

# **MECANISMOS DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA REGION DE MOYOBAMBA.**

Estudio Piloto: Microcuencas Miskiyacu y Rumiycu.

Elaborado por:  
MARCELA QUINTERO  
RUBEN DARIO ESTRADA  
ERNESTO GIRON

Proyecto Cuencas Andinas  
GTZ-CONDESAN-CIAT

Cali, Octubre de 2005



# 1. INTRODUCCION

La conservación de ecosistemas implica entre otros, mantener las funciones y servicios que este presta. Con los procesos de transformación del paisaje muchas de estas funciones se ven modificadas negativa o positivamente, afectando el estado de los servicios ambientales y en consecuencia a sus usuarios. En las cuencas hidrográficas estos servicios están relacionados principalmente con la disponibilidad de agua en épocas secas, aporte de sedimentos, secuestro de carbono, entre otros. Cuando estos servicios se ven afectados negativamente, fenómenos como la sedimentación de cuerpos de agua, escasez de agua en épocas secas, provocan que ciertos agentes cuyas actividades dependen de niveles adecuados de calidad y cantidad de agua incurran en costos adicionales. Es decir, muchos de los usuarios del servicio son afectados por externalidades, al no existir una compensación generada desde quienes causan el efecto negativo.

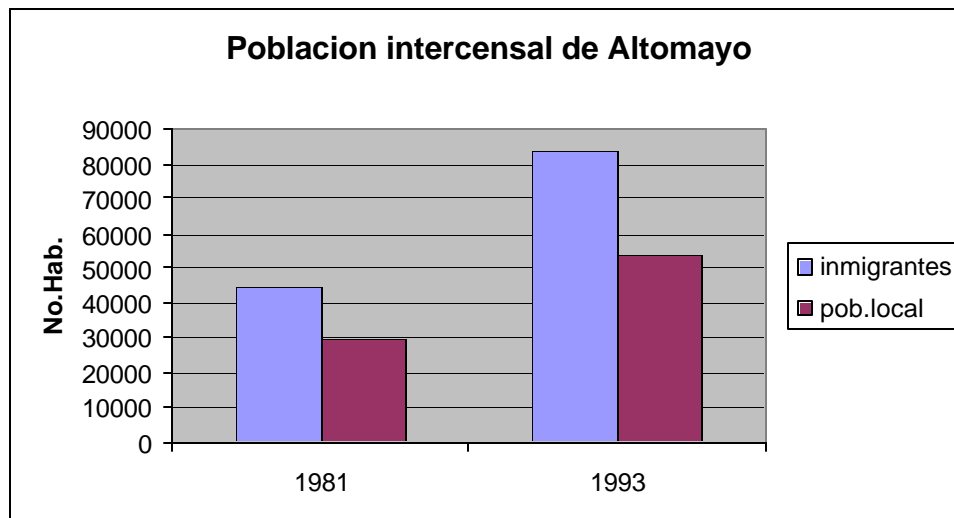
Actualmente, dentro de las estrategias de intervención para procurar la conservación de los ecosistemas, se plantea con altas expectativas mecanismos económicos, como el Pago por Servicios Ambientales –PSA, para internalizar esas externalidades. Por lo general quienes producen los servicios ambientales en una cuenca no reciben ningún beneficio económico o quienes generan externalidades negativas no compensan los costos de quien las sufre.

En las cuencas de la región Andina las externalidades negativas como producción de sedimentos, disminución de agua en el caudal, son causadas por el manejo inadecuado del suelo en las actividades productivas que aceleran los procesos erosivos y la disminución de la capacidad de retención de sus perfiles. En los Andes los lugares que aumentan mayormente estas externalidades son las zonas de pendientes fuertes y en las cuales se encuentra generalmente ubicada la población más pobre.

Como resultado, cuando se habla de estos mecanismos económicos y su viabilidad de ser implementados, existe una incapacidad de promover que la población más pobre de estas zonas deba compensar a quienes se ven afectados por la sedimentación o la escasez de agua. Así la internalización de las externalidades en su sentido económico trasciende al problema social que los países andinos padecen en su sector rural. Sin embargo, esto no quiere decir que los mecanismos económicos sean inviables. Lo que se requiere es que se mantenga su objetivo conservacionista pero uniéndose a objetivos de desarrollo que claramente son prioritarios en esta región.

Por tal razón, lo que plantea el proyecto “Cuencas Andinas”(CONDESAN-GTZ) es modificar las externalidades negativas de manera positiva promoviendo que quien lo haga reciba un pago por parte de quien se beneficia de esta corrección. La razón principal de procurar esto es crear una alternativa de ingreso adicional a la población pobre rural de los Andes en la medida que contribuye al ambiente.

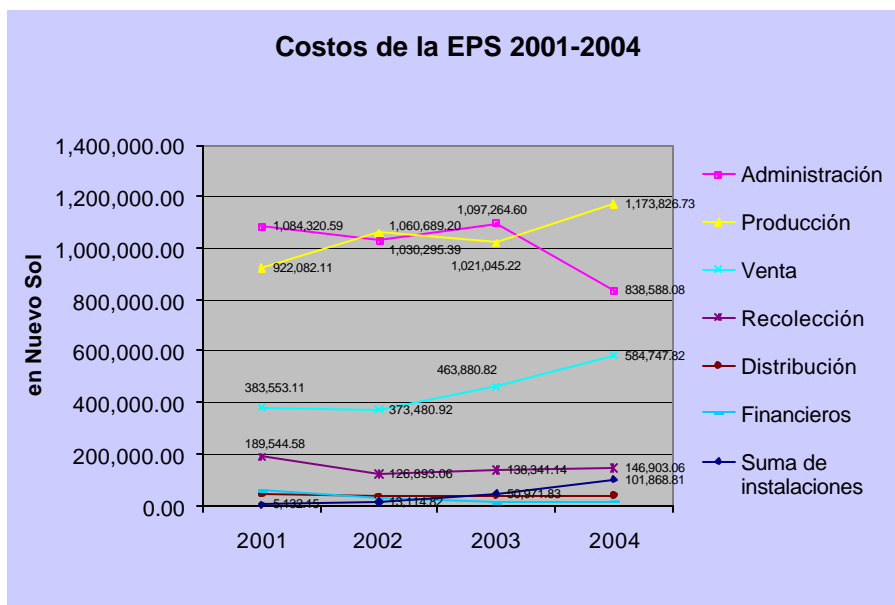
En la transición entre la región Andina y Amazónica Peruana, se encuentra la cuenca del Río Mayo, cuyas microcuencas abastecen de agua potable a acueductos distritales, a sistemas de riego y reservas naturales. La cobertura natural de esta cuenca es sujeta constantemente a cambios debido a procesos de deforestación con una tasa de 4.2% (PEAM, 2004) y la instalación de cultivos de café y pastos, principalmente. Factores como los procesos de inmigración (más del 50% de la población de la provincia de Moyabamba son inmigrantes) (figura 1) y la dinámica del cultivo de café, cuyos precios han sido favorables para el productor durante los últimos años, han contribuido a acelerar estos procesos de transformación del paisaje.



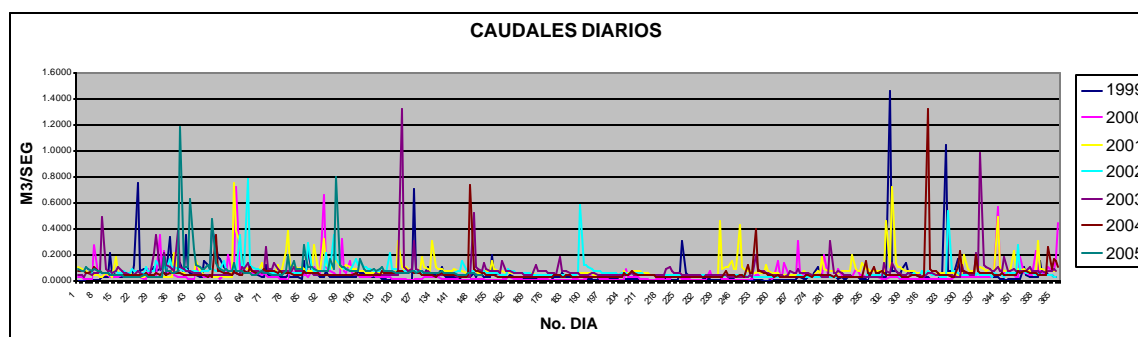
FUENTE: INEI; Elaborado: Oficina de Presupuesto y Planificación PEAM

**Figura 1. Población Intercensal de la cuenca del Río Mayo, Perú.**

Dentro de estas microcuencas son de gran importancia las cuencas de Rumiyaqu y Mishkiyaqu, las cuales abastecen de agua a 40.000 habitantes de la ciudad de Moyabamba. Sin embargo, el reemplazo de cobertura vegetal nativa, por otros usos de la tierra parece ser la causa de la alta cantidad de sedimentos que llegan al acueducto de la ciudad de Moyabamba, y en consecuencia, del incremento de los costos de tratamiento en que esta empresa incurre. En la figura 2, se muestra el incremento en los costos de producción de agua potable de la Empresa de Acueducto de Moyabamba- EPS. Estos costos coinciden con picos de precipitación ocurridos en el 2003 y mayores a los de los años 2000-2002 (figura 3).



**Figura 2. Costos de la Empresa de Acueducto de la ciudad de Moyabamba – EPS (Nowick, 2005).**



**Figura 3. Caudales diarios simulados en base a información de precipitación diaria, suelos, uso de la tierra y topografía. Elaboración propia.**

De la misma forma las microcuencas de Yurayacu, Avisado, Almendra y Soritor cobran importancia en la región por los servicios ambientales que prestan a otros acueductos, sistemas de riego para el cultivo de arroz, y para la conservación de los ecosistemas del Parque Natural Aguajal.

En este estudio, se presentan los primeros resultados para las cuencas de Rumiyacu y Mishckiyacu con dos propósitos: El primero para dar a conocer el enfoque y metodología que se utilizara para los análisis previos a la implementación de un mecanismo de compensación por servicios ambientales. Y segundo, para iniciar de manera piloto con este estudio piloto motivado por la preocupación de la empresa de acueducto, la municipalidad de Moyabamba, la GTZ y CONDESAN por evaluar, diseñar e implementar un mecanismo de compensación como alternativa para disminuir los sedimentos y detener los procesos de deforestación del bosque. En este trabajo se mostraran los

resultados y metodologías utilizadas para cuantificar las relaciones biofísicas, los servicios ambientales, y valorar los costos para implementar cambios en el uso de la tierra.

El proyecto Cuencas Andinas ve en el mecanismo propuesto una oportunidad para no únicamente disminuir el problema de sedimentos en la cuenca, sino para crear nuevas oportunidades de ingreso a los más pobres, debido a que la mayoría de la población pobre se encuentra en las zonas altas, que están amenazadas por perder su cobertura forestal y en el caso que ya lo hayan hecho pueden estar aportando bastante sedimentos por las elevadas pendientes de sus terrenos.

## ***1.2 La valoración como elemento fundamental en la implementación de un mecanismo de PSA***

Dentro de los ejercicios de valoración en el diseño de un mecanismo de pago por servicios ambientales, se destacan estudios que valoran el servicio ambiental. Sin embargo en muchos de ellos no se valora el servicio sino se determina el costo de implementar cambios para modificar la externalidad negativa y/o la disponibilidad y capacidad de pago de los beneficiarios. Este estudio se ha centrado en la valoración del recurso, la determinación de los costos en que incurre el productor para proveer el servicio ambiental y los beneficios y costos sociales causados por el cambio en el uso y o las practicas de manejo necesarios para proveer el servicio ambiental.

En cuanto a la valoración del recurso natural, existen diferentes métodos y tendencias de valoración. Muchas de ellas puramente economistas y otras solamente cualitativas. En bs casos que se determina un valor monetario a un recurso o servicio ambiental el análisis económico no tiene en cuenta las relaciones biofísicas ya existentes en los ecosistemas y que determinan la magnitud de las externalidades y en consecuencia los valores del servicio ambiental. Por tal razón en este proyecto se plantean mecanismos de valoración del recurso utilizando programación multi-criterio que permitan cuantificar dichas relaciones y valorar el recurso en función a los niveles de productividad e ingreso que perciben los generadores del servicio ambiental.

Para determinar el costo de implementar un cambio en el uso de la tierra o practicas de manejo se usa con frecuencia la información relacionada con la actividad productiva que el productor del servicio lleva a cabo, y en función a esto los ingresos marginales son calculados para determinar el costo de cambiar el escenario de uso de la tierra actual por el deseado. La estimación de este costo puede tener en cuenta variables socioeconómicas y/o ambientales. En el análisis aquí presentado se determinan los costos integrando ambos tipos de variables.

En cuanto a la disponibilidad a pagar es necesario conocer si existe interés por parte de los usuarios del servicio a pagar por una mejoría o mantenimiento del servicio. Para conocer esto, Cuencas Andinas ya ha elaborado este estudio, donde se ha encontrado que las familias de la ciudad de Moyabamba estarían dispuestas a contribuir con \$4.05 soles al mes para promover la conservación de la cuenca (Nowick, 2005)

## **2. METODOLOGIA**

Este análisis que se realizó para orientar la implementación de un mecanismo de compensación por servicios ambientales producidos en las microcuencas Rumiyacu – Mishkiyacu, se ha subdividido en tres fases; 1) Modelación hidrológica de la cuenca, 2) Evaluación socioeconómica y ambiental de diferentes escenarios de uso de la tierra, y 3) Determinación de los costos de implementación de los diferentes escenarios propuestos y valor del servicio ambiental.

### ***2.1. Modelación hidrológica de las microcuencas Mishkiyacu y Rumiyacu***

#### **2.1.1 Recolección de Información Básica:**

Para el análisis de las dos microcuencas se recolectó la siguiente información básica necesaria:

- ?? Uso de la tierra actual: Imagen de satélite Landsat 2002 clasificada y ajustada con verificación de campo en la zona de estudio.
- ?? Modelo Digital del Terreno STRM (90 m)
- ?? Datos de precipitación diaria: Se utilizó la información de enero de 1999 a mayo de 2005 registrada para la Estación pluviométrica de Moyabamba, y datos diarios de precipitación medidos por la EPS directamente en cada una de las microcuencas desde noviembre de 2004 a mayo de 2005.
- ?? Datos de temperatura promedio diaria, máxima promedio mensual y mínima promedio mensual multianual.
- ?? Estudio de suelos escala 1:100.000: De este estudio se utilizó la información correspondiente a granulometría, conductividad hidráulica saturada, profundidad de los horizontes, densidad aparente, disponibilidad de agua en el suelo, porcentaje de carbono, grupo hidrológico, estructura, permeabilidad y porcentaje de fragmentos de roca en el perfil.

### 2.1.2 Modelación hidrológica de las microcuencas

Para el análisis hidrológico de las microcuencas se utilizó el software SWAT<sup>1</sup>, ya que permite relacionar características hidrológicas (caudales, sedimentos, evapotranspiración, escorrentía, flujo lateral, entre otras) con el tipo de coberturas existentes en la cuenca y sus condiciones edáficas. En otras palabras permite analizar la relación entre uso de la tierra y agua.

Por medio de la integración de la información mencionada, se determinaron Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) para cada microcuenca, las cuales corresponden a unidades del territorio que presentan condiciones de suelo, clima y topografía homogéneas y por lo tanto producen un impacto particular sobre la cantidad y calidad del agua de la cuenca.

Con la información de las URH, es posible identificar que áreas en la cuenca son las que contribuyen más al aporte de sedimentos y agua al caudal, o las áreas que tienen un mayor potencial de producir servicios ambientales.

El proceso de identificación y priorización de URH se hizo en este estudio teniendo en cuenta las URH con mayores aportes de sedimentos al caudal. Es decir, aquellas URH que actualmente contribuyen con más sedimentos a los caudales que son utilizados para consumo humano en la ciudad de Moyabamba.

La EPS toma el agua de dos bocatomas: Una situada en el Río Rumiyacu y otra sobre el Río Miskiyacu. Esta última es la principal cuenca que abastece de agua a la ciudad de Moyabamba, mientras que el agua del Río Rumiyacu es utilizada únicamente en época de estiaje. Para conocer el impacto del uso de la tierra sobre la cantidad y calidad de agua captada por la bocatoma del Rumiyacu, se modeló un área de 551.5 Ha que drena a este punto. De igual manera, para el caso de la bocatoma del Río Miskiyacu se realizó la modelación hidrológica con 181 Ha.

Para estas dos áreas seleccionadas se tuvo en cuenta el uso de la tierra correspondiente a una interpretación de una imagen Landsat del 2002. Con el propósito de ajustar esta interpretación del uso actual de la tierra, se realizó una verificación de campo en julio de 2005. Esta parte fue crucial para refinar una primera interpretación que ya existía, y en la cual habían bastantes áreas clasificadas como “zonas quemadas” que actualmente ya se encuentran cubiertas por pasturas y cultivos semestrales. Con esta verificación de campo se ajustaron variables en el modelo hidrológico que afectan la incidencia de la cobertura sobre las variables hidrológicas.

Con respecto a la información climática recolectada, se utilizó principalmente la información de la estación de Moyabamba pero ajustada con las mediciones

---

<sup>1</sup> Soil and Water Assessment Tool. SWAT

hechas en los últimos meses por la EPS en las zonas de estudio. Este procedimiento se hizo considerando que esta estación aunque es la más cercana a las microcuencas Rumiya y Miskiyacu, se encuentra en la zona baja de las cuencas, en una posición aun lejana de ellas. En este procedimiento se asumió que el factor de corrección en este periodo debe ser el mismo para los años anteriores donde no hay mediciones hechas por la EPS.

El factor de corrección utilizado para modelar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Mishkiyacu, se determino a partir de la regresión entre los datos medidos con el pluviómetro de la EPS y los datos medidos por la estación de Moyabamba. En la figura 4, se muestra la grafica correspondiente a esta regresión, la cual presento un factor de correlación ( $R^2$ ) de 0.66.

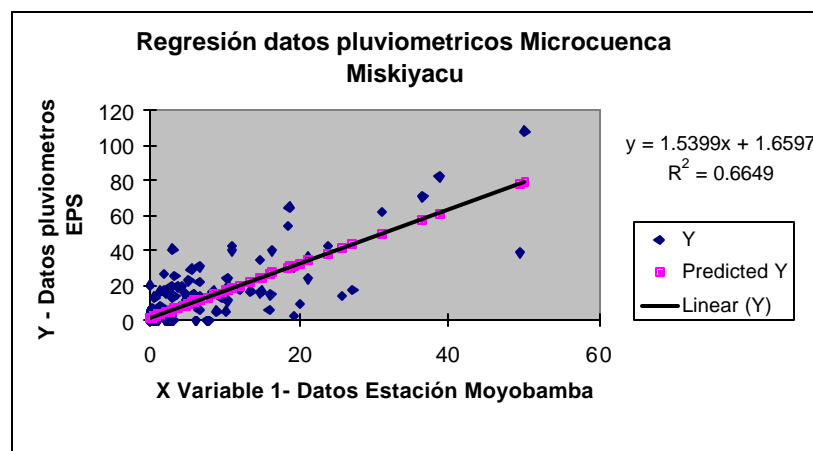


Figura 4. Regresión entre datos de precipitación diaria de la estación Moyabamba y pluviómetro instalado en las microcuenca Miskiyacu por la EPS.

Para el caso de la microcuenca Rumiya, la regresión presento un factor de correlación muy bajo (0.10) (Figura 5). causado principalmente por la diferencia en picos de lluvia medidos por la EPS y la estación Moyabamba.

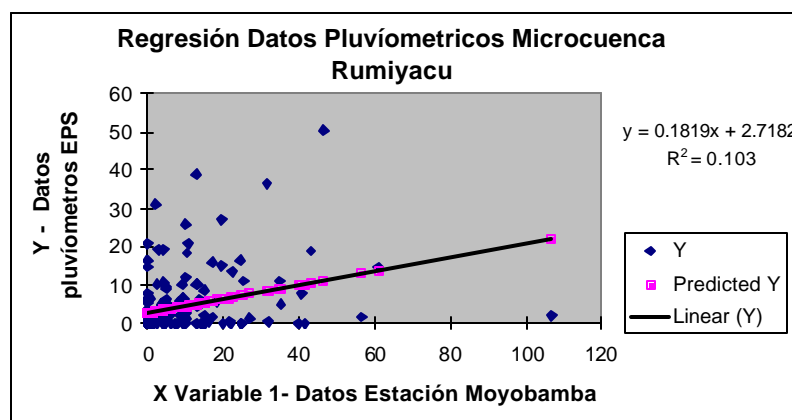


Figura 5. Regresión entre datos de precipitación diaria de la estación Moyabamba y pluviómetro instalado en las microcuenca Rumiya por la EPS.



Al aplicar esta formula para ajustar los datos de la estación Moyabamba a las condiciones de Rumiyacu, los picos de precipitación fueron disminuidos pero el flujo base de la microcuenca se aumento con respecto a los obtenidos inicialmente utilizando únicamente los datos tomados de la estación Moyabamba. Este incremento se ajusta a los niveles mínimos medidos en el caudal.

Aunque el  $R^2$  sea bajo, la posible incidencia de este ajuste, no es tan importante debido a que esta no es la principal microcuenca que abastece a la EPS Moyabamba, pues sus caudales solo se utilizan en épocas de estiaje cuando no existen picos de escorrentía. Por esta razón, una disminución en los valores de los picos de precipitación no afectarán el valor correspondiente a los sedimentos que llegan a la EPS. Sin embargo, si en el futuro el agua que aporta la microcuenca Rumiyacu es utilizada en épocas de lluvia, es necesario contar con mejor información climática para este lugar con el fin de poder estimar su impacto en los niveles de sedimentos durante los picos de escorrentía.

## ***2.2. Evaluación socioeconómica y ambiental de alternativas de usos de la tierra***

En esta fase metodológica se tiene como objetivo evaluar los escenarios actuales y potenciales de la tierra con el propósito de determinar de manera *ex-ante* el impacto que puedan tener otras alternativas de uso de la tierra sobre los ingresos netos de los productores, las externalidades ambientales, la generación de empleo y los beneficios para la sociedad por encadenamientos económicos y sociales.

La información utilizada para esta fase fue:

- ?? Descripción y costos de sistemas de producción y precios de venta de los cultivos existentes en la cuenca. Esta información fue obtenida a partir de análisis de costos de producción y nivel de tecnología utilizados en los principales sistemas de producción de estas microcuencas (EPS, 2004)
- ?? Descripción sobre dinámica de instalación de cultivos (quema, roza, etc.) a partir de testimonios de la zona.

Para realizar este análisis de alternativas de uso de la tierra se utilizo un modelo de programación multi-criterio donde las actividades realizadas por el productor ubicado en las URH priorizadas, son relacionadas con el efecto que causan sobre los servicios ambientales, los ingresos y la generación de empleo. Estas relaciones fueron estructuradas en una matriz de una hoja de cálculo Excel, y para cada una de ellas se especifico su magnitud. Por ejemplo, para un uso de la tierra específico le fue relacionada la cantidad de agua (m<sup>3</sup>) que este aporta al caudal.

La evaluación de las alternativas de uso de la tierra se hace utilizando optimización multi criterio. La función objetivo a maximizar es el ingreso neto de los productores ubicados en las URH priorizadas. La maximización del ingreso es condicionada a ciertos criterios socioeconómicos y ambientales que están relacionados con la capacidad del agroecosistema y con los niveles deseados de provisión del servicio ambiental.

El modelo de programación multicriterio esta construido en base a valores derivados de relaciones biofísicas y de costos y beneficios de las actividades productivas y de consumo, específicos para la cada microcuenca estudiada. La utilización de estos valores permite cuantificar el cambio marginal de las variables socioeconómicas y ambientales (externalidades). De esta manera el cambio sobre estas variables es un indicador tanto del funcionamiento de un ecosistema como del desempeño económico y social de las actividades productivas.

Para la evaluación de alternativas de uso de la tierra se tuvo en cuenta el sistema de producción tradicional y otros potenciales. El escenario con el sistema de producción tradicional corresponde a un sistema que inicia con la quema y tumba el bosque nativo, y continua por 2 a 3 años con un cultivo anual (maíz) y continua con pasturas sembradas.

Los escenarios alternativos evaluados fueron:

- ?? Reconversión a café de sombrero a partir de pasturas, sembrando en el primer año tanto los plántones de café como de los árboles. Para el cuarto año se asumió que ya existía una cobertura arbórea adecuada para el sombrero y la producción de café empieza a partir del tercer año.
- ?? Plantación forestal, la cual tiene unos costos de mantenimiento decrecientes en el tiempo y su producción es en el décimo año.
- ?? Sistema de producción tradicional con prácticas de conservación (barreras vivas). Se simuló el impacto de esta práctica de conservación sobre el aporte de sedimentos, asumiendo que ocupan un 10% del área sembrada, utilizando la especie *Gliricidia sepium*, y el espacio entre las barreras es de 10 m. Se calculó cual era la eficiencia de esta práctica asumiendo pendientes promedio del 30% y teniendo en cuenta la distancia recomendada (4 m). Así el factor de eficiencia utilizado finalmente para reducir la erosión es del 40% (Sims and Ellis-Jones, 1994)

Los escenarios de uso de la tierra fueron evaluados para un periodo de 10 años, de acuerdo a su impacto en los sedimentos aportados al caudal, los niveles de ingresos y la generación de empleo.

### **2.3. Determinación de los costos de implementación de los diferentes escenarios propuestos y valor del servicio ambiental.**

Al ser empleados los costos y beneficios reales en el modelo de optimización multicriterio, fue posible valorar el servicio ambiental por medio de su costo de oportunidad (precio sombra), y determinar el costo de implementar o no un uso específico de la tierra.

Debido a que la maximización del ingreso neto esta condicionada por variables ambientales, se determino el costo de oportunidad de producir el servicio ambiental sacrificando la posibilidad de mejorar los niveles de ingreso. Así mismo el costo de cambiar el uso de la tierra actual se determino al calcular los ingresos marginales y compararlos con los niveles marginales de producción del servicio ambiental.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Modelación Hidrológica**

#### **3.1.1. Información básica:**

Uso de la Tierra: Los principales usos de la tierra modelados en las dos microcuencas fueron: Bosque nativo, café de sombrero, pasturas y misceláneos. Este último se refiere a las áreas en las microcuencas que se queman, se cultivan con cultivos anuales (p.e. maíz) y luego pueden convertirse en pastos o purma. (Cuadro 1 y 2, Figura 6, Foto 1).

**Cuadro 1. Áreas de cobertura y usos de la tierra de la microcuenca Miskiyacu.**

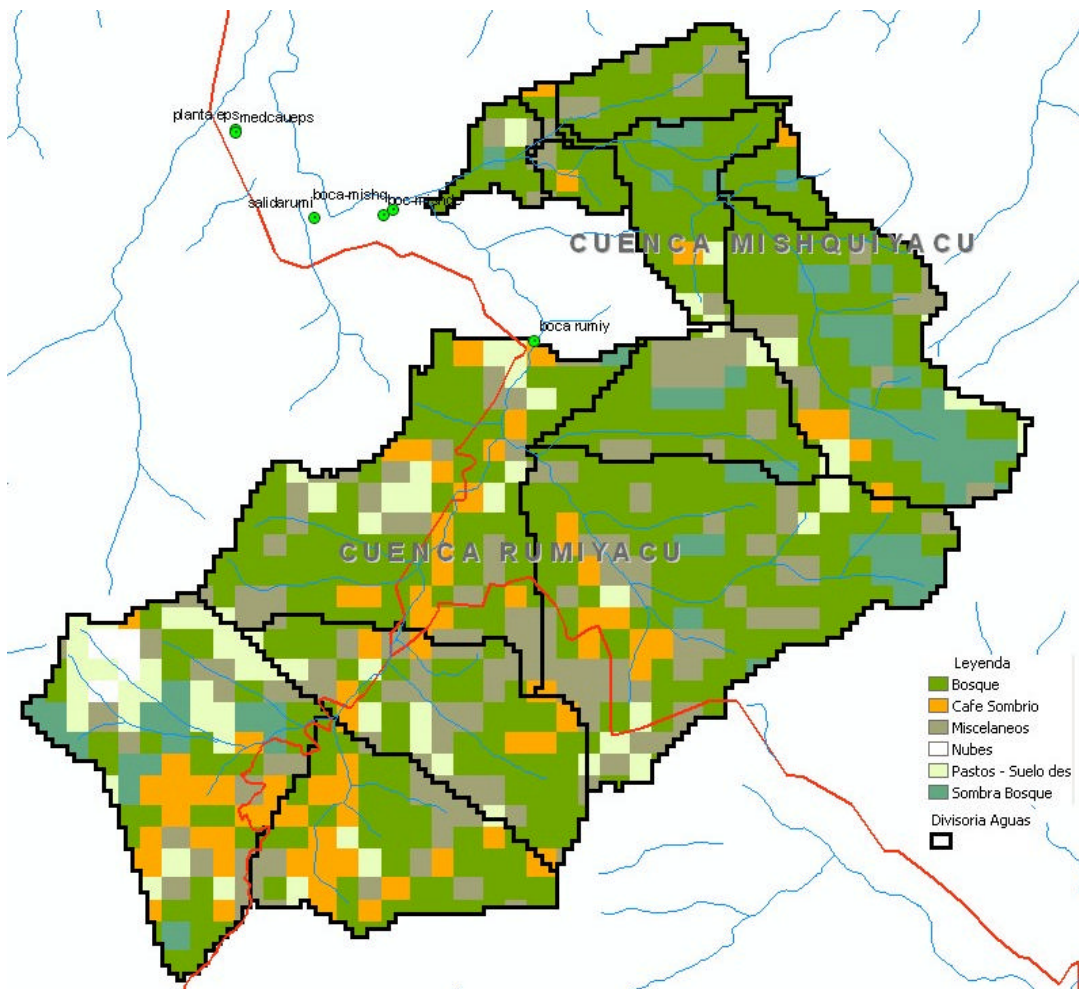
<b>Cobertura</b>	<b>Sistema de Producción</b>	<b>Ha</b>
PAST	Pasturas permanentes	7.9
AGRR	Tumba y quema de bosque – Maíz - Pastos	20.1
COFF	Café	7.2
FRST	Bosque plantado	145.8
Total		<b>181</b>

**Cuadro 2. Áreas de cobertura y usos de la tierra de la microcuenca Rumiayacu.**

<b>Cobertura</b>	<b>Sistema de Producción</b>	<b>Ha</b>
PAST	Pasturas permanentes	54.7
AGRR	Tumba y quema de bosque – Maíz - Pastos	124.9
COFF	Café	67.6
FRST	Bosque plantado	304.2
Total		<b>551.4</b>

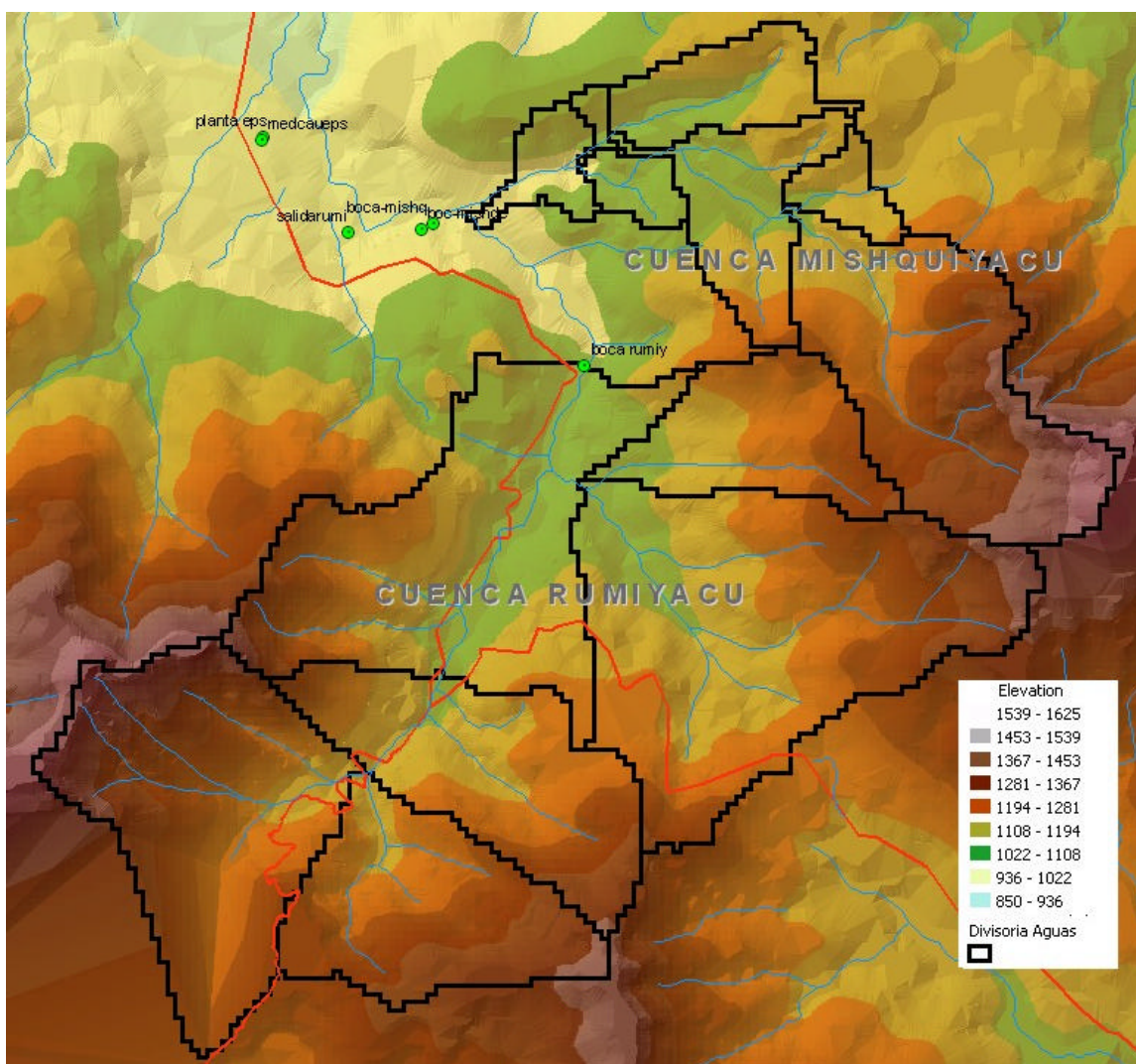


**Foto 1. Crecimiento de pasturas en un área deforestada y cultivada previamente con maíz. Cuenca Rumiyaqu.**



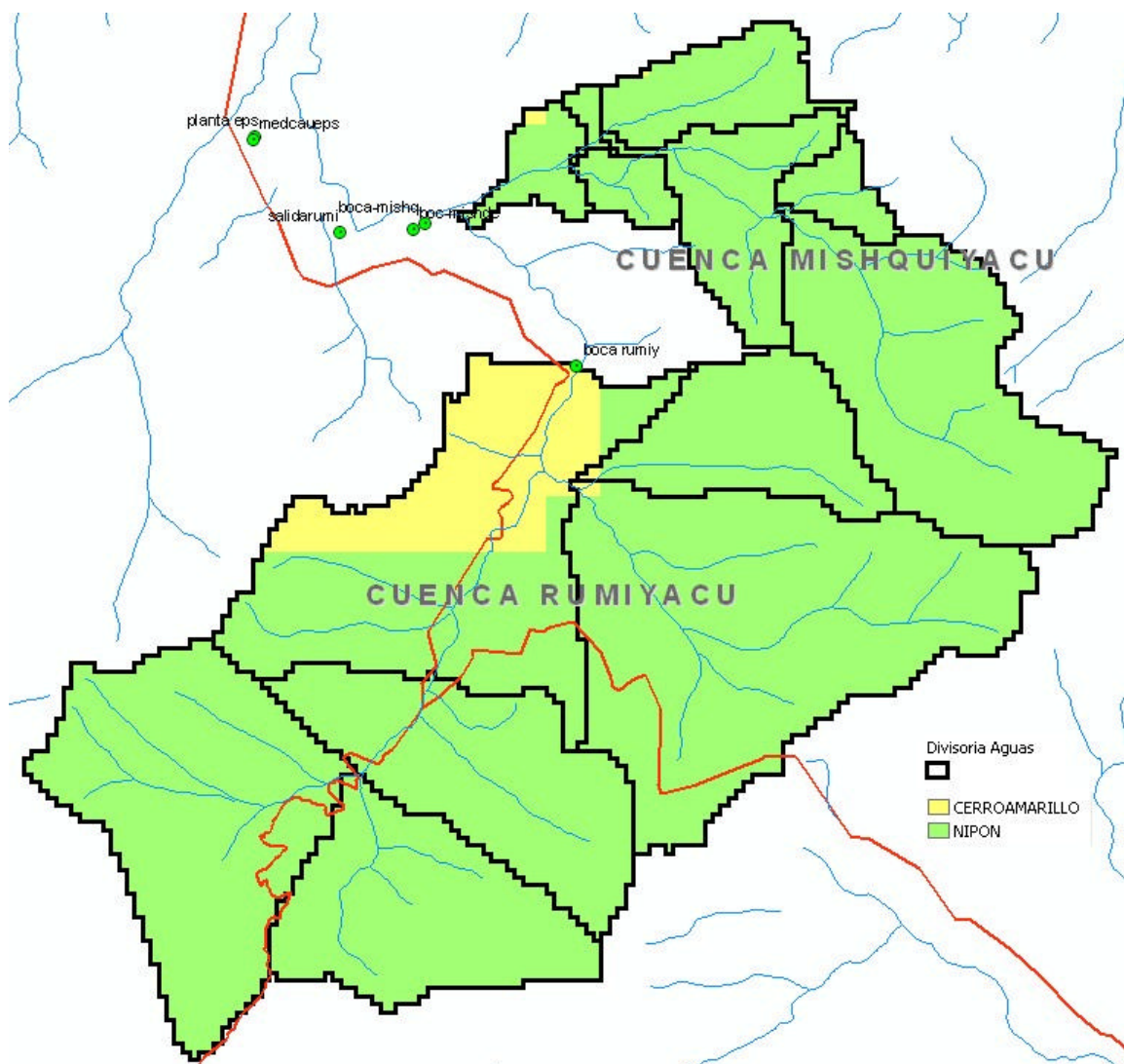
**Figura 6. Uso de la tierra, microcuencas Miskiyacu y Rumiyaqu**

A continuación se muestran la imagen del modelo (Figura 7) de elevación utilizado (resolución X) y el mapa de suelos (escala 1:100.000) (Figura 8). Como se puede observar la información de suelos debe ser mejorada para análisis posteriores ya que hasta el momento es muy general.



**Figura 7. Modelo Digital de elevación SRTM (90 m de resolución) para las microcuencas Mishqui y Rumi.**





**Figura 8. Mapa de Suelos correspondiente a las microcuencas Miskiyacu y Rumiyaqu.**

Al integrar la información anterior con la información climática se definieron las URH para cada microcuenca. En total fueron determinadas 22 URH para la microcuenca del Río Miskiyacu y 28 URH para la microcuenca del río Rumiyaqu (Cuadro 3 y 4)

**Cuadro 3. Unidades de Respuesta Hidrológica determinadas para la microcuenca Miskiyacu.**

URH No.	SUBCUENCA	USO	Unidad de Suelo	AREA (Km2)
1		1 FRST	NIPON	0.196
2		1 AGRR	NIPON	0.058
3		2 PAST	NIPON	0.019
4		2 APPL	NIPON	0.011
5		2 FRST	NIPON	0.297
6		2 AGRR	NIPON	0.009
7		3 APPL	NIPON	0.007
8		3 FRST	NIPON	0.012
9		3 AGRR	NIPON	0.009
10		4 APPL	NIPON	0.008
11		4 FRST	NIPON	0.064
12		4 AGRR	NIPON	0.012
13		5 APPL	NIPON	0.008
14		5 FRST	NIPON	0.093
15		6 PAST	NIPON	0.049
16		6 APPL	NIPON	0.038
17		6 FRST	NIPON	0.713
18		6 AGRR	NIPON	0.091
19		7 PAST	NIPON	0.011
20		7 FRST	NIPON	0.078
21		7 FRST	CERROAMARILLO	0.005
22		7 AGRR	NIPON	0.022

**Cuadro 4 Unidades de Respuesta Hidrológica determinadas para la microcuenca Rumiyacu.**

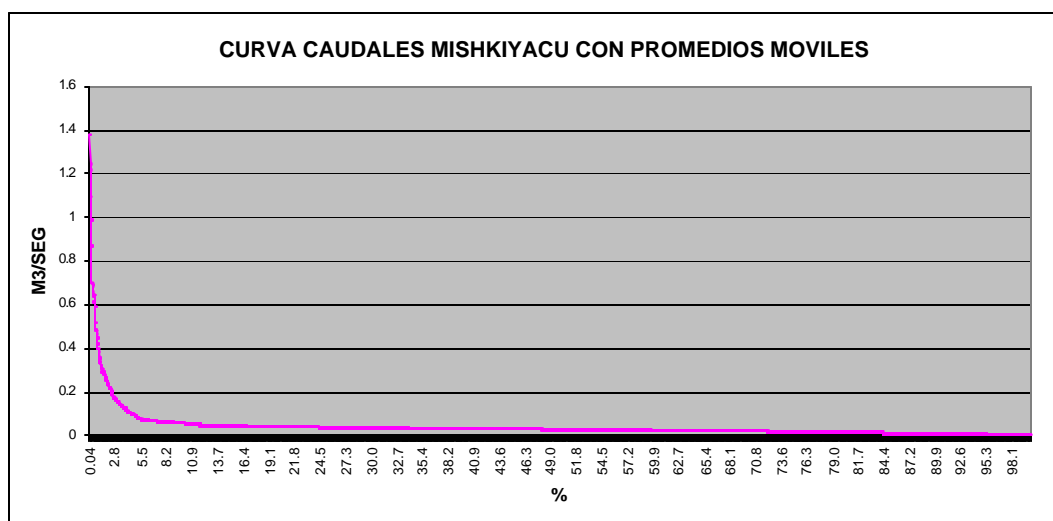
URH No.	SUBCUENCA	USO	Unidad de Suelo	AREA (Km2)
1		1 PAST	NIPON	0.018
2		1 FRST	NIPON	0.286
3		1 FRST	CERROAMARILLO	0.005
4		1 AGRR	NIPON	0.122
5		2 PAST	NIPON	0.075
6		2 APPL	NIPON	0.097
7		2 FRST	NIPON	0.946
8		2 AGRR	NIPON	0.364
9		3 PAST	NIPON	0.224
10		3 APPL	NIPON	0.171
11		3 FRST	NIPON	0.425
12		3 AGRR	NIPON	0.207
13		4 PAST	NIPON	0.032
14		4 APPL	NIPON	0.167
15		4 FRST	NIPON	0.342
16		4 AGRR	NIPON	0.11
17		5 PAST	NIPON	0.07
18		5 APPL	NIPON	0.077
19		5 FRST	NIPON	0.35
20		5 AGRR	NIPON	0.204
21		6 PAST	NIPON	0.021

22	6	PAST	CERROAMARILLO	0.107
23	6	APPL	NIPON	0.079
24	6	APPL	CERROAMARILLO	0.085
25	6	FRST	NIPON	0.46
26	6	FRST	CERROAMARILLO	0.228
27	6	AGRR	NIPON	0.159
28	6	AGRR	CERROAMARILLO	0.083

### 3.1.2 Modelación hidrológica:

Para las microcuencas y sus respectivas URHs se calculo utilizando SWAT, la escorrentía, flujo lateral, evapotranspiración, percolación, producción de agua al caudal (m3/seg), producción de sedimentos al caudal (Ton/Ha) para cada día y mes del periodo simulado (1999-2005).

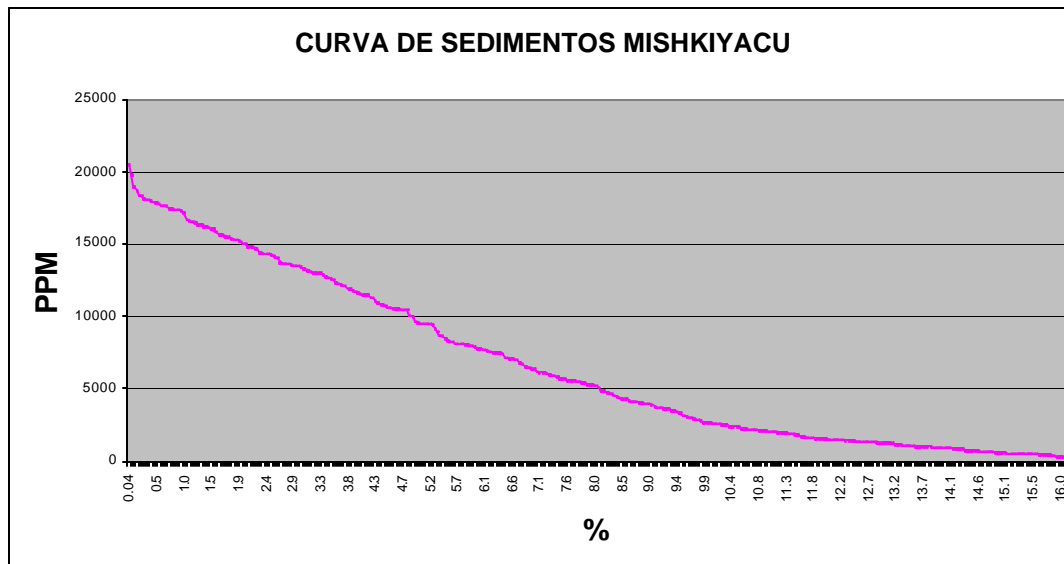
Con el análisis del comportamiento diario de estas variables para las dos microcuencas, se realizaron las curvas de duración de caudales y concentración de sedimentos (figura 9 - 12).



