

CAPITULO 4

METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se desarrolló e implementó la metodología mostrada en la Figura 4.1.

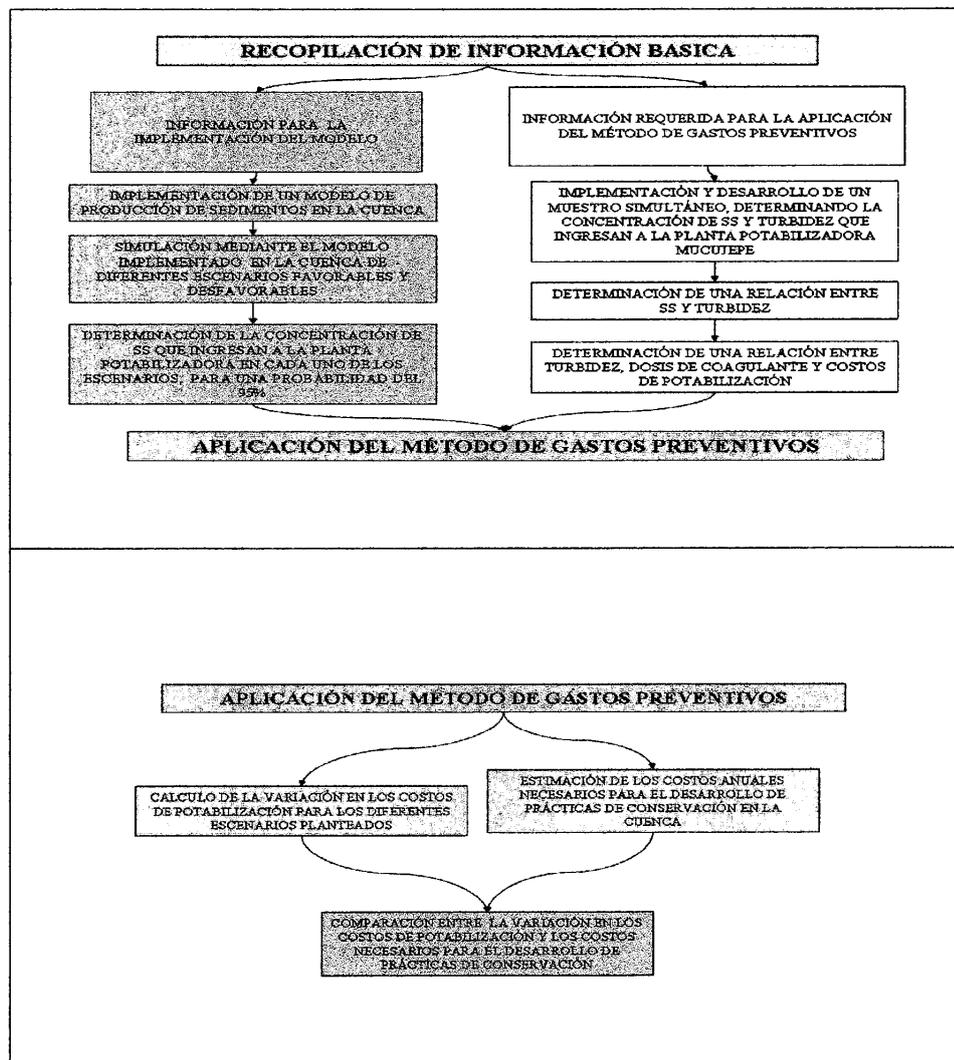


Figura 4.1 Metodología empleada en el desarrollo del trabajo.

4.1 RECOPIACIÓN Y PRODUCCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

4.1.1 Información requerida para la implementación de un modelo de producción de sedimentos acoplado a un modelo hidrológico. Modelo SWAT(Soil and Water Assessment Tool) desarrollado por el Dr. Jeff Arnold para Agricultural Research Service (ARS)

- *Mapas*

Con base en la información cartográfica suministrada por la empresa Aguas de Mérida y mediante el uso del software ArcInfo se digitalizó la información de la cuenca (mapa base, subcuencas existentes en el área de estudio, geología, subunidades taxonómicas de suelos y vegetación y uso actual de la tierra.).

- *Información climatológica*

Se recopiló información de las estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca (San Pedro-Chiguara, La Palmita, El Vigía y El Vigía –Aeropuerto)

4.1.2 Información requerida para la implementación del Método de Gastos preventivos

La Gerencia de El Vigía de la empresa Aguas de Mérida suministró datos de la calidad del agua cruda, consumos diarios de productos químicos en la planta potabilizadora Mucujepe, costos de estas sustancias, así como los costos de operación y mantenimiento.

4.2 IMPLEMENTACIÓN, EN LA CUENCA A ESTUDIAR, DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS ACOPLADO A UN MODELO HIDROLÓGICO

Para el desarrollo de este trabajo, se implemento en la cuenca el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Una breve descripción de su fundamento teórico se presenta en el Apéndice A.

4.2.1 Delineación de la cuenca

Los primeros insumos requeridos por el Modelo SWAT son un modelo de elevación digital del área a estudiar (MED), una máscara digital con la delimitación de la cuenca (solo es necesaria para disminuir el tiempo de procesamiento) y la red hídrica digital (necesaria cuando no se cuenta con un DEM preciso que permita al modelo generarla por sí mismo):

toda esta información es introducida en la primera parte de la ventana ilustrada en la Figura 4.2

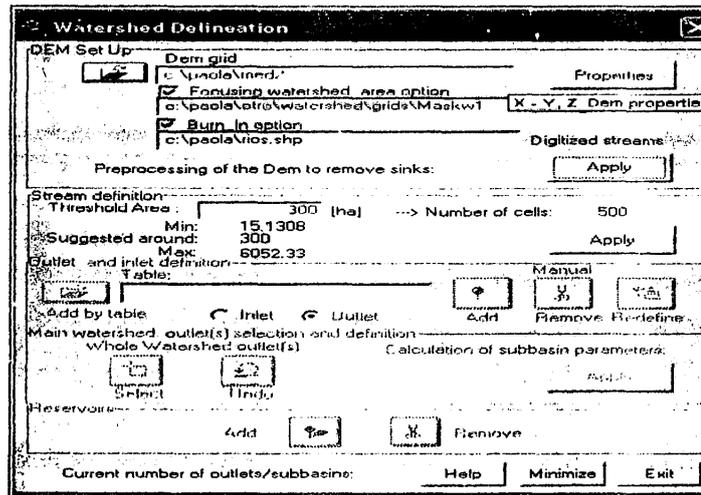


Figura 4.2 Imagen ventana delineación de la cuenca

Una vez introducida la información anterior se activa la segunda parte de la ventana (Figura 4.2) donde se suministra el área de drenaje mínima (ha) requerida para formar el origen de un drenaje; a mayor valor del área el grado de detalle de la red hidrográfica será menor y viceversa. Para nuestro caso se empleó un valor de 80 ha ya que es una cuenca pequeña que permite trabajar con este grado de detalle. Posteriormente se activó la casilla donde se introducen los puntos sobre la corriente donde se cuenta con registros (caudal, concentración de sedimentos o nutrientes, etc.) o puntos específicos donde se desea obtener registros.

Una vez procesado el DEM se introdujo el punto de salida de la cuenca y se procesó la información correspondiente a la delineación de la cuenca.

4.2.2 Módulo uso de la tierra y tipo de suelo

Para este módulo se empleó el mapa de uso de la tierra. El modelo permite que el usuario cree una base de datos de cada uno de los tipos de uso donde se almacenan diversas características de los mismos necesarias para el procesamiento del modelo; por contarse con muy poca información de las mismas en el área de estudio, se hizo una aproximación a los tipos de uso con que cuenta la base de datos de SWAT. En la Tabla 4.1 se muestran los valores de $C_{mín}$ y Número de Curva correspondientes a las aproximaciones tomadas para los diferentes tipos de uso existentes en la cuenca.

Tabla 4.1 Aproximación a los tipos de uso en la cuenca

TIPO DE USO EN LA CUENCA	TIPO DE USO SWAT	CRITERIO USADO	CMÍN	Número de Curva			
				Grupo Hidrológico			
				A	B	C	D
Bosque Medio Denso	Forest evergreen (FRSE)	Altura de Dosel y C _{mín}	0.001	25	55	70	77
Bosque Medio Ralo	Forest evergreen (FRSE)	Altura de Dosel y C _{mín}	0.001	25	55	70	77
Bosque Bajo Denso	Forest deciduous (FRSD)	Altura de Dosel y C _{mín}	0.001	45	66	77	83
Bosque Bajo Ralo	Poplar (POPL)	Altura de Dosel y C _{mín}	0.001	45	66	77	83
Bosque Intervenido	Forest deciduous (FRSD)	Altura de Dosel y C _{mín}	0.001	45	66	77	83
Pastizal Puro	Italian ryegrass (RYEG)	C _{mín}	0.03	31	59	72	79
Pastizal Arbolado	Italian ryegrass (RYEG)	C _{mín}	0.03	31	59	72	79
Matorral	Sesbania (SESB)	C _{mín}	0.20	67	77	83	87
Cultivos Anuales	Agricultural Land- Generic (AGRL)	C _{mín}	0.20	67	77	83	87
Cultivos Permanentes	Agricultural land- Row crops (AGRR)	C _{mín}	0.03	62	73	81	84
Páramo	Altav Wildrye (RYEA)	C _{mín}	0.03	31	59	72	79

En la parte izquierda de la ventana mostrada en la Figura 4.3 se introdujo la dirección correspondiente al mapa de uso de la tierra. Posteriormente se usó una tabla en formato DBF para relacionar los diferentes tipos de uso con las bases de datos ya existentes o creadas en SWAT y finalmente se reclasifica el mapa de uso de la tierra.

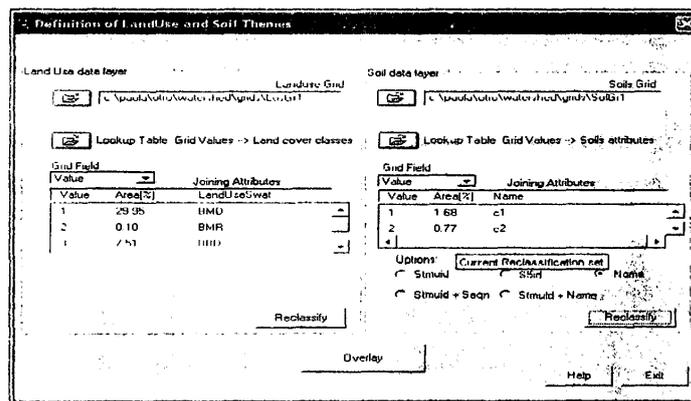


Figura 4.3 Ventana uso de la tierra y suelo

La superposición de estos dos mapas crea las diferentes Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU); el paso siguiente fue definir los criterios para crear las HRU, el modelo puede crear tantas HRU como cruces únicos de suelo y uso de la tierra existan en la cuenca, sin embargo esto crea áreas demasiado pequeñas que no son del interés de este trabajo. El modelo permite fijar los porcentajes de área mínimos a tener en cuenta para uso de la tierra y suelo, según la bibliografía revisada, se recomienda que estos valores se fijen en 20% y 10 % respectivamente, razón por la cual se tomaron estos valores.

4.2.3 Definición de los parámetros climáticos

En la ventana ilustrada en la Figura 4.4, el modelo permite que el usuario establezca si desea simular o introducir información climática diaria (precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa) para un período de registros mínimo de 10 años. Para el caso de estudio sólo se contaba con datos diarios de precipitación, razón por la cual se tuvieron que simular los otros parámetros; para que el modelo realice la simulación se debe crear una base de datos con diferentes parámetros estadísticos a nivel mensual.

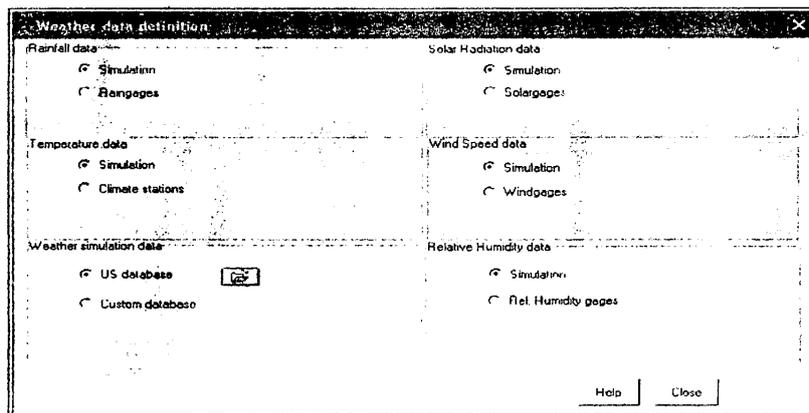


Figura 4.4 Definición de Parámetros Climáticos

Por medio de la ventana mostrada en la Figura 4.5, se introducen todos los parámetros estadísticos necesarios para que SWAT realice la simulación; la información solicitada por SWAT es la siguiente:

- Temperatura máxima promedio para el mes (TMPMX)
- Temperatura mínima promedio para el mes (TMPMN)
- Desviación Standard para la temperatura máxima del mes
- Desviación Standard para la temperatura mínima del mes
- Precipitación promedio en el mes (PCPMM)
- Desviación Standard para la precipitación diaria en el mes (PCPSTD)

- Coeficiente de Skew para la precipitación diaria en el mes (PCPSKW).
- Probabilidad de un día húmedo precedido por un día húmedo (PR_W1)
- Probabilidad de un día húmedo precedido por un día seco (PR_W2)
- Número promedio de día de precipitación en el mes (PCPD)
- Máxima precipitación de 0.5 horas en el mes para el periodo de registro (RAINHHMX).
- Promedio de la radiación solar diaria en el mes (SOLARAV)
- Promedio de la temperatura en punto de rocío para el mes (DEWPT)
- Promedio de la velocidad del viento para el mes (WINDAV)

Figura 4.5 Parámetros estadísticos para el generador climático

Todos los parámetros anteriores se obtuvieron con la información de las estaciones anteriormente mencionadas.

Con previa realización de esta base de datos se establecieron los parámetros a simular y la ubicación de las estaciones de generación climática.

4.2.4 Corrida de SWAT

Por medio de la ventana mostrada en la Figura 4.6 se establece:

- Periodo a simular: Para nuestro caso de estudio se simuló el periodo para el cual se tenía información de precipitación diaria (1967-1983).
- Distribución usada para simular la precipitación: Se estableció una distribución Normal.

- Método usado para determinar la Evapotranspiración potencial: Se usó el método de Priestley-Taylor, ya que este método era el más recomendado en la bibliografía revisada.
- Frecuencia de las salidas del modelo: Se trabajó a nivel mensual.

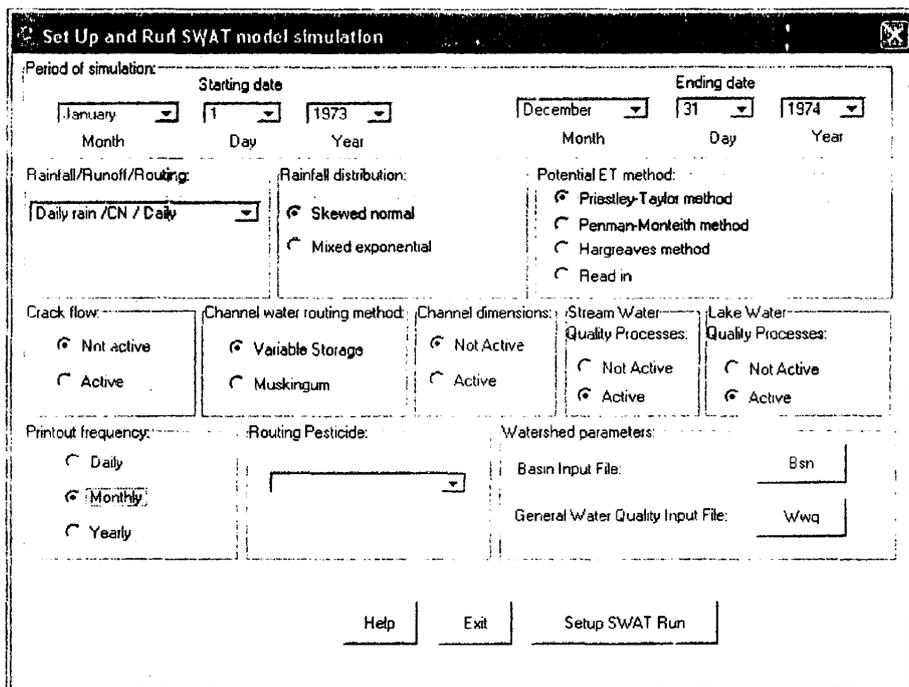


Figura 4.6 Ventana para la corrida del modelo SWAT

4.2.5 Ajuste y modificación de los parámetros de entrada

El modelo cuenta con un menú de calibración donde se pueden modificar 27 parámetros de entrada. Por sugerencia de Barrios (2004) sólo se modificó la variable SLSUBBSN, la cual representa la longitud promedio de la pendiente en metros para cada una de las HRU ubicadas dentro de una subcuenca; se realizó un análisis de sensibilidad de la variable y finalmente se fijó su valor en 50 m para todas las HRU (Unidades de Respuesta Hidrológica) constituidas dentro de la cuenca del río Mucujepe; considerando que este es un valor apropiado para las características de la zona.

Para la verificación de los caudales simulados por el modelo, sólo se contaba con registros completos a nivel mensual para el año de 1973 en la estación Los Naranjos, la cual se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca del río Mucujepe con coordenadas Norte 969478.15m, Este: 208672.65m.

En la Figura 4.7 se muestran las curvas que representan los caudales a nivel mensual observados en la estación Los Naranjos y los simulados por SWAT.

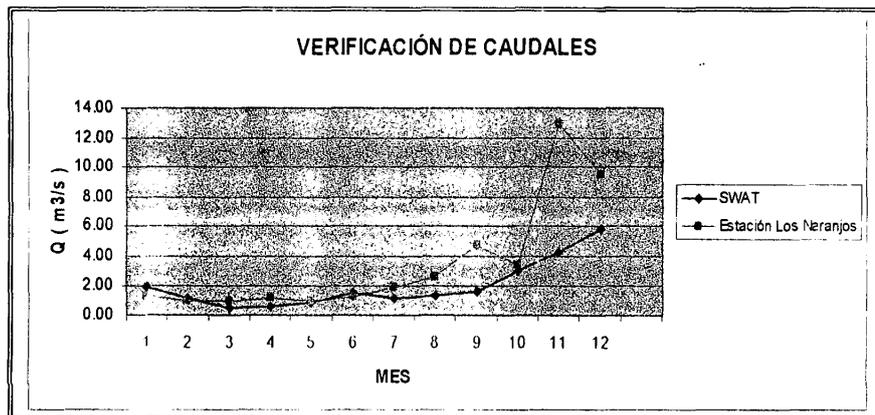


Figura 4.7 Valores de caudales observados y simulados en la estación Los Naranjos para el año de 1973.

En la cuenca del Río Mucujepe no se cuenta con un registro continuo de la producción de sedimentos existente en la misma, por tal razón sólo se comparo la producción promedio obtenida para los 17 años de registro en la parte baja de la cuenca con valores promedio calculados en estudios previos.

Según CIDIAT (1987), la producción media anual de sedimentos esperada a la salida de la cuenca del río Mucujepe es de 2175 Ton / Km² y con el modelo se obtuvo un valor de 2805 Ton / Km² unos kilómetros arriba de la salida de la cuenca por lo tanto se consideró esta como una adecuada aproximación. Igualmente se verificó que las concentraciones de sedimentos en las cuencas de los ríos Caña Brava y Cacique se encontrarán dentro del rango de las concentraciones medidas por la tesista durante los periodos de lluvia.

4.3 SIMULACIÓN MEDIANTE EL MODELO IMPLEMENTADO, DE DIFERENTES ESCENARIOS DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y VEGETACIÓN

Mediante el uso del modelo SWAT y con los eventos de precipitación registrados en las estaciones de precipitación durante el periodo 1967-1983, se obtuvo la concentración de sedimentos en suspensión a nivel mensual (mg/ l) en los dos sitios de toma que abastecen la planta potabilizadora Mucujepe para diferentes escenarios propuestos.

En la cuenca en estudio se simuló inicialmente el estado actual de la cuenca, lo cual corresponde al mapa de uso actual realizado por Linares (2002). Posteriormente se realizaron

modificaciones planteando diferentes escenarios favorables y desfavorables desde el punto de vista de producción de sedