

VALORACIÓN DE IMPACTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA EN REHABILITACIÓN DE CUENCAS, CASO CUENCA RÍO TONA

Álvaro Martín Gutiérrez M¹ & Mario Díaz-Granados Ortiz²

1. Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Católica de Colombia

2. Facultad de Ingeniería Civil - Universidad de Los Andes

amgutierrez@ucatolica.edu.co

Recibido para evaluación: 15 de Noviembre de 2004 / Aceptación: Mayo 11 de 2007 / Versión final: Mayo 18 de 2007

RESUMEN

En las cuencas hidrográficas se producen bienes y servicios que contribuyen al desarrollo. Sin embargo, debido a diferentes factores, las cuencas sufren procesos de deterioro, lo cual afecta la generación de bienestar en un contexto regional. Frecuentemente en estudios medioambientales la evaluación económica y la valoración de impactos se hace de forma separada. Por eso, el trabajo propone una metodología que integra la valoración de impactos y la evaluación económica para determinar cuál, de un grupo de diferentes escenarios, es el mejor proceso de rehabilitación. Como caso de estudio se tomó la Cuenca del Río Tona en Santander: se modelaron 3 escenarios que involucran variaciones en la cobertura vegetal. Para valorar los impactos relacionados con la variación de caudales y la producción de sedimentos se utilizó el programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool) y la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE); una vez cuantificados dichos impactos, se estimaron los beneficios económicos obtenidos al implementar diferentes acciones sobre la cuenca utilizando herramientas propuestas por diferentes autores.

PALABRAS CLAVE: Impactos Ambientales; Economía Ambiental; Manejo de Cuencas; Métodos de Evaluación Ambiental; Sedimentos; Regulación de Caudales; Cuenca del Río Tona [Santander, Col.].

ABSTRACT

Many goods and services which contribute to development are produced in the hydrographic basins. However, due to different factors, such basins are deteriorated, which affects the generation of well being in a regional context. Frequently, in environmental studies, the economic evaluation and the impact valuation are done separately. That is why this work proposes a methodology that integrates both, impact valuation and economic evaluation, in order to determine which one, among a group of different scenarios, is the best rehabilitation process. The Tona river basin, in Santander, was taken as a case study: three scenarios which involve variations in the vegetation covering were modelled. The impact valuation related to flow variation and sediment production was done by using the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) program and the Universal Soil Loss Equation (USLE); once the impacts were quantified, the economic benefits obtained by implementing different actions over the basin (using some tools proposed by different authors) were estimated.

KEY WORDS: Environmental Impacts; Environmental Economy; Management Watersheds; Methods of Environmental Evaluation; Sediments; Streamflow Regulation; Watershed Rio Tona [Santander, Col.].

1. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son unidades del territorio donde funciona la combinación de un subsistema hídrico que produce agua, junto con un subsistema económico y social, activado por el hombre, el capital, el trabajo y la tecnología. En ellas se producen bienes y servicios agrícolas, pecuarios, forestales y recreativos que son demandados por poblaciones. Su comercialización produce ingresos y contribuye al desarrollo. Sin embargo, en ese proceso productivo se genera un conjunto de subproductos de efectos indeseables, como la erosión, la disminución de la productividad agrícola, los flujos de retorno contaminados, la disminución de la biodiversidad y de los caudales de estiaje, entre otros.

Se puede considerar que una cuenca se encuentra en proceso de deterioro cuando en ésta ocurre un proceso activo de deforestación del bosque, con pérdida de la biodiversidad vegetal y animal, un aprovechamiento agrícola inadecuado de las tierras, presencia creciente de plagas en los cultivos agrícolas, pérdida de fauna silvestre, contaminación de las aguas por agroquímicos, aparición de conflictos entre pobladores por demanda insatisfecha de agua, empobrecimiento de la población y éxodo rural.