**Figura 9. Curva de duración de caudales de la microcuenca Miskiyacu**

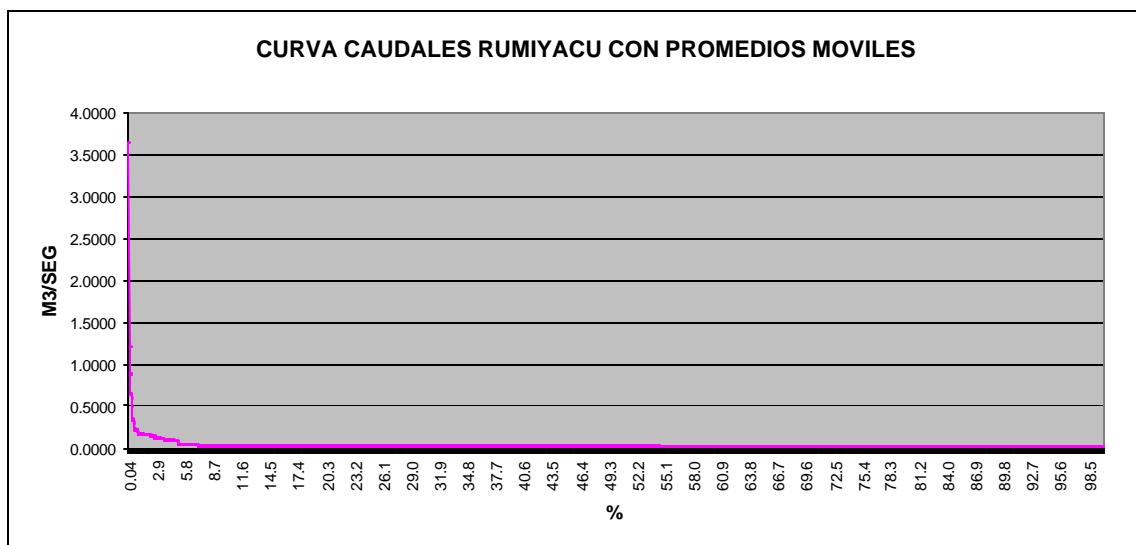
Con respecto a la cuenca Miskiyacu, las curvas de duración de caudal muestran que el 70% de las veces se presenta un caudal mayor o igual a 20 lt/seg. Considerando la cantidad de sedimentos en el caudal (ppm), se encontró que el 84% del tiempo (1659 días de 1975 días simulados) no hay aporte al caudal. Por el contrario, cantidades mayores o iguales 308 ppm de sedimentos son aportadas con una probabilidad del 16%.



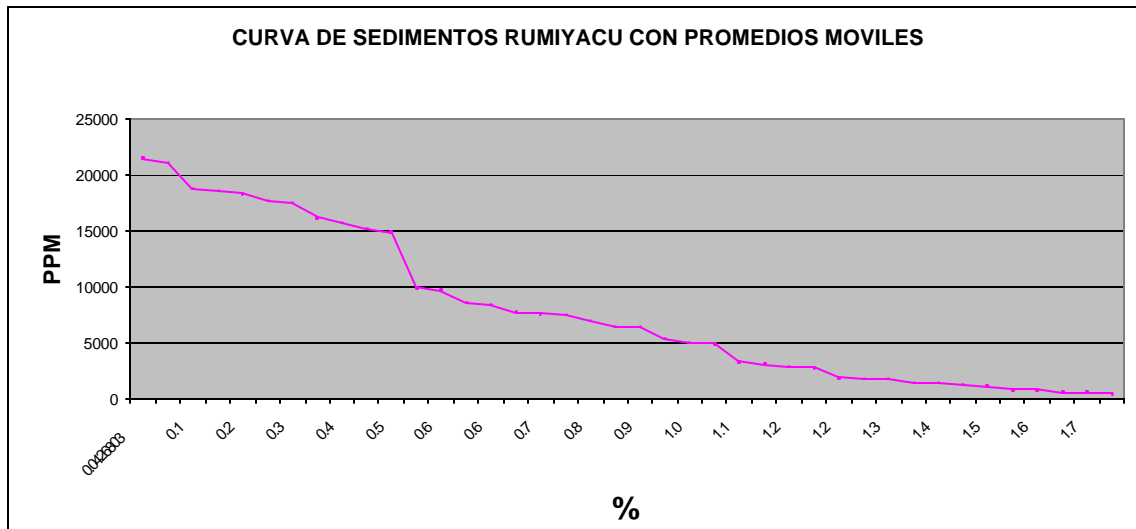


**Figura 10. Curva de concentración de sedimentos en la microcuenca Miskiyacu**

Para la microcuenca Rumiyaçu se puede observar que el 90% del tiempo el caudal presenta un flujo igual o mayor a 20 lt/seg. Sin embargo aunque el flujo mínimo esta ajustado a las condiciones de la zona, hay que tener en cuenta que los picos de lluvia están subestimados debido a la corrección de la precipitación que se menciona anteriormente. Así mismo la probabilidad de encontrar sedimentos en el caudal ( $\geq 382$  ppm) es del 2% y el resto del tiempo la concentración es mínima o igual a 0. Esta probabilidad esta subestimada debido a que los picos de escorrentía no están simulados adecuadamente para esta cuenca. Sin embargo, teniendo en cuenta que esta cuenca se utiliza en época de estiaje para abastecer a la EPS, la contribución de sedimentos aquí simulada corresponde a la que actualmente esta cuenca hace a la planta de tratamiento.



**Figura 11. Curva de duración de caudales de la microcuenca Rumiyaçu**

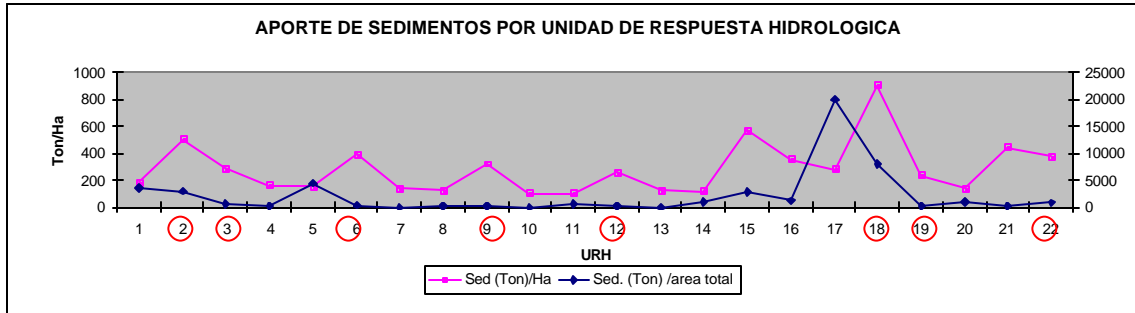


**Figura 12. Curva de concentración de sedimentos en la microcuenca Rumiayacu**

Teniendo en cuenta el caudal diario de la microcuenca Miskiyacu, principal área que abastece la EPS, se determinó que el 36% del tiempo es necesario complementar la oferta hídrica con aguas que vienen de la cuenca Rumiayacu. Estos periodos corresponden a las épocas de estiaje como se mencionó anteriormente.

Durante el periodo modelado 1999-2005, se encontró que los días que es necesario complementar el caudal del río Miskiyacu con las aguas del Rumiayacu, este último no aporta sedimentos al caudal total, indicando que la mayoría de los sedimentos que se encuentran en el agua que trata la EPS provienen de la cuenca Miskiyacu.

Debido a esto se calculó cuál es la contribución de sedimentos al caudal por parte de cada una de las URHs de la cuenca Miskiyacu. Con base en la cantidad de sedimentos aportados por cada URH, se priorizaron las que tienen un mayor impacto sobre la externalidad (sobre la concentración de sedimentos en el caudal aguas abajo) (Figura 13). En otras palabras se definieron las áreas dentro de la microcuenca que son prioritarias para implementar cambios en el uso de la tierra y alcanzar el impacto esperado sobre la externalidad (cuadro 5)



**Figura 13. Aporte de sedimentos al caudal por cada una de la URH de la microcuenca Miskiyacu.**

Algunas de las URH priorizadas corresponden a las áreas que aportan más sedimentos al caudal. Sin embargo, existen algunas URH con gran aporte de sedimentos que no fueron priorizadas. La principal razón se debe a que su cobertura actual no permite proponer otros escenarios de uso de la tierra. Por ejemplo, la URH 17 corresponde a un área que esta cubierta por bosque nativo o la URH 16 tiene café de sombrío dentro del bosque.

Adicionalmente se incorporaron dentro de las arreas priorizadas zonas que actualmente se encuentra con purma o pasturas, y que fueron previamente deforestadas. Estas áreas aunque son pequeñas permiten proponer otros escenarios de uso de la tierra, y en conjunto pueden tener un impacto importante en los sedimentos totales.

Así, las URH priorizadas ocupan 23.1 Ha dentro de la microcuenca, contribuyen actualmente con el 27% de los sedimentos totales de la cuenca y corresponden al sistema de uso tradicional (AGRR) y pasturas (PAST) (cuadro 5).

**Cuadro 5. Unidades de Respuesta Hidrológica priorizadas en la microcuenca Miskiyacu.**

URH No.	Área (ha)	Sed (Ton) / Ha/ 5 años	Sed (Ton)/5 años	% de contribución al total de sed. producidos en la microcuenca
18	9.1	903	8217	16.5
02	5.8	500	2902	5.8
06	0.9	396	356	0.7
09	0.9	323	291	0.6
12	1.2	261	313	0.6
22	2.2	374	823	1.7
03	1.9	292	555	1.1
19	1.1	239	263	0.5
<b>Total</b>	<b>23.1</b>	<b>3289</b>	<b>13720</b>	<b>27.6</b>

La priorización se ha hecho teniendo en cuenta cual ha sido su aporte durante los últimos 10 años. Esta simulación es utilizada en la siguiente evaluación de escenarios, para comparar este sistema de uso de la tierra con otras alternativas.

### 3.2. Evaluación de escenarios en la microcuenca Miskiyacu

Para las URH seleccionadas se realizó una evaluación ex-ante del impacto sobre las externalidades hidrológicas (producción de sedimentos y agua) de diferentes escenarios de uso de la tierra: café de sombrero, reforestación y barreras vivas (en el escenario de uso actual). Estos impactos se comparan con los que el sistema tradicional de uso puede seguir produciendo si la deforestación avanza con el mismo sistema (quema-maíz-pasto).

La evaluación de escenarios se hizo no solamente sobre las variables ambientales (aporte de sedimentos y cantidad de agua) sino también sobre variables socioeconómicas, especialmente, utilización de jornales y generación de ingreso. Para la evaluación económica se utilizaron precios constantes para los costos de producción, precios de venta de productos agrícolas y forestales, y de la mano de obra. Para determinar el impacto sobre la utilización de mano de obra se asumió que dentro de las 23.1 Ha evaluadas existe la mano de obra suficiente para ser empleada en los escenarios evaluados.

En el cuadro 6, se muestran los principales resultados de la evaluación de los escenarios considerando las variables mencionadas anteriormente, para un periodo de 10 años y un área disponible de 23.1 Ha.

**Cuadro 6. Evaluación ambiental y socioeconómica de diferentes escenarios de uso de la tierra.**

	<b>Sistema tradicional de uso: Quema-maíz-pasto</b>	<b>Sistema de uso quema-maíz-pasto con barreras vivas</b>	<b>Café de sombrero sembrado sobre pasto</b>	<b>Plantación forestal sembrada sobre pasto</b>
Ingreso neto (\$US)	76250	68802	144180	72187
Ingreso marginal		-7748	44065	-27927
Inversión inicial en efectivo (\$US)	9	13	176	470
Sedimentos (Ton/Ha)	21247	10623	11766	10620
Sedimentos marginales		-10624	-9481	-10627
Producción de agua (m3)	2707711	2707711	2395627	2334858
Producción de agua marginal			-312084	-372853
Utilización de jornales	5682	5807.34	10071	5266
Marginal de utilización de jornales.		125	4389	-416

Con la evaluación de los cuatro escenarios se encontró que la implementación de barreras vivas, plantaciones forestales y café de sombrero se reduce el aporte de sedimentos al caudal en un 50%, 50% y 44%, respectivamente, con respecto al sistema tradicional. Desde el punto de vista de cantidad de agua el café de sombrero disminuye el aporte de agua al caudal en un 11% y las plantaciones forestales en un 14%.

Con relación al impacto sobre ingresos netos para el periodo simulado (10 años), el café de sombrero permite incrementarlos con relación al sistema tradicional en un 89%. Por el contrario, las plantaciones forestales disminuyen los ingresos netos en un 5.3% y la elaboración de las barreras vivas en un 9.7%.

Aunque la reconversión del uso actual de la tierra (pasturas) hacia café de sombrero incrementa de manera importante los ingresos de las 23.1 Ha evaluadas, en la actualidad se encuentra que esta actividad en la cuenca no se realiza. Esto puede estar relacionado con los niveles de inversión requerida para implementar este sistema de producción. En este estudio se calculó que la inversión requerida inicial para implementar café de sombrero es de \$176/Ha. En contraste, el sistema de uso tradicional (quema-maíz-pasto) requiere únicamente una inversión de (\$9/Ha) que corresponden al costo de la semilla. En este costo no está incluido el valor de la mano de obra familiar utilizada. Para el caso de las plantaciones forestales se calculó que se requiere de una inversión inicial de \$470/Ha.

Este tipo de análisis se hizo para mostrar que los agricultores que viven en esta cuenca no tienen capacidad para implementar sistemas de producción que aunque más rentables exigen flujos de capital en efectivo mayores.

De los escenarios evaluados, el sistema de uso de café de sombrero es el único que incrementa significativamente la utilización de jornales con respecto al sistema de producción tradicional (77%). Esto puede explicar el gran flujo de colonos en otras microcuencas cercanas, las cuales ofrecen oportunidades de empleo en la medida que la reconversión del uso del suelo ha estado orientada los últimos años hacia la producción de café.

Teniendo en cuenta los flujos de efectivo anuales obtenidos para cada escenario, se calculó la tasa interna de retorno (TIR) para cada una de las alternativas (cuadro 7). La alternativa con una TIR mayor es el café de sombrero (159%), seguida de la plantación forestal (26%). Para el sistema tradicional con o sin barreras vivas, no se calculó la TIR debido a que la inversión inicial es mínima.

Sin embargo, si se calcula la TIR teniendo en cuenta el valor de los jornales familiares utilizados en los diferentes escenarios, se obtiene que el sistema tradicional presenta el mayor valor (824%). Esto se debe a que el monto de la inversión incluyendo utilización de mano de obra familiar es mínima en

comparación con los ingresos netos anuales. Lo anterior explica porque las zonas que han sido deforestadas, sembradas en maíz y en la actualidad se encuentran utilizadas para pastoreo no se han reconvertido hacia café. Es decir, para zonas deforestadas y con baja disponibilidad de capital en efectivo la opción más rentable es el pastoreo.

**Cuadro 7. TIR para los diferentes escenarios de uso de la tierra evaluados**

	Sistema Tradicional	Sistema Tradicional con barreras vivas	Café de sombrío	Plantación Forestal
<b>TIR calculada con flujos de efectivo</b>	---	---	<b>159%</b>	<b>26%</b>
<b>TIR calculada con flujos de efectivo y valor de mano de obra familiar</b>	<b>824%</b>	<b>53%</b>	<b>60%</b>	<b>16%</b>

## 4. DISCUSION

El escenario de café de sombrío es la alternativa que mayores beneficios genera en términos de generación de empleo, ingreso neto y disminución de la erosión, siendo esta ultima variable la causa de la principal externalidad que afecta al acueducto de la ciudad de Moyabamba. Sin embargo es la alternativa de uso de la tierra para las URH priorizadas que demanda de una mayor inversión inicial, lo que implica que la promoción de esta alternativa requerirá de algún esfuerzo en conjunto para facilitarle a los productores el capital inicial necesario. Sin embargo esto será a un bajo riesgo debido a que la TIR esta muy por encima de cualquier tasa de interés actual.

Aunque el escenario de reforestar con especies arbóreas comerciales, tiene un impacto positivo sobre la erosión, similar a la del cultivo de café de sombrío, produce un cambio marginal negativo sobre el ingreso neto con referencia al sistema tradicional. Así mismo emplea menos del 50% de la mano de obra que podría utilizarse en el cultivo de café e incluso menos que la utilizada bajo el sistema tradicional.

La instalación de barreras vivas en el sistema de producción actual de las URH priorizadas, permite disminuir la erosión en gran proporción (50%), pero el marginal de ingreso es negativo. Sin embargo, se puede conseguir el efecto esperado sobre la externalidad con una inversión inicial mínima a diferencia de la instalación de cultivos de café.

Se puede calcular el costo de reducir una tonelada de sedimentos teniendo en cuenta marginales de ingreso neto, sedimentos e inversión requerida. De esta manera para el sistema tradicional con barreras vivas, se calculo teniendo en

cuenta el marginal de ingreso neto vs. marginal de sedimentos para el periodo de 10 años. Este procedimiento se utilizó debido a que la inversión inicial requerida para incorporar estas prácticas de conservación es muy baja y requiere mantenimiento durante todos los años.

En el caso de café y plantaciones forestales este cálculo se realizó teniendo en cuenta la inversión necesaria para cambiar el sistema (tanto en flujos de efectivo como en cantidad de jornales). Aquí los ingresos netos marginales no se utilizan debido a que el principal limitante para producir un cambio en el uso de la tierra se encuentra relacionado con la inversión inicial.

Estos valores deben ser la base o el costo mínimo para negociar el cambio de uso de la tierra con los productores ubicados en las áreas priorizadas. En el cuadro 8, se encuentran estos resultados por tonelada de sedimento reducida y por hectárea reconvertida al escenario potencial propuesto.

**Cuadro 8. Costo por reducir el aporte de sedimentos en diferentes escenarios de uso de la tierra.**

	Escenario actual con barreras vivas		Café de sombrero		Plantación forestal	
	Costos basados en ingreso neto marginal (\$US)	Costo total (ingreso neto y costo mano de obra familiar) (\$US)	Costo basado en inversión inicial (\$US)	Costo total (inversión inicial y costo mano de obra familiar) (\$US)	Costo basado en inversión inicial (\$US)	Costo total (inversión inicial y costo mano de obra familiar)
Costo de ton sedimentos reducida	0.7	0.75	0.43	1.31	1.02	1.40
Costo reducir erosión x Ha	32	35	17.6	53.6	47	64.5

Desde el punto de vista de un mecanismo de compensación por servicios ambientales para incentivar el cambio del uso de la tierra en las áreas priorizadas de la microcuenca Miskiyacu, es necesario decidir cuál es el objetivo de realizar la reconversión del uso de la tierra: Mejorar la provisión del servicio ambiental o generar una nueva dinámica de desarrollo en la zona promoviendo alternativas que incrementen ingreso, generen más empleo y obviamente tenga un impacto positivo sobre los servicios ambientales.

Si el objetivo es proveer servicios ambientales pero consiguiendo mejorar las condiciones socioeconómicas de la región posiblemente el escenario alternativo con café de sombrero es la mejor opción. Pero si el objetivo es reducir la erosión y modificar de manera mínima las condiciones socioeconómicas actuales, la mejor opción puede ser el escenario que propone realizar prácticas de conservación (barreras vivas) dentro de los sistemas de producción actual. En cualquiera de las dos situaciones, ¿cuál es la compensación o incentivo necesario para el productor, en busca de que este realice el cambio esperado?

Para el caso de los productores que implementen barreras vivas en sus terrenos dedicados a la producción de cultivos semestrales como maíz, y pastos, el costo para estos por reducir una tonelada de erosión es de \$0.75/Ton (incluyendo costo de mano de obra) o \$0.70 considerando únicamente los flujos de efectivo, lo que equivale a \$35Ha/Año o \$32ton/año, respectivamente (Cuadro 8).

Por otro lado el incentivo que se debe transferir al productor para que este implemente café de sombrero debe ser de \$53.6Ha/año o \$17.6Ha/año, cuando se incluyen los costos totales o únicamente los flujos de efectivo, respectivamente. Este es un costo más bajo por reducción de erosión que en el caso de la implementación de las barreras vivas, debido a que la compensación a los productores para que implementen café solo se basa en la inversión que se debe hacer para la reconversión. De manera contraria, cuando se implementan prácticas de conservación, la compensación debe estar basado en el capital necesario que se necesita todos los años para darle mantenimiento a la práctica.

La compensación hacia productores que cambien su uso actual (pasturas) hacia café de sombrero debe ser desembolsada en los dos primeros años, que es cuando se realiza la inversión. Esto representaría dos pagos, cada uno de \$269/Ha y 88/Ha, según consideremos el valor de la mano de obra o únicamente los flujos de efectivo.

Como se ve en los resultados anteriores, si se incluye la mano de obra utilizada dentro de los costos, el valor del incentivo por Ha para lograr el cambio en el uso de la tierra se incrementa notoriamente. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el costo de la mano de obra familiar se ha calculado en base al costo salario mínimo, pero puede ser que el costo de oportunidad de la mano de obra sea menor.

Dado que la implementación de usos como el café de sombrero en zonas deforestadas presenta impactos en diferentes aspectos, se deberá considerar alianzas estratégicas entre sectores para asumir el costo total. Así, parte de este debe cubrirlo los sectores o gobiernos interesados en generar empleo, incrementar ingresos y aumentar la oferta de café. Por otro lado el costo de generar el servicio ambiental lo deben asumir los usuarios del recurso hídrico que proviene de esta microcuenca.

Adicionalmente a los beneficios o costos que puedan generar los diferentes escenarios propuestos debido a su impacto en ingreso del productor, utilización de su mano de obra y producción de servicios ambientales, también deben tenerse en cuenta los beneficios sociales causados por los encadenamientos por empleo e ingreso. Es decir todos aquellos beneficios indirectos que se ocasionan cuando se genera mas ingreso y empleo en un sector de la sociedad teniendo repercusiones en otros sectores (pe. en los niveles de consumo de otros bienes y servicios).



Estos beneficios sociales han sido calculados para cada uno de los escenarios (cuadro 9), encontrando que estos se aumentan con respecto al sistema tradicional en un 85% cuando las áreas priorizadas cambian a café. Por el contrario con la implementación de barreras vivas o plantaciones forestales se disminuye en un 6.5% y 5.8 %, respectivamente. Esto se debe principalmente a que con barreras vivas se disminuye el ingreso y en el caso de las plantaciones forestales se disminuye notoriamente la mano de obra utilizada.

**Cuadro 9, Beneficios sociales de diferentes escenarios de uso de la tierra en la microcuenca Miskiyacu, ocasionados por encadenamientos por generación de empleo y de ingreso.**

	<b>Escenario actual</b>	<b>Escenario actual con barreras vivas</b>	<b>Café de sombrío</b>	<b>Plantación forestal</b>
Beneficios sociales <sup>2</sup> (\$US x 1000)	157	147	291	147
Marginal		-10	134	-9

<sup>2</sup> Nota: Valores obtenidos para un período de 10 años. Encadenamiento por jornal utilizado= 0.5. Valor del jornal utilizado: \$5. Encadenamiento por ingreso= 0.5

Teniendo en cuenta los beneficios sociales, el escenario de café de sombrío continúa siendo un escenario de reconversión de uso de la tierra que no solo mejora la provisión de un servicio ambiental (disminución de sedimentos en el agua) sino que adicionalmente influye sobre la dinámica rural de la zona.

Por otro lado, es necesario decir que la implementación de un mecanismo de compensación por servicios ambientales en la microcuenca Mishkiyacu, puede ser relativamente fácil si se tiene en cuenta que el área priorizada y susceptible de cambios en su uso, son apenas 23.1Ha con un potencial de disminuir el aporte de sedimentos en un 18%. Así mismo, si se promueve la instalación de cultivos de café el mecanismo de pago tendrá unos costos de transacción bajos en comparación con los necesarios para promover barreras vivas, ya que en el primero solo se deben efectuar 2 pagos al inicio, mientras que para promover practicas de conservación el incentivo debe ser desembolsado durante todos lo años.

Una parte importante de los recursos para pagar la compensación necesaria a estos productores podría ser recaudada a partir de un pago desde la población de Moyabamba, que esta dispuesta a pagar \$4soles/familia por mes. Teniendo en cuenta que la ciudad cuenta con 7136 usuarios activos (Nowick, 2005), se podría en tan solo dos meses recaudar los recursos necesarios para estimular el cambio en el uso del suelo.

Por último, es necesario advertir que en la medida que la demanda de agua de la ciudad de Moyabamba aumente, es posible que el numero de veces que la EPS deba utilizar las aguas de la cuenca Rumiayacu se incremente, teniendo

incluso que utilizar esta fuente de agua en épocas de mayor escorrentía, lo cual podrá incrementar el aporte de sedimentos al caudal utilizado por el acueducto y en consecuencia los costos de la EPS. En este caso nuevas URH deben ser priorizadas en la cuenca de Rumiyacu, para las cuales la evaluación de escenarios realizada en este estudio para la microcuenca Miskiyacu, deberá ser aplicada para determinar que cambios en el uso de la tierra o prácticas de manejo pueden proponerse y cuales son sus costos de oportunidad.

## **5. CONCLUSIONES**

A partir del análisis hidrológico se determino que la contribución de la microcuenca Rumiyacu con sedimentos a la EPS es mínima debido a que sus aguas son intersectadas por la empresa en épocas de baja escorrentía.

El escenario de café parece ser el más adecuado para ser promovido por un mecanismo de PSA, debido a que no solo disminuye el aporte de sedimentos sino mejora las condiciones socioeconómicas de los productores y de la sociedad. Sin embargo requiere una mayor inversión en comparación con el sistema tradicional.

Dada que el área susceptible de reconversión en la microcuenca Miskiyacu es pequeña, los cambios de uso propuestos pueden tener un impacto sobre los sedimentos y existe disponibilidad a pagar por la conservación en la ciudad de Moyabamba; puede ser factible por medio de una compensación económica promover el cambio de uso de la tierra en zonas deforestadas.

Si la demanda por agua potable en la ciudad de Moyabamba incrementa, se deberá considerar áreas adicionales en la cuenca Rumiyacu, para promover cambios en el uso de la tierra. Esto puede implicar un aumento en las compensaciones requeridas y por lo tanto la participación de otros sectores para realizar los pagos por servicios ambientales.

Es apropiado continuar con las mediciones de precipitación diaria en las cuencas Rimiyacu y Miskiyacu, ya que estas permiten ajustar las precipitaciones de la estación climática Moyabamba a las condiciones reales de las microcuencas.

Aun bajo bosque nativo, la cuenca contribuye con altos niveles de sedimentos. Esto se debe a la combinación de fuertes pendientes e intensidad de la precipitación. Esto se corrobora con la URH No.17 de la cuenca Miskiyacu, la cual corresponde al área que más sedimentos aporta al caudal por Ha y por área total.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

EPS. 2004. Nivel de tecnología y costo de producción de los cultivos en las microcuencas Rumiyaqu- Miskiyacu y Almendra. Realizado por la Empresa de Acueducto de Moyabamba. Moyabamba, Perú

Nowick. M. 2005. Implementación de un esquema de pago por servicios ambientales. Un estudio de la voluntad a pagar. Proyecto Cuencas Andinas. Febrero 2005. Moyabamba.

PEAM 2004. Boletín Programa de Zonificación Ecológica Económica. Área SIG y Teledetección. Moyabamba, Perú. Marzo 2004.

Sims, B. y Ellis-Jones, J. 1994. Increasing productivity on hillsides farms with emphasis on improved soil conservation practices. SILSOE Resarch Institute.