

Uso del método de gastos preventivos para valorar el beneficio del control de sedimentos en cuencas altas productoras de agua para abastecimiento humano

The preventive expenses method to assess benefit of sediments control in high watershed producers of drinking water

CARLOS ESPINOSA¹,
ANNA LA ROTTA²
y JOSÉ PÉREZ¹

¹ Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, correos electrónicos: caesji@ula.ve, prjose@ula.ve
² Estudiante graduada del Cidiat-ULA, correo electrónico: paolalarotta@gmail.com

Recibido: 18-09-12 / Aceptado: 20-11-12

Resumen

El suministro de agua potable a una población desde una fuente superficial, implica que la misma debe ser sometida a un proceso de clarificación. Ciertamente al producirse un incremento en la cantidad de sedimentos transportados por dicha fuente, se incrementarán los insumos necesarios para llevar a cabo la clarificación, originando un aumento en los costos de potabilización. Este trabajo aborda esta problemática en la cuenca del río Mucujepe, donde el principal uso que se da a los dos afluentes del mismo es el suministro de agua potable a la ciudad de El Vigía, en el estado Mérida, Venezuela. Para el desarrollo de esta investigación se plantearon diferentes escenarios favorables y desfavorables desde el punto de vista de producción de sedimentos en la cuenca, para los cuales se estimó la producción de sedimentos mediante el uso del modelo SWAT. Posteriormente se empleó el método de gastos preventivos para estimar los beneficios obtenidos por la empresa prestadora del servicio de agua potable al realizar prácticas de conservación sobre la cuenca. Finalmente se estableció una relación beneficio/costo para estimar la factibilidad financiera del desarrollo de tales prácticas; lográndose estimar que desde el punto de vista financiero la práctica de conservación más factible sería la de barreras vivas.

Palabras clave: agua potable, prácticas de conservación de suelos, control de sedimentos.

Abstract

In order to supply drinking water to a population from a superficial source, it must undergo a clarification process. Certainly an increase in the quantity of transported sediment is taking place it increases the need for supplies for clarification which causes an increase in the cost of producing drinking water. This work tackles this problem in Mucujepe's basin, where the principal water use for it's two biggest tributaries is to supply drinking water to El Vigía city. For developing this investigation different favourable and unfavourable scenarios from the point of view of sediment production were considered on basin where the production of sediments was estimated using the SWAT model. Subsequently the preventive expenses method was used to make an estimate about the benefits will be getting for drinking water company, if they develop different conservation practices on the basin. Finally a benefit/cost relation was used to estimate the feasible financier of developing these practices; to obtain that from financier point of view the conservation practice more feasible is hedgerows.

Key words: drinking water, soil conservation practices, sediment control.

1. Introducción

En la fecha actual la cuenca del río Mucujepe constituye la fuente principal de abastecimiento de agua para la población de El Vigía, segunda ciudad en población del estado Mérida. Diversas actividades antropogénicas desarrolladas en la parte media y alta de la misma durante los últimos años cons-

tituyen una amenaza a la calidad del agua proveniente de la misma, que podría limitar la operación adecuada de la planta potabilizadora Mucujepe. La turbidez está asociada a la presencia de materia orgánica e inorgánica en el agua. Es conocido el hecho de que microorganismos patógenos pueden enmascararse en las partículas de sedimentos, haciéndose de esta manera, no susceptibles a

los procesos de desinfección, lo cual constituye un riesgo sanitario importante (Schippers, 2009; Van Breemen, 2010). El uso del agua del río Mucujepe para consumo humano, implica que la misma debe cumplir ciertos parámetros de calidad preestablecidos en las leyes Venezolanas.

Para lograr el cumplimiento de estos parámetros el agua debe ser sometida a un proceso de tratamiento en el cual se lleven cada uno de estos parámetros a límites preestablecidos por normas. Uno de estos parámetros es la turbidez, la cual en caso de encontrarse por encima del límite, debe ser ajustada a través de procesos de clarificación (coagulación, sedimentación y filtración). El proceso de coagulación/floculación implica la adición de coagulantes al agua y por consiguiente un incremento en la turbidez implica un aumento en la cantidad de coagulantes necesarios para obtener un agua apta para el consumo humano. Los coagulantes adicionados representan un costo dentro del proceso de tratamiento, el cual debe ser asumido por el estado en caso de que existan subsidios o por el consumidor en caso contrario. El conocimiento de la producción de sedimentos asociados a determinadas prácticas de conservación de suelo y vegetación en una cuenca específica permite analizar en forma comparativa cuáles prácticas logran reducir la producción de sedimentos; una vez conocida la relación 'costo de tratamiento/ producción de sedimentos' se puede indagar la viabilidad económica de hacer trabajos de conservación y recuperación en la cuenca desde la perspectiva de la empresa que presta el servicio de potabilización del agua (La Rotta, 2005). Por tal motivo los objetivos de este trabajo se centran en la valoración a través del Método de Gastos Preventivos del beneficio del control de sedimentos en la cuenca del río Mucujepe, considerando solamente el beneficio obtenido por la empresa prestadora del servicio de agua potable al reducir los costos de potabilización.

2. Materiales y métodos

2.1 Sitio de implementación

La metodología empleada en este trabajo se implementó sobre la cuenca del río Mucujepe. La cuenca del río Mucujepe se encuentra ubicada geográficamente en las coordenadas UTM: 235.600 mE,

215.675mE, 945.425 mN, 963.525 mN (Zona 19), abarcando un área de 40.500 ha, de las cuales en este trabajo solo se estudiaron 15.965 ha, que corresponden a la parte media y alta de la cuenca. Desde el punto de vista político, esta cuenca pertenece a los municipios Alberto Adriani, Sucre y Andrés Bello del estado Mérida. La figura 1 muestra su ubicación relativa.

2.1.1 *Relieve*

La cuenca se extiende desde los 135 msnm en los límites con la carretera Panamericana hasta los 3.000 msnm en el Páramo el Tambor. En la zona se encuentran tres tipos de sistemas:

- Sistema valle-depresión. Caracterizado por un relieve plano con pendientes menores del 12 %.
- Sistema piedemonte de colinas. Se encuentran colinas altas y bajas y lomas alargadas, con pendientes comprendidas entre 12 y 30 %.
- Sistema de vertientes o de montaña. Son montañas altas con pendientes ≥ 30 %.

2.1.2 *Vegetación y uso actual de la tierra*

Según Linares (2002), existían once clases de vegetación y uso actual de la tierra en la cuenca media y alta del río Mucujepe: bosque bajo denso (BBd), bosque bajo ralo (BBr), bosque intervenido (BI), bosque medio denso (BMd), bosque medio ralo (BMr), cultivos anuales (CA), cultivos permanentes (CP), matorral (M), páramo (P), pastizal arbolado (PA) y pastizal puro (PP), cuyas características se presentan en el cuadro 1.

2.1.3 *Producción de Sedimentos*

Gottschalk citado por Chow (1964), presenta información de sedimentos depositados en 66 embalses en los Estados Unidos, destacándose en promedio que el rendimiento de sólidos anual oscilaba entre 153 a 5.311 t/milla², lo que corresponde entre 45 a 1.578 m³/km²/año. De León (1987) para la cuenca del río Aracay en el estado Mérida, Venezuela, una de las mayores productoras de sedimentos del país, obtuvo valores de 3.163 m³/km²/año. Gobierno del Ecuador (1988) reporta que para la cuenca del embalse Poza Honda en la Provincia de Manabí, se obtuvo una tasa de deposición de sedimentos para el período 1978-1981 de 1.750 m³/km²/año. MOP (1970) da un valor de 13,7 m³/km²/año como rendimiento anual de sedimentos en suspensión de la cuenca del río Mucujún en Valle Grande (128 km²),

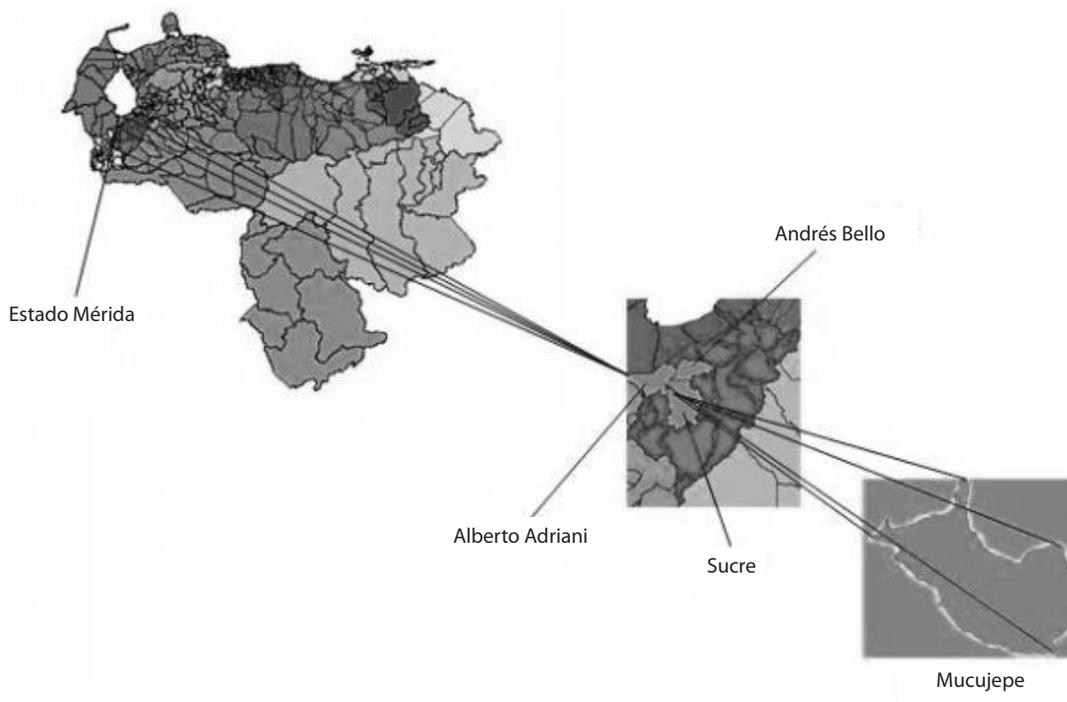


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

en el estado Mérida, Venezuela. Según el informe técnico “Actualización del estudio hidrológico de la zona sur del lago de Maracaibo” (Cidiat, 1987), la producción media anual de sedimentos esperada a la salida de la cuenca del río Mucujepe era de 2.175 Mg/km². En otros estudios, realizados por Solsona (1990), se determinó que la producción anual de sedimentos esperada en la parte baja de la cuenca (Estación Los Naranjos, coordenadas UTM 208.672,65 mE; 969.478,15 mN), era de 1.626 Mg/km². De igual forma Cidiat (2010), aplicando el modelo SWAT obtuvo para la cuenca alta conjunta de 20.000 km² de los ríos Piedra Azul-El Cacao una producción de sedimentos de 15.000 a 42.000 Mg/año, y para la cuenca alta del río Monaycito de 93,65 km² hasta el sitio de derivación de sus aguas al río Piedra Azul, una producción de 80.000 a 160.000 Mg/año.

2.1.4 Sistema de suministro de agua para la ciudad de El Vigía

La ciudad de El Vigía es el segundo centro de atracción poblacional del estado Mérida; contando con dos fuentes de suministro de agua superficial correspondientes a los ríos Cacique y Caña Brava. La captación del agua sobre el río Caña Brava se

realiza mediante un dique toma de rejilla lateral ubicado aproximadamente a 315 msnm, como se puede observar en la figura 2. Generalmente el río Caña Brava suministra el 65% del agua tratada en planta potabilizadora Mucujepe (400 l/seg). La captación sobre el río Cacique se realiza a unos 1.000 m aguas arriba de la confluencia con el río Caña Brava aproximadamente a 280 msnm. El río Cacique suministra aproximadamente el 35 % del agua tratada en la planta potabilizadora. La planta potabilizadora Mucujepe es abastecida por los ríos Cacique y Caña Brava; donde se lleva a cabo el proceso de clarificación, utilizándose como coagulante primario sulfato de aluminio sólido y poli cloruro de aluminio cuando la turbidez se encuentra por encima de 40 UNT.

2.1.5 Método del gasto preventivo

El método del gasto preventivo consiste en estimar el costo mínimo de un problema ambiental, a través de los gastos que se realizan para corregir, mitigar o prevenir el daño ambiental. En otras palabras asume que el costo del daño es al menos igual al gasto para corregirlo, mitigarlo ó prevenirlo (Pérez, 2002).

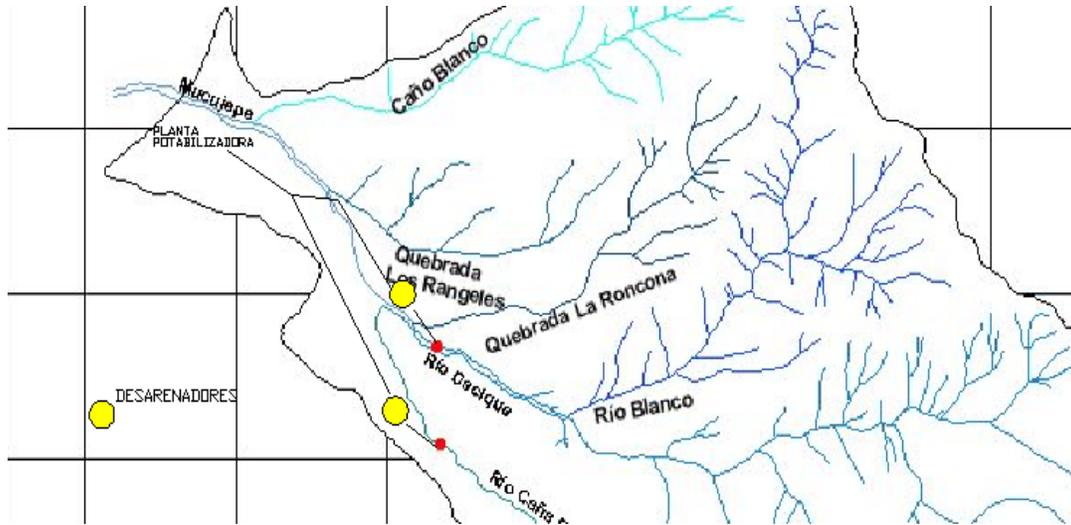


Figura 2. Ubicación obras de captación de sedimentos (desarenadores) sobre los ríos Cacaico y Caña Brava, cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

2.2 Metodología

Con la finalidad de estimar la reducción en los costos de potabilización sobre el agua proveniente de la cuenca del río Mucujepe al realizar prácticas de conservación en la misma y la factibilidad financiera de realizar dichas prácticas, se estableció la metodología ilustrada en la figura 3. La primera etapa del trabajo realizado consistió en determinar la producción de sedimentos planteándose diferentes escenarios favorables y desfavorables desde el punto de vista de producción de sedimentos sobre la cuenca del río Mucujepe. Es importante destacar que la información disponible en la cuenca de precipitación (1967-1983), sedimentos (1987, 1990), vegetación y uso de la tierra (2002) y turbidez (1998-2002) no corresponde a un período de tiempo común para todas estas variables. Sin embargo, conscientes de que el aporte principal de esta investigación es metodológico, se procedió a ajustar el modelo SWAT con dicha información, obteniendo resultados que fueron considerados como satisfactorios para el nivel de planificación en que se desarrolla este trabajo.

Para el caso de los escenarios desfavorables, se consideraron cambios de cobertura en los suelos existentes en el área, los cambios fueron los siguientes:

Cambio negativo 1: Se sustituyó el bosque medio y bosque intervenido por cultivos anuales.

Cambio negativo 2: Reemplazo de bosques medio, bosque intervenido, bosque bajo y cultivos permanentes por cultivos anuales.

Igualmente se plantearon los siguientes escenarios favorables:

Práctica 1: Reemplazó de cultivos anuales por la práctica cultivos de cobertura, en este caso por un pasto cultivable (Bermudagrass).

Práctica 2: Realización de la práctica de barreras vivas con un espaciamiento de 15 a 30 m en todos los sitios cubiertos por cultivos permanentes y cultivos anuales, a objeto de modificar favorablemente el factor P en la ecuación de la MUSLE.

Práctica 3: Modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro y pastizal arbolado a bosque siempre verde.

Práctica 4: Modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro, pastizal arbolado, cultivos permanentes y cultivos anuales a bosque siempre verde.

Planteados los diferentes escenarios, se implementaron los mismos mediante el uso del modelo SWAT "Soil and Water Assessment Tool" (Arnold *et al.*, 1999), estimando la producción de sedimentos a nivel mensual para los registros de precipitación existentes en la cuenca durante el período 1967-1983. Previa demostración que los valores

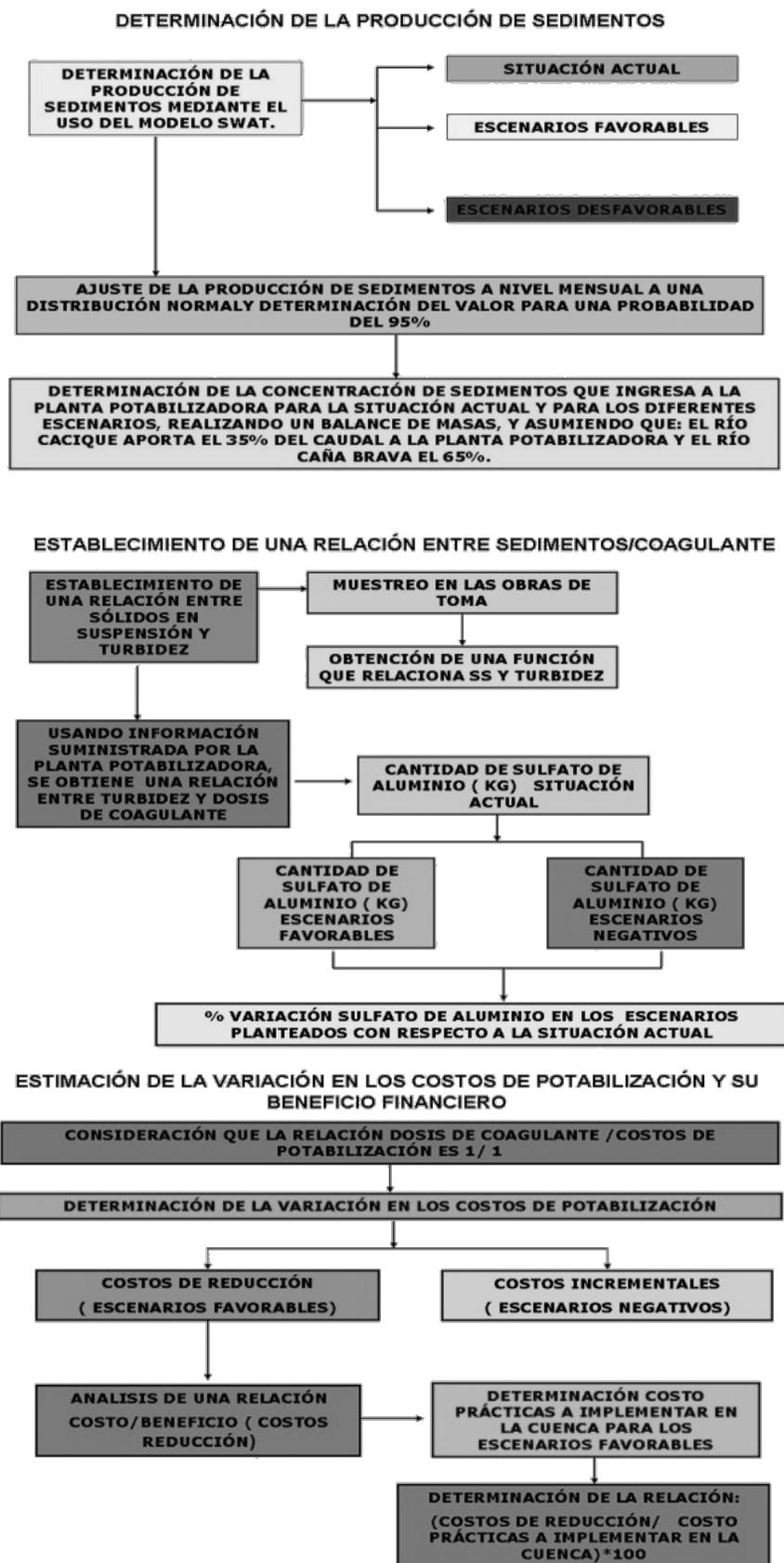


Figura 3. Metodología empleada para el desarrollo de la investigación.

anteriores se ajustaban a una distribución normal, se estimó el valor esperado a nivel mensual para una probabilidad del 95 % y considerando que el río Caña Brava aporta el 65 % del caudal tratado en la planta potabilizadora y el río Cacique el 35 %, se realizó un balance de masas para obtener la concentración de sedimentos que estaría ingresando a la planta potabilizadora Mucujepe.

La segunda parte del trabajo consistió en establecer una relación entre sedimentos en suspensión y dosis de coagulante; inicialmente se determinó una función que relacionará transporte de sedimentos en suspensión con turbidez mediante el muestreo de agua en las bocatomas y determinación de los dos parámetros anteriores durante la época de lluvia. Posteriormente con uso de la información suministrada por la empresa prestadora del servicio de agua potable a nivel diario del consumo de las sustancias químicas involucradas en el proceso de clarificación y la correspondiente turbidez del agua cruda asociada a estos consumos; se estableció una función que relacionara turbidez con dosis de coagulante. Empleando la concentración de sólidos en suspensión esperada en la planta potabilizadora para los diferentes escenarios planteados y las dos funciones anteriormente mencionadas, se estimaron los consumos de coagulante (sulfato de aluminio) requeridos para llevar a cabo el proceso de clarificación. Finalmente se estableció el porcentaje de variación de los consumos en los diferentes escenarios planteados con respecto a la situación actual. La tercera parte del trabajo involucraba el establecimiento de una función que relacionara dosis de coagulante y costos de potabilización; desafortunadamente la empresa prestadora del servicio de agua potable no contaba con una estructura de costos que permitiera establecer tal relación, razón por la cual se supuso que la relación dosis de coagulante/costos de potabilización es de 1/1. De esta forma y mediante el uso de los porcentajes de variación obtenidos anteriormente, se estimaron los porcentajes de variación sobre los costos de potabilización a nivel mensual; los cuales fueron multiplicados por el costo promedio de potabilización para obtener finalmente costos mensuales de reducción en el caso de los escenarios favorables e incrementales en el caso de los escenarios negativos.

Finalmente con el objetivo de evaluar la factibilidad financiera de la implementación y mante-

nimiento de las prácticas de conservación consideradas en los escenarios favorables, se estableció una relación beneficio/costo entre los costos de reducción a nivel anual obtenidos para los escenarios favorables y los costos anuales necesarios para llevar a cabo la implementación y mantenimiento de las prácticas de conservación durante diferentes horizontes de planificación considerados; para la determinación de los últimos se hizo uso de los costos anuales estimados por la Fundación Prisma de El Salvador (La Rotta, 2005) por no contar en el medio con los mismos.

3. Resultados y discusión

3.1 Producción de sedimentos

Una vez ajustados los valores obtenidos mediante el uso del modelo SWAT a una probabilidad del 95% y determinado el valor esperado en la planta potabilizadora, se obtuvieron los valores presentados en la figura 4. En tal figura se observa que los mayores valores en las concentraciones de sólidos en suspensión se obtuvieron para el escenario cambio negativo 2 y los menores valores para el escenario práctica 4.

3.2 Relación entre sólidos en suspensión y turbidez

En la figura 5 se presenta la función doblemente logarítmica obtenida con los datos del muestreo realizado en las obras de toma, entre los meses de octubre y diciembre de 1999). La ecuación 1 obtenida mediante regresión con un coeficiente de determinación de 0,72 y un error típico de 0,66 es:

$$\ln(\text{Turbidez (UNT)}) = 0,293 + 0,8725 \times \ln(\text{SS (mg/l)}) \quad (\text{Ec. 1})$$

3.3 Relación entre turbidez y dosis de coagulante

Con uso de la información suministrada por la planta potabilizadora durante el período 1998-2003, se obtuvo mediante regresión la función presentada en la figura 6. La ecuación 2 correspondiente a esta regresión, para la cual se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,67 es:

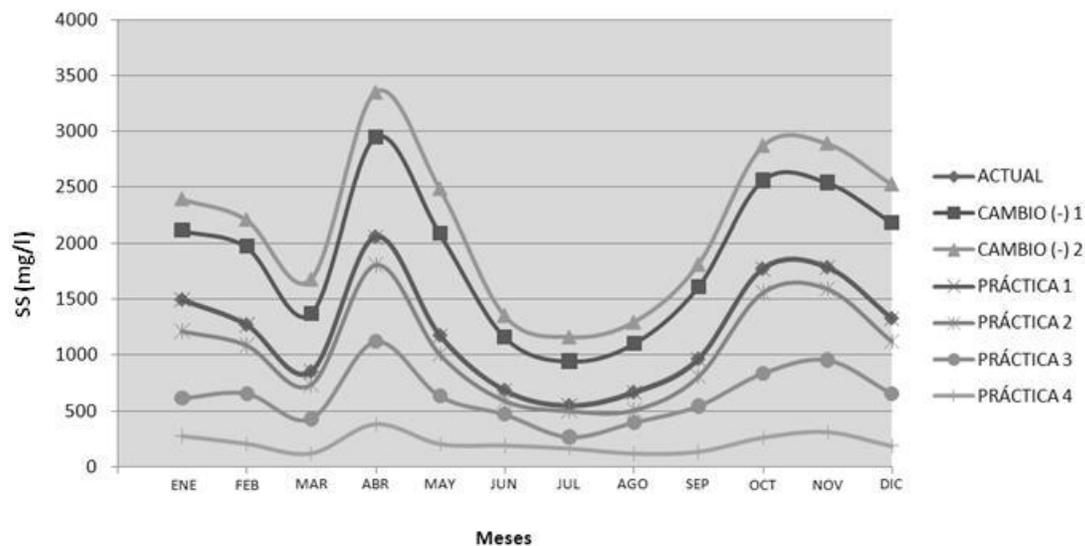


Figura 4. Concentraciones medias mensuales de sólidos en suspensión (SS, mg/l), cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

Cuadro 1. Clases de vegetación y uso actual de la tierra en la parte media y alta de la cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

Vegetación y uso actual de la tierra	Descripción
Bosques Naturales	Bosque medio denso (BMD), bosque medio ralo (BMr), bosque bajo denso (BBd), y bosque bajo ralo (BBr), representando respectivamente el 78,4 %, 0,20%, 19,5 % y 0,49 % de la totalidad del área de la cuenca que se encontraba cubierta por bosque (Linares, 2002)
Bosque Intervenido	Bosque intervenido aquel donde se evidencia la intervención antrópica (Linares, 2002).
Vegetación Paramera	Formación natural clímax, predominantemente herbácea, donde el suelo estaba tapizado por formas de vida en rosetas y de cojín, musgos y líquenes; además de presentar frailejones y árboles pequeños de la familia Rosácea (MARNR, 1982).
Pastizales arbolados	Combinaciones dispersas y/o concentradas de individuos arbóreos de múltiples usos con algunos pastos (Linares, 2002).
Pastizales puros	Vegetación monoestratificada donde predominaban gramíneas perennes (Linares, 2002).
Matorral	Formación vegetal arbustiva de origen natural o antrópico con una dinámica ecológica propia, de menos de 5 m de altura (MARNR, 1982).
Cultivos anuales	Parcelas no muy extensas ubicadas cerca de casas o poblados, presentando en la parte alta cultivos de papa, zanahoria, remolacha, cebollina, repollo y apio y en la parte media de la cuenca yuca, auyama y ñame (Linares, 2002).
Cultivos permanentes	Cultivos de más de un año de duración; encontrando en la parte media frutales como níspero del Japón, tamarindo y cítricos; y en la parte alta manzana y durazno. También se encuentran especies no arbóreas como el café, caña de azúcar, y algunas leguminosas en la parte media; y en la parte alta maíz y cambur (Linares, 2002).

$$\ln (\text{Sulfato de aluminio (kg)}) = 0,23 \times \ln (\text{Turbidez (UNT)}) + 6,51 \quad (\text{Ec. 2})$$

3.4 Variación en los costos de potabilización

Mediante el uso de las ecuaciones 1 y 2 y el procedimiento metodológico considerado anteriormente, se obtuvieron las variaciones anuales en los costos de potabilización (Cuadro 2). Se observa que los

mayores costos de reducción por hectárea se presentan mediante la implementación de prácticas de reforestación (modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro y pastizal arbolado a bosque siempre verde y la modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro, pastizal arbolado, cultivos permanentes y cultivos anuales a bosque siempre verde).

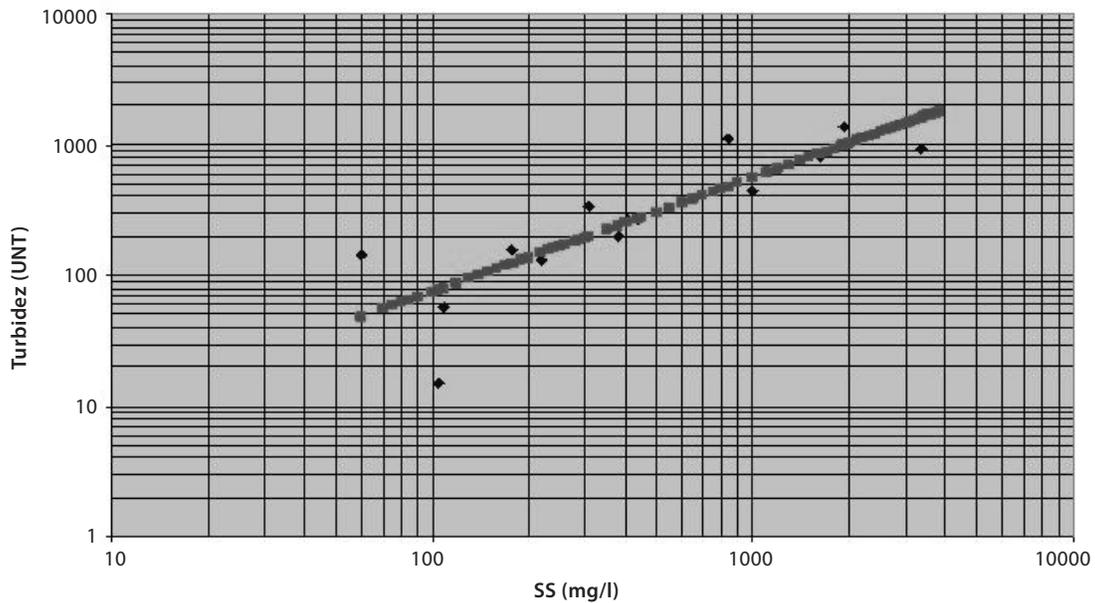


Figura 5. Relación sólidos en suspensión con turbidez en la cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

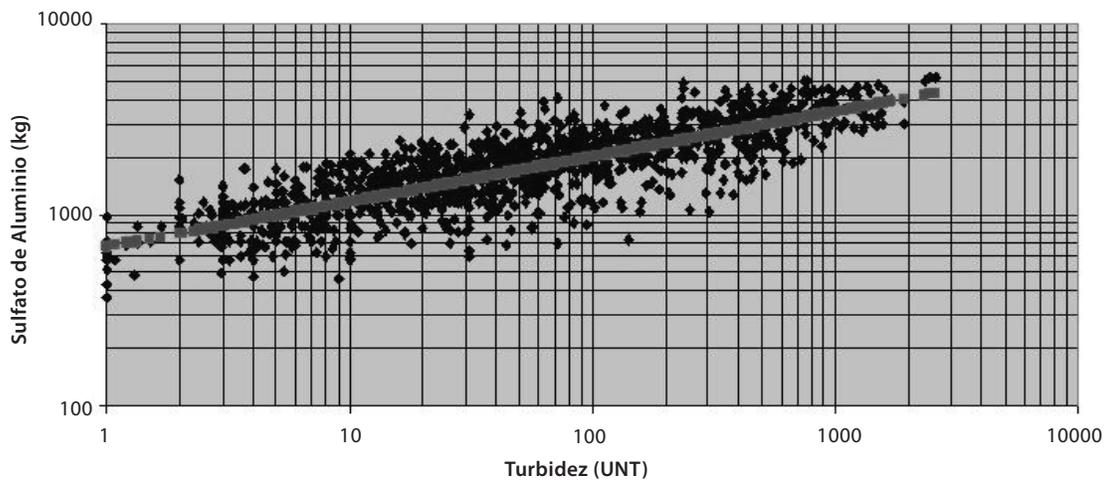


Figura 6. Relación turbidez con sulfato de aluminio en la cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

3.5 Costo de las prácticas a implementar y estimación de una relación beneficio/costo

Considerando diferentes horizontes de planificación (5, 10, 20 y 25 años), y una tasa de interés del 12 %, se calculó el costo anual equivalente (CAE) necesario para implementar y mantener las prácticas de conservación en los horizontes considerados. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 3. Con los resultados obtenidos se puede deducir que el costo de las prácticas de conservación, nunca va a igualar a los costos de reducción

en el proceso de potabilización, debido a que no se están considerando otros beneficios adicionales que se obtendrían al realizar prácticas de conservación en la cuenca. Sin embargo, en el cuadro 4 también se presenta el resultado de un análisis de los porcentajes del costo total de las prácticas de conservación que podría asumir la empresa prestadora del servicio de agua potable, considerando que el máximo porcentaje que ella podría pagar sería aquel porcentaje del costo total de la práctica representado por los beneficios obtenidos (costos de reducción). Se observa que los porcentajes que

Cuadro 2. Variación promedio anual en los costos de potabilización del agua para la cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

Escenario	Área (ha)	Costo promedio Reducción (\$)	Costo promedio Incremental (\$)	Costo Promedio (\$/ha)
Cambio negativo 1	4446,75		30287,69	6,81
Cambio negativo 2	7598,13		38619,13	5,08
Practica 1 (Cultivos de cobertura)	362,75	167,41		0,46
Practica 2 (Barreras vivas)	2291,12	9329,75		4,07
Practica 3 (Reforestación)	5079,90	37239,05		7,33
Practica 4 (Reforestación)	7371,02	86924,30		11,79

Cuadro 3. Costo anual de implementación y mantenimiento de las prácticas consideradas y estimación de una relación beneficio/costo, para la potabilización del agua en la cuenca del Mucujepe, Mérida, Venezuela.

Escenario	Área (ha)	Costo promedio reducción (\$)	Costo promedio incremental (\$)	Costo promedio (\$/ha)	CAE* (\$)				% asumido por la empresa				
					5	10	20	25	5	10	20	25	
Cambio (-)1	4446,75			6,81									
Cambio (-)2	7598,13			5,08									
Práctica 1 (Cambio de cobertura)	362,75	167,41		0,46	26324,5	26324,5	26324,5	26324,5	0,6	0,6	0,6	0,6	
Práctica 2 (Barreras vivas)	2291,12	9329,75		4,07	40167,5	36997,6	35637,1	35435,7	23,2	25,2	26,2	26,3	
Práctica 3 (Reforestación)	5079,90	37239,05		7,33	394236,7	321928,6	290892,1	286299,2	9,4	11,6	12,8	13,0	
Práctica 4 (Reforestación)	7371,02	86924,30		11,79	572044,0	467123,9	422089,3	415425,0	15,2	18,6	20,6	20,9	

(*) costo anual equivalente

podría asumir la empresa se incrementan al considerar horizontes de planificación mayores. Igualmente se observa que los mayores porcentajes se obtienen para el escenario de barreras vivas (práctica 2), seguidos por el escenario de reforestación (práctica 4).

4. Conclusiones y recomendaciones

Considerando sólo los beneficios obtenidos (reducción en los costos de potabilización) mediante la

implementación de la metodología considerada en este trabajo, se puede calcular una aproximación de los máximos costos que podría asumir la empresa prestadora del servicio de agua potable, ante la implementación de políticas orientadas al desarrollo de prácticas de conservación en la cuenca del río Mucujepe. Si la política de la empresa está orientada a reducir la producción de sedimentos, dando conservación, la decisión más adecuada sería implementar cualquiera de las prácticas de reforestación planteadas (prácticas 3 y 4). En caso contrario que lo que se busque sea un equilibrio entre reduc-

ción en los costos de potabilización (beneficio) y el costo de las prácticas, el escenario más adecuado sería el planteado en la práctica 2 (práctica de barreras vivas). De ocurrir los cambios negativos planteados en este trabajo, se produciría un incremento en los costos de potabilización por hectárea afectada, superiores a cualquier costo de reducción por hectárea que se pudiese producir al implementar el desarrollo de las prácticas de conservación de barreras vivas. La afectación del bosque medio contribuiría enormemente sobre el incremento en los costos de potabilización; por tal razón es importante garantizar la protección del mismo.

El desarrollo de prácticas sobre el área cubierta por cultivos permanentes afecta en gran medida los costos de reducción en el proceso de potabilización; por tal razón el desarrollo de cualquier práctica orientada a mejorar las condiciones actuales produciría cambios favorables sobre la producción de sedimentos. El establecimiento de cualquier práctica de conservación, orientada a mejorar la protección del suelo en áreas cubiertas por pastizales, llevaría a una menor producción de sedimentos sobre la cuenca del río Caña Brava. El caso de la práctica de barreras vivas (práctica 2), representa los mayores porcentajes del costo de la práctica que pueden ser asumidos por la empresa, mientras que en el caso de la práctica de reforestación se producen en la práctica 4 (modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro, pastizal arbolado, cultivos permanentes y cultivos anuales a bosque siempre verde).

Con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos en este trabajo se recomienda:

- Determinar cuáles serían los costos de implementación y mantenimiento, necesarios para el desarrollo de diferentes prácticas de conservación en la cuenca del río Mucujepe.
- Instrumentar la cuenca del río Mucujepe e implementar un programa de medición de datos climáticos, caudales y transporte de sedimentos que permitan un mejor ajuste y calibración de los modelos de simulación precipitación-escorrentía-transporte.
- Determinar el factor C de cobertura usado en la ecuación de la MUSLE para cada uno de los usos actuales en la cuenca del río Mucujepe, con el objetivo de mejorar la estimación de sedimentos mediante modelos de simulación.

5. Referencias bibliográficas

- ARNOLD, J. G., J. R. WILLIAMS, R. SRINIVASAN y K. KING. 1999. *Soil and Water Assessment Tool, (SWAT)*. USDA-ARS and the Texas A&M University Agricultural Experimental Station, Temple, Texas, United States. 80 p.
- CHOW, V. T. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Editions. United States. 250 p.
- CIDIAT. 1987. *Actualización del estudio hidrológico de la zona sur del lago*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Infraestructura. Caracas, Venezuela. 90 p.
- CIDIAT. 2010. *Estudios de prefactibilidad, factibilidad e ingeniería del proyecto de construcción del embalse Monaquito - Piedra Azul, estado Trujillo*. Informe final N° 3, estudio hidrológico. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 210 p.
- DE LEÓN, A. 1987. Evaluación de las posibles causas y consecuencias del colapso del dique Aracay y de su comportamiento como estructura de retención de sedimentos. Trabajo de Ascenso a Profesor Titular. Cidiat. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 97 p.
- GOBIERNO DEL ECUADOR. 1988. *Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la Provincia de Manabí*. Quito, Ecuador. 310 p.
- LA ROTTA, P. 2005. Uso del método de gastos preventivos para valorar el beneficio del control de sedimentos en cuencas altas productoras de agua para abastecimiento humano (Caso: Cuenca río Mucujepe). Trabajo de grado. Especialización en Gestión de Sistemas de Abastecimiento, Recolección y Tratamiento de Aguas. Cidiat, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 110 p.
- LINARES, Y. 2002. Determinación de las fuentes actuales y potenciales de erosión de la cuenca media y alta del río Mucujepe. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Cuencas. Cefap, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 150 p.
- MOP. 1970. Transporte de Sedimentos en Venezuela. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 80 p.
- PÉREZ, J. 2001. Notas de clase del I Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos. Cidiat-Faces-Sepec. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 35 p.
- SCHIPPERS, J. C. 2009. *Water Treatment. Lecture Notes*. EE029/09/1.IHE-UNESCO. Delft, The Netherlands. 150 p.

- SOLSONA, J. 1990. Trabajo de investigación Cuenca del río Mucujepe. Núcleo Universitario Rafael Rangel. Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela. 130 p.
- VAN BREEMEN, A. N. 2010. *Water Treatment.Lecture Notes*. EE022/10/1. IHE-UNESCO. Delft, The Netherlands. 155 p.