Se forma un círculo de degradación de las cuencas que atenta contra la promoción del desarrollo aguas abajo y

sobre el desarrollo regional, como se muestra en la Figura 1. Cada etapa está integrada por una serie de factores. La primera serie se denomina (1) impacto socioeconómico que se considera el activador u originador de otras dos etapas consecutivas. Los factores sociales y económicos, explosión de masas sin educación o poco educadas y emigración asociada con la pobreza hacen parte de esta serie. El rápido incremento de la población altera el equilibrio sostenido entre los recursos de la cuenca y la demanda lo que se traduce en un fuerte impacto sobre el medio ambiente. La desesperación socioeconómica fuerza a la población a destruir bosques y pastizales. De este modo se desencadena la segunda etapa del círculo cerrado (2) Abuso de los recursos de tierras, que comienza con la transformación de bosques y pastizales para otros usos inadecuados, la utilización residencial e industrial de tierras de cultivo y abusos en la agricultura y la silvicultura. Todas estas actividades y abusos precursores activan el (3), problemas reales concretos como erosión, torrentes, deslizamientos de tierras, inundaciones, contaminación ambiental, degradación del régimen hidrológico de una cuenca y escasez de agua y alimentos. La tercera serie de estos problemas concretos, al igual que las otras etapas de estas reacciones consecutivas en cadena, completa el ciclo de este círculo cerrado y acelera las magnitudes del impacto socioeconómico en la primera etapa (Özyuvac et al., 1999).

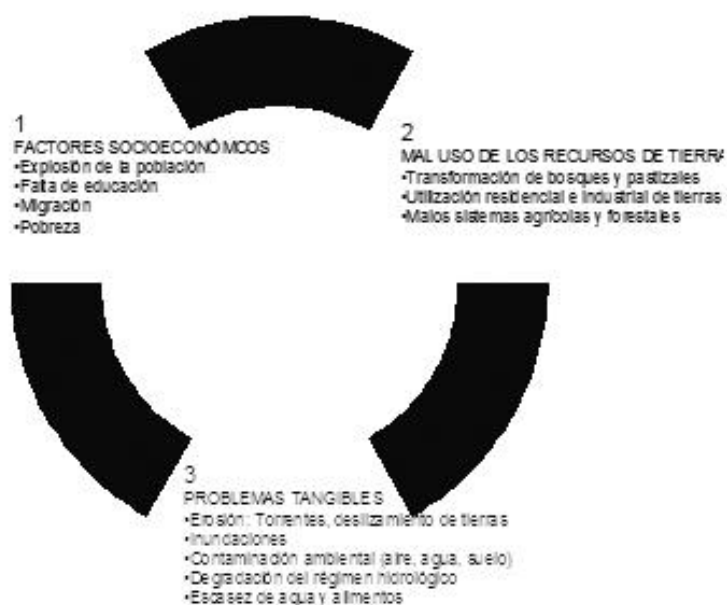


Figura 1. Círculo cerrado de la degradación de los recursos de una cuenca. (Özyuvac et al., 1999)

Las acciones y actividades de la ordenación integrada de cuencas puede emplearse a través de dos métodos principales: (1) el método preventivo y (2) el método de rehabilitación. Este último consiste en aplicar procedimientos destinados a reparar las cuencas degradadas por prácticas nocivas. En este estudio se analizan medidas de rehabilitación, en concreto, con reforestación.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo propone integrar un análisis económico a la predicción de los impactos que puede generar un proyecto sobre una cuenca. Para esto se requiere valorar los impactos, es decir cuantificarlos, utilizando herramientas técnicas previamente establecidas, de esta manera se asocian modelos económicos a dicha cuantificación de impactos. A continuación se explican las consideraciones tenidas en cuenta que permitieron desarrollar esta propuesta.

2.1. Valoración de los Recursos Naturales

A pesar de que los recursos naturales pueden considerarse activos que generan retornos al prestar flujos de servicios a la sociedad, las fuerzas del mercado fallan en revelar los precios que reflejen sus verdaderos valores sociales. La economía del bienestar provee criterios para tomar decisiones de inversión donde el mercado falla y se requiere de la inversión o supervisión estatal. Ésta establece que los valores económicos se expresan en términos de disposición a pagar por los individuos y la disposición a aceptar compensaciones. Se establecen tres relaciones básicas de valores ambientales: el valor de preferencia pública (normas sociales), los valores expresados a través de preferencias individuales y el valor funcional físico del ecosistema.

Normalmente los recursos son valorados por sus usos (Freeman, 1993). De acuerdo con lo anterior el valor total es una muestra de lo que se estaría dispuesto a pagar para disponer del recurso en determinadas condiciones. La mejor forma de valorar un recurso según el mismo autor es el valor de uso que se centra en la presencia o ausencia de actividades involucradas directamente con el recurso.

Una cuenca podría ser valorada por el valor de uso directo (consumo humano, agricultura, recreación, etc.),

valor de uso indirecto (control de inundaciones, retención de sedimentos, etc.), valores de no uso, es decir valor de existencia (científico, religioso, cultural, etc.) y valor de herencia (legado del conocimiento sobre usos del agua, usos sostenibles para futuras generaciones), (Barbier, 1997 citado por Canessa, 2000).

El proceso de valoración consiste en considerar un **parámetro de calidad q** , cuyos cambios se deben estimar en términos monetarios. Estas variaciones se determinan teniendo en cuenta que q pueden ser un factor o insumo en la función de producción de un bien mercadeable, un factor de insumo en la función de producción de hogares o un factor de producción de utilidad en los individuos.

Para implementar las medidas de beneficio indirecto, se deben conocer los efectos del cambio en q en los costos de producción, las condiciones de oferta del producto, la curva de demanda y la oferta de factores (Freeman, 1993). De acuerdo con Dixon, 1990, citado por Canessa, 2000 “los costos de remplazar activos que fueron dañados, pueden ser medidos como el mínimo estimador del valor de las medidas que buscan manejar la contaminación o mejoran las prácticas de manejo, previniendo por lo tanto los daños”.

2.2. Determinación de las Funciones de Daños para el caso de estudio

La cuenca estudiada corresponde a la del Río Tona, que es una cuenca oblonga de tipo embudo, ubicada en el Departamento de Santander. Tiene un área de 193.6 Km², donde se encuentran alturas desde los 800 hasta los 4000 msnm. Su relieve es accidentado. El Río Tona transporta un caudal excedido el 95% del tiempo de 1.35 m³/s (Gradex S.A, 2001).

El uso de suelo predominante es el agropecuario, caracterizado por la presencia de cultivos permanentes de café en la parte baja, cultivos limpios y semilimpios de hortalizas en la parte media y pastos de explotación lechera en la parte alta.

Por los considerables caudales transportados por el Río Tona, la buena calidad de sus aguas y por su cercanía con la ciudad de Bucaramanga, existen dos plantas de potabilización de la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga que tratan las aguas de Río Tona. Éstas son La Flora y Morrorico.

Con el fin de verificar el cambio en la respuesta hidrológica y en transporte de sedimentos se utilizó el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modificando las variables de entrada que representan las características de la cobertura. Sobre las condiciones actuales de la cuenca (Caso 1) se variaron las siguientes condiciones: reemplazo de todas las coberturas no naturales de la cuenca con bosque plantado (Caso 2) y reemplazo de las coberturas no naturales de áreas seleccionadas, correspondientes al 34% del área total (Caso 3).

La erosión causada por la lluvia es el resultado de la relación lluvia y características físicas de la zona, por lo tanto su magnitud depende de las características de ambos. Para esto se combinan dos aspectos, la erosividad y la erodabilidad. La primera consiste en la capacidad de la lluvia de producir erosión, mientras que la segunda es la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. La producción de sedimentos se calculó, para los casos estudiados, siguiendo la metodología planteada por la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE; Universal Soil Loss Equation) que tiene la forma general:

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

Donde A = unidad calculada de pérdida de suelo por área de terreno y por año; R = factor de potencial erosivo de la lluvia; K = factor de erodabilidad del suelo; LS = factor topográfico; C = factor de manejo y cobertura, y P = factor de prácticas de manejo.

En el trabajo realizado se aplicó la metodología propuesta por Deeb (1992) y se calcularon todas las variables para

cada una de las subáreas en que se dividió la cuenca. La sumatoria de pérdidas de suelo en cada una de estas unidades se tomó como el valor de suelo perdido en la totalidad de la cuenca.

Para el caso de estudio el análisis económico está relacionado directamente con la disminución en los volúmenes de sedimentos y regulación de caudales. Teniendo en cuenta las acciones propuestas para la cuenca, los beneficios de los proyectos de reforestación recaen sobre las obras afectadas por el agua y sobre los usuarios de los servicios generados por dichas obras. En este trabajo se tuvieron en cuenta las afectaciones al sector de los servicios públicos, particularmente al abastecimiento de agua potable.

Los beneficios de los proyectos de rehabilitación de cuencas recaen sobre las obras afectadas por el agua y sobre los usuarios de los servicios generados por dichas obras. Para este análisis se tuvo en cuenta la afectación al sector de abastecimiento de agua potable. Los beneficios para los sistemas de agua potable se relacionan con diferentes factores: a) Disminución de costos de mantenimiento por reducción de volúmenes de sedimentos y de disminución de caudales máximos, b) Disminución de racionamientos de agua en épocas de sequía, c) Disminución en utilización de químicos utilizados para purificación de agua, d) Disminución de costos de bombeo y aumento de vida útil de instalaciones.

3. RESULTADOS

3.1. Valoración de Impactos

Tabla 1. Curvas de duración de caudales estimadas para la estación puente Tona (Gradex, 2001)

% del tiempo excedido	Caudal (m ³ s) Caso 1	Caudal (m ³ s) Caso 2	Caudal (m ³ s) Caso 3
20	4.833	4.478	4.677
25	4.600	4.276	4.459
30	4.368	4.074	4.241
35	4.135	3.872	4.023
40	3.903	3.671	3.805
50	3.438	3.267	3.369
60	2.973	2.864	2.933
70	2.509	2.460	2.497
80	2.044	2.057	2.061
85	1.811	1.855	1.842
90	1.579	1.653	1.624
95	1.347	1.452	1.406
97.5	1.230	1.351	1.297
99	1.161	1.290	1.232
100	1.114	1.250	1.188

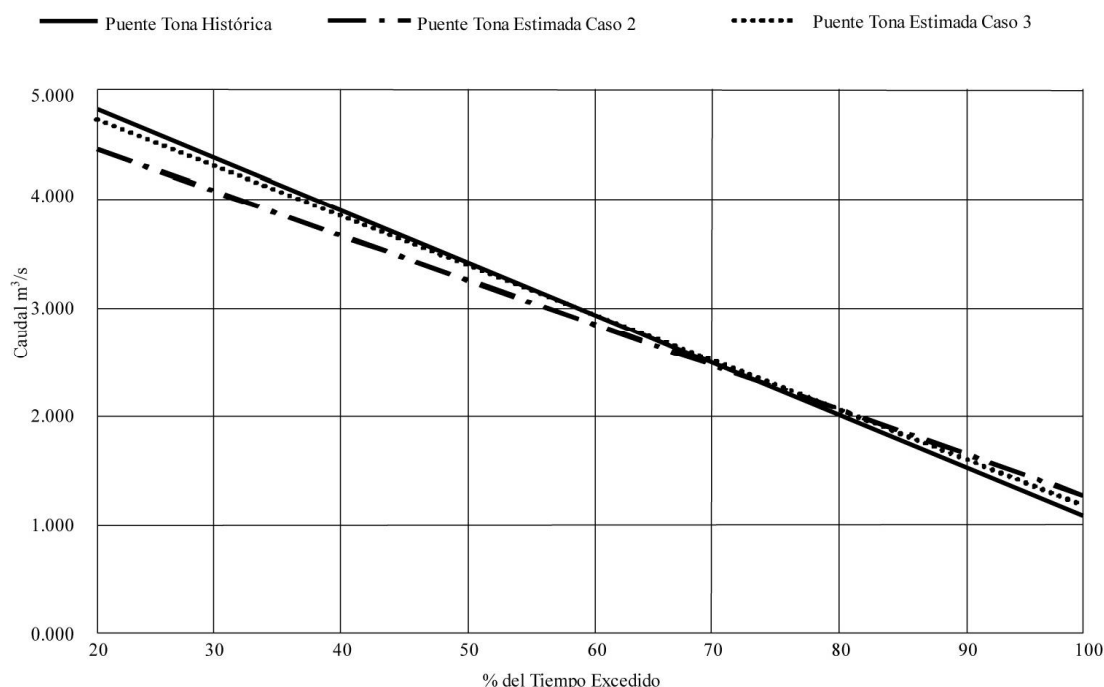


Figura 2. Curvas de duración de caudales estimadas para la estación Puente Tona (Gradex S.A, 2001)

Respuesta hidrológica

Para los escenarios planteados anteriormente se calcularon las curvas de duración de caudales, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1 y la curva obtenida se presenta en la Figura 2.

Del análisis de los datos mostrados en la Figura 2 y Tabla 1 se desprende que el caudal del 95 % en el Caso 2 aumenta en un 7.8% (105 lps), mientras que para el Caso 3 aumenta en 4.4% (59 lps), lo cual representa un aumento en el caudal excedido el 95% del tiempo de 3.3 y de 1.9 millones de metros cúbicos al año, comparados con el Caso 1 para los Casos 2 y 3, respectivamente.

Producción de sedimentos

De acuerdo con el procedimiento adoptado, que se describió en el numeral 2.2, el volumen anual de erosión producido en la cuenca asciende a 117.178.795 Ton/año, este se reduciría a 113.343.733 Ton/año para el Caso 3 y a 94.432.995 Ton/año en caso de reforestar la totalidad de la cuenca (Caso 2). Adicionalmente, la cantidad de sedimentos transportados por el río disminuiría en 3.3% y en 19.41%, para los Casos 2 y 3, respectivamente.

3.2 Respuesta Económica

Contratación de personal

De acuerdo con la variación en el volumen anual de producción de sedimentos, a los volúmenes de sedimentación del acueducto con y sin proyecto, a los rendimientos de limpieza, a los salarios devengados por los operarios y a los costos de mantenimiento del acueducto se calculó el ahorro por personal, de acuerdo con los resultados arrojados al modelar los diferentes casos de estudio.

La disminución en el volumen de sedimentos producidos en el acueducto de Bucaramanga es de 167449 Ton/año y de 28233 Ton/año para los Casos 2 y 3, respectivamente, lo que representa un ahorro anual de 377 y 63.5 millones de pesos para cada uno de estos casos.

Aplicación de químicos

Para estimar la reducción en los gastos necesarios para la compra de químicos utilizados en los procesos de floculación, se tomó la información relacionada con gastos en sulfato de aluminio y cal. El rubro correspondiente a

gastos en químicos se multiplicó por la relación entre los volúmenes de sedimentos con y sin proyecto.

De acuerdo con la información suministrada por el Acueducto de Bucaramanga el gasto anual en los químicos mencionados es de 577 millones de pesos, de acuerdo con las disminuciones de sedimentos para los Casos 2 y 3 se produciría un ahorro anual de 112 y de 19 millones de pesos, respectivamente.

Reducción de Costos por Variación de Caudales

Los escenarios planteados aumentan los caudales mínimos durante todas las épocas, teniendo el agua de consumo humano un valor económico superior en épocas de sequía. El costo del agua se estima de acuerdo con lo que el consumidor está dispuesto a pagar para obtener el nivel requerido. Se simulan los beneficios de las mejoras en los sistemas mediante una ecuación en la cual el valor presente de los beneficios depende de la dotación de agua sin proyecto y de la cantidad adicional de oferta de agua:

$$UPBENE = 23.23 - 0.0779 DOTACION + 0.1031 \sqrt{M3AD} \quad (2)$$

Donde *UPBENE* = Valor presente neto de los beneficios; *DOTACION* = dotación por conexión sin proyecto en l/h/d; *M3AD* = m³ adicionales que ofrecerá el proyecto en m³/año.

