construcción de un deposito mas grande y la compra de los medidores de agua.

Durante el desarrollo del segundo ciclo de reuniones con las comunidades algunas personas hicieron preguntas muy interesantes, las cuales presento a continuación. Ellos expresaron que en caso de implementarse una cuota para proteger los bosques en la montaña, ¿Quién cobrará la cuota? ¿Quién le pagara a los dueños de la tierra de allá arriba? ¿Quién supervisará para que la gente de las tierras altas cumpla con proteger los árboles? ¿Cómo participara el H. Ayuntamiento? ¿Qué participación tendrá el INIFAP? ¿Se pueden conseguir recursos de otro lugar (CONAFOR)? El autor del presente proyecto les informo que es indispensable que la sociedad participe como actor principal en la aplicación de los conocimientos generados en este proyecto, ya que las políticas instituciones van y vienen. Es necesario formalizar jurídicamente los comités locales del agua en forma de fideicomisos, para que ellos sean los que gestionen apoyos con las instituciones. El comité local del agua será quien cobre a los usuarios el pago por los servicios ambientales y también será quien pague a los proveedores del servicio. La supervisión estará a cargo del comité local del agua y del apoyo en imágenes satelitales que pueda proporcionar la CONAFOR y el INIFAP. Una vez que el comité local este legalmente implementado tendrá la posibilidad de gestionar apoyos con el H. Ayuntamiento, CONAFOR, Universidad Veracruzana ú otra institución. En el diagrama 2 se presenta la propuesta de esquema Local de PSAH que se podría aplicar en las comunidades rurales de la Sierra de Otontepec.

## **Discusión final**

Con base en la información presentada con anterioridad, se refuerza la hipótesis que los esquemas locales de Pago por Servicios Ambientales Hídricos (PSAH), deben realizarse de acuerdo a las características biofísicas y socioeconómicas de cada zona (FAO 2004a, 2004b, Kaimowitz 2005; Wounder 2005; Pagiola *et al* 2006; Porras *et al* 2008). La gran variabilidad inmersa en el contexto hace muy difícil y riesgosa la extrapolación de resultados de una región a otra. Como autor del estudio estoy de acuerdo de que el costo para el desarrollo de un esquema local es alto, sin embargo este estudio se realiza una sola vez y posteriormente se le dejan los resultados a las comunidades para que ellos sean los que detonen la metodología, la implementen y la mejoren, si ellos no están interesados en proteger la zona de recarga que les abastece de agua, nadie lo estará. Tal vez para el establecimiento de un esquema local de PSAH en la Sierra de Otontepec se puedan unir, el producto obtenido en la presente investigación, los recursos con los que cuenta el gobierno

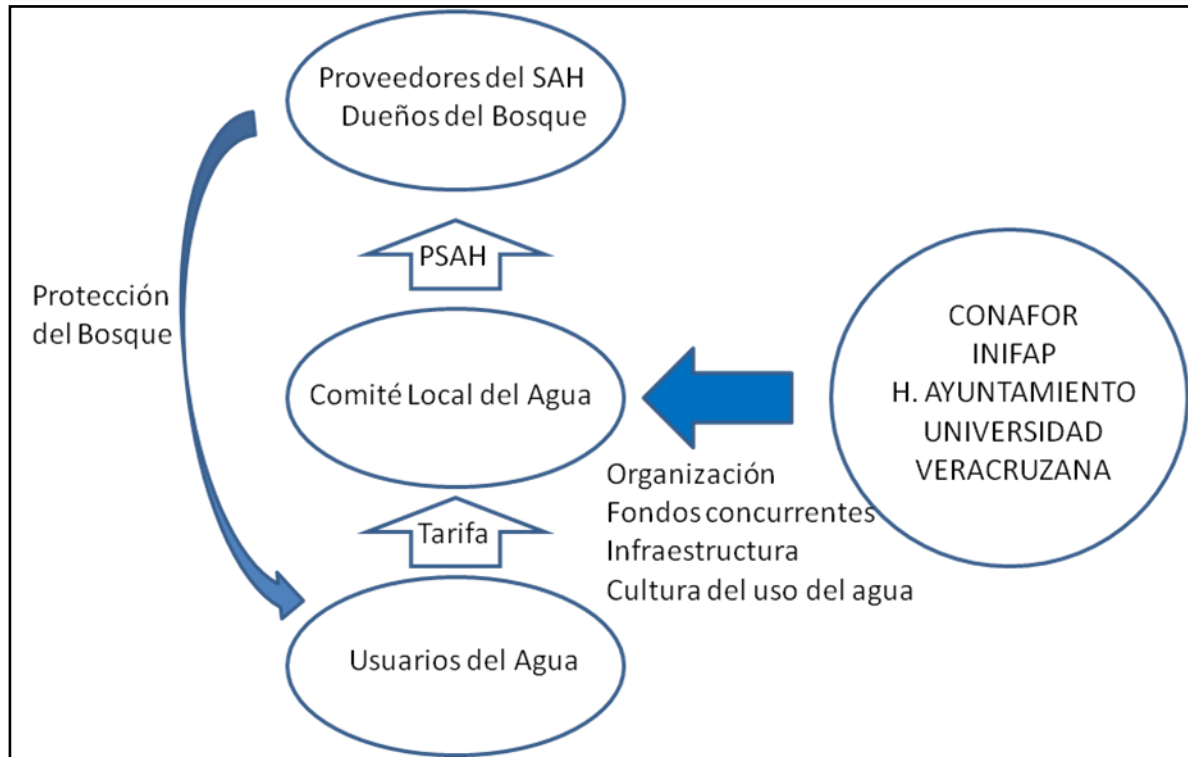


Diagrama 2. Propuesta de esquema local de PSAH para su aplicación en las comunidades rurales de la Sierra de Otontepec, Norte de Veracruz, México.

Federal, las aportaciones de los usuarios y la organización de las comunidades, para lograr cubrir el costo de oportunidad de los bosques. Sin embargo, para su posible implementación serán necesarios algunos cambios en los paradigmas de las instituciones. Por ejemplo: según los modelos hidrológicos digitales, donde se conjuntó el uso de la imagen de satélite y la información hidrológica. Muestran que los bosques de Encino los cuales mantienen adecuadamente las características del suelo, se encuentran muy dispersos dentro del área de recarga y no conforman zonas compactas, situación por la cual estarían fuera de los términos de referencia del programa ProÁrbol de la CONAFOR (SEMARNAT 2009). Sin embargo, cuando se suman sus áreas se llega a 5.3 has. El caso de los bosques riparios, los cuales juegan un papel muy importante en la protección de los cauces naturales de escurrimiento durante eventos extremos, es muy similar, ya que individualmente no se tienen superficies extensas de estos bosques pero en conjunto suman 4.5 has. La sugerencia es, en caso de una “Zona de Recarga Prioritaria”, ver la microcuenca a nivel de paisaje y pagar por la conservación los bosques que se encuentran dispersos, buscar su conectividad por medio de cercas vivas ó regeneración natural y no únicamente zonas compactas que deban tener X número de hectáreas. (Comentario personal, Dr. Carlos Manuel Rodríguez. Ex-ministro de Ambiente y Energía de Costa Rica y Funcionario de Conservación Internacional, 2009). Finalmente, la información hidrológica indica que no se tiene diferencia en la cantidad de agua de percolación al subsuelo a favor del uso de suelo bosque. Es por eso que no se obtiene ningún monto adicional para la recarga del acuífero al cambiar en los modelos hidrológicos de uso de suelo bajo pasturas a bosque.

El autor, agradece a la Comisión Nacional Forestal, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica y a la Universidad de Wales-Bangor, UK y a la Fundación Produce de Veracruz, por su invaluable apoyo para el desarrollo de la presente investigación y espera sinceramente que este producto sea de utilidad para el desarrollo de nuevas políticas de Pago por Servicios Ambientales Hídricos en México.

## **Bibliografía**

- Brown, ML. 1981. Presupuestos de Fincas: del análisis del ingreso de la finca al análisis de proyectos agrícolas. Banco Mundial. Madrid, España. 142 p.
- Bergkamp, G. 1998. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrublands. *Catena* 33, 201 – 220.
- Bonell, M. 2005. Runoff generation in tropical forest. In: in: *Forest, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management* (Bonell and Bruijnzeel eds) Cambridge University Press. 314-406 p.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review. National Committee of the Netherlands for the International Hydrological Programme-UNESCO, International Institute of Aerospace Survey and Earth Sciences. Amsterdam, the Netherlands. 230 pp.
- OFI-CATIE. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. (Cordero and Bodhier, Eds). OFI-CATIE. 843-846 p.
- Castañeda R.J. 2006. Las Áreas Naturales Protegidas de México de su origen precoz a su consolidación tardía. *Scripta Nova*. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Vol. X, núm. 218(13) Consulted *on line* February 9th 2009. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-218-13.htm> [ISSN: 1138-9788]
- Decreto de Área Natural Protegida a la Sierra de Otontepec en su categoría de Reserva Ecológica. 2005. Gaceta Oficial de Veracruz. 33 p.
- Farvolden, RN. 1963. Geologic controls on ground-water storage and base flow. *Journal of Hydrology* 1: 219 – 249.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1990. Guidelines for soil profile description, Rome 3<sup>rd</sup> Edition 30 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004a. Electronic forum on payments schemes for environmental services in catchments. Final Report. Santiago, Chile. 27 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004b. Payment schemes for environmental services in catchments. Regional Forum. Arequipa, Peru. 95 pp.

- Gaceta Oficial de Veracruz. 2005. Decreto de Área Natural Protegida a la Sierra de Otontepec en su categoría de Reserva Ecológica. Tomo CLXXII, Núm. 43. Miércoles 2 de Marzo. 40 p.
- Gittinger, JP. 1982. *Economic analysis of Agricultural Projects*, 2<sup>ed</sup>. The World Bank, The Johns Hopkins University Press. Baltimore. USA. 505 p.
- Gobbi, JA. 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee productions systems in western El Salvador. *Ecological Economics* 33: 267-281.
- Henríquez, C., Cabalceta. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. Universidad de Costa Rica. 122 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía é Informática (INEGI). 2005. Anuario Estadístico, Veracruz de Ignacio de la Llave, Tomos I y II. México, D.F.
- Kaimowitz, D. 2005. Useful myths and intractable truths: the politic of the link between forest and water in Central America, in: *Forest, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management* (Bonell and Bruijnzeel eds) Cambridge University Press. 86 – 98 p.
- Ley de la Reforma Agraria. 1971. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 16 de Abril de 1971. 95 p.
- Martínez, M.R., López M.R., López L, C. 2001. Caracterización geográfica y escalamiento de cuencas en zonas de ladera de Oaxaca. Memoria: XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, México.
- McDonald, M.A., Healey, J.R., Stevens, P.A. 2002. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92, 1 – 19.
- Naidoo, R; Adamowicz, WL. 2006. Modeling opportunity costs of conservation in transitional landscapes. *Conservation Biology* 20 (2): 490 – 500.
- Northon-Griffiths, M; Southey, C. 1995. The opportunity cost of biodiversity conservation in Kenya. *Ecological Economics* 12, 125 – 139 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Reglas de Operación del Programa Pro-Árbol de la Comisión Nacional Forestal. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 31 de Diciembre del 2008. 112 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Reglas de Operación del Programa Pro-Árbol de la Comisión Nacional Forestal. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 31 de Diciembre del 2008. 112 p.
- Pagiola, S; Bishop, J; Landell-Mills, N. 2006. La venta de servicios ambientales forestales. (2<sup>a</sup> Edición) INE-SEMARNAT, México D.F. 464 pp.

- Porras, I; Grieg-Gran, M; Neves, N. 2008. All that glitters: A review of payments for watershed services in developing countries. Natural Resources Issues No. 11. International Institute for Environment and Development, London, UK. 129 p.
- Robin, C. 1976. El vulcanismo de las planicies de la Huasteca (Este de México). Datos Geoquímicos y Petrográficos. Boletín del Instituto de Geología UNAM 96: 55 – 92.
- Schultz, R.C., Isenhardt, T.M., Simpkins, W.W., Colletti, J.P. 2004. Riparian forest buffers in agroecosystems – lessons learned from the Bear Creek Catchment, central Iowa, USA. Agroforestry systems 61, 35-50.
- United States Department of Agriculture. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. 88 pp.
- Ward, A.D., Elliot, W.J. 1995. Environmental Hydrology. Lewis Publishers. Florida, USA. 462 pp.
- Wunder, S. 2005. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. Occasional Paper No. 42. Center of International Forestry Research (CIFOR). 32 p.
- Yates, C.J., Norton, D.A., Hobbs, R.J. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in South-Western Australia: implications for restoration. Austral Ecology 25, 36-47.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H., De Morales, J.M. 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. Forest Ecology and Management 222, 29 – 38.