Se estima que los efectos de la reforestación sobre los caudales son apreciables a partir del octavo año, por lo tanto, el Valor Presente Neto se ajusta dividiendo por 2.2107 (Jiménez, 1992) y se multiplica por 5.13 para corregir las distorsiones causadas por efecto de la inflación causada desde que se propuso la ecuación. Para el segundo y tercer caso, respectivamente, *UPBENE* toma el valor de 462 y 353 millones de pesos.

Variación de costos de bombeo

El acueducto de la ciudad de Bucaramanga suple las carencias de agua del Río Tona a través de la planta de bombeo, denominada Bosconia, la que aumenta la cantidad bombeada proveniente de otra fuente, ante un déficit en la cantidad de agua. Un déficit de agua producida en el Sistema Tona se refleja en la cantidad de agua bombeada desde Bosconia, de acuerdo a la ecuación desarrollada por García, 1996:

$$\ln bomb = -55.2 - 2.21 \ln aguaTona + 4.46 demtotal \quad (3)$$

Donde *ln bomb* es el logaritmo natural del agua que deberá ser bombeada desde Bosconia; *aguaTona* es la cantidad disponible de agua en el río Tona y *demtotal* es la demanda total de agua para ser potabilizada. El coeficiente -2.21 es la elasticidad del bombeo al caudal del Río Tona, y significa que por un aumento del 1% en el caudal promedio mensual se bombea 2.21% menos agua del otro sistema.

De acuerdo con García (1996) en promedio, por año, se bombean en Bosconia 12.825.732 m³. El efecto de implementar los escenarios 2 y 3 reduce el caudal bombeado en 17.24% y 9.73%, es decir se dejarían de bombear, anualmente, 2.211.156 m³ y 1.247.944 m³, lo que representa un ahorro de 860 y 485 millones de pesos para los escenarios 2 y 3 respectivamente.

Ahorros Generados

Del análisis anterior se desprende que de implementarse la alternativa 2 se lograría un ahorro anual de 1349 millones de pesos, comparado con un ahorro de 567.5 millones para la alternativa 3. Para ambos casos el mayor impacto en el ahorro lo genera la disminución de costos de bombeo, seguido por disminución en costos de mano de obra. Por último, el menor ahorro es el generado por gasto en químicos, 112 y 19 millones de pesos para los escenarios 2 y 3, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo integra la valoración de impactos y la evaluación económica. Sin embargo, los resultados dependen del enfoque que se le dé al estudio; en este caso aunque los impactos estudiados fueron hidrológicos y sedimentológicos, la evaluación económica se realizó desde una perspectiva de abastecimiento de agua potable. Otros análisis pueden utilizar la misma metodología pero modificando considerablemente el estudio económico, de acuerdo al enfoque que se le quiera dar.

En el artículo se intenta analizar la cuenca como un todo, considerando las complejas interacciones que en ellas se dan y no como un conjunto aislado de fenómenos, se propone analizar factores socioeconómicos, usos del

suelo y problemas tangibles. Se espera que se desarrollen más trabajos en esta línea por parte de diferentes investigadores y de grupos interdisciplinarios.

En la Figura 2, se evidencia el efecto regulador de caudales que la reforestación representa, sin embargo, deben estudiarse los resultados arrojados por el modelo con cuidado, pues aunque muestran claras líneas de tendencia, las variaciones están por debajo de la confiabilidad del sistema de mediciones utilizado por el IDEAM. Sin embargo de allí se desprenden algunas colusiones de gran utilidad que serán de gran utilidad para futuros proyectos.

Se debe tener en cuenta que el factor de cobertura C , de la ecuación 1, depende además del tipo de especie sembrada, de las condiciones propias de la zona, razón por la que éste solamente puede ser estimado con exactitud cuando un ecosistema se encuentre establecido. No se encontraron estudios al respecto para nuestro medio. Debido a la gran difusión y amplia utilización de la USLE se deben hacer estudios del factor C para las diversas condiciones propias de Colombia.

La cuenca del Río Tona corresponde a una cuenca de alta pendiente donde se generan altas velocidades del agua y una alta capacidad de erosión de la misma. Además, la alta erodabilidad del suelo hace que la variación de la cobertura tenga un efecto menor al esperado en producción de sedimentos. Estos son factores que por lo general no se consideran en los proyectos de rehabilitación de cuencas, razón por la que los resultados obtenidos serán inferiores a los proyectados.

Si bien la reforestación incide positivamente sobre la producción de agua, no lo hace sobre la producción de alimentos y por lo tanto se deben buscar alternativas de producción que permitan buscar el equilibrio entre asegurar el agua y la alimentación de la población, de lo contrario llegará el momento en que se deba escoger entre hambre o sed, GTZ-CAR (2001). La rehabilitación de cuencas se debe proyectar con visión de sostenibilidad.

Quien desee complementar la propuesta metodológica valorando el suelo que se pierde a través de los procesos de erosión, podría utilizar el trabajo de Kin y Dixon, 1990, referenciado por García, (1996) en el que se utiliza un enfoque dual o de costos evitados para evaluar dos métodos alternativos para el manejo del suelo en

proyectos de agricultura en tierras altas de Corea, tomando los costos de reponer físicamente, por medio de camiones y fertilizantes, el suelo perdido y sus nutrientes como una medida de los beneficios mínimos de prevenir la erosión y pérdida de nutrientes con nuevas técnicas de manejo de suelos.

Se esperaría que la disminución en la carga de sedimentos aumente la vida útil de las estructuras de filtrado y bombeo, por la disminución en la abrasión; sin embargo el cálculo de este efecto supera las posibilidades de este trabajo, pues se requiere información acerca del poder abrasivo sobre diferentes estructuras. Este análisis complementaría el alcance de los beneficios económicos

REFERENCIAS

- Azqueta, D., 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid. Mc Graw Hill. 299 P.
- Baumol, W. y Oates, W., 1988. The theory of environmental policy. Cambridge. Cambridge University Press. 299 P.
- Canessa, R., 2000. Estimación de los beneficios económicos derivados de la política de protección del recurso hídrico en el Parque Nacional Chingaza. Trabajo de grado. Facultad de Economía. Universidad de los Andes. Bogotá. 64 P.
- Deeb, A., 1992. Estimación de Cambios en la respuesta hidrológica. Documento elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo. Bogotá.
- DNP, Banco de Proyectos, División de Metodologías, 1992. Estimación de indicadores costo-eficiencia en proyectos de agua potable. Bogotá.
- Fontaine, E., 1999. Evaluación social de proyectos. México. Alfaomega. 471 P.
- Freeman, A.M., 1993. The measurement of environmental and resource values: theory and methods. Washington. Resources For The Future. 516 P.
- García, M.C., 1996 Valoración económica de los servicios de protección hídrica y control de sedimentos de un bosque: el caso de Bucaramanga. Trabajo de grado. Programa en Economía del Medio Ambiente y de Los Recursos. Universidad de los Andes. Bogotá. 63 P.
- Gradex Ingeniería S.A., 2001. Plan de ordenamiento territorial Microcuenca Río Tona. Documento elaborado para la CDMB. Bucaramanga.
- GTZ-CAR, 2001. Campo para el futuro. Bogotá. 166 P.

- GTZ-CAR, 2000. Cultivar sin arar, labranza mínima y siembra directa en los Andes. Bogotá. 32 P.
- Gupta, R., 2001. River basin management: a case study of Narmada Valley development with special reference to the Sardar Sarovar Project in Gujarat, India. Water Resources Development. Vol. 17, No. 1, pp. 55-78.
- Jiménez, G., 1992. Evaluación económica de externalidades de proyectos de reforestación en Cuencas. Documento elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo. Bogotá.
- Özyuvac, N. et al, 1999. La ordenación integrada de cuencas para el desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables. FAO. Estambul. 48 P.
- Trujillo, E., 1999. Estudio de hidrología y climatología en cuencas nevadas modelación hidrológica de la cuenca del Río Nevado en la Sierra Nevada del Cocuy. Trabajo de Grado. Programa de Magíster en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes. Bogotá. 240 P.
- Tucci, C., 2002. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. Brasília. Agencia Nacional de Agua. 150 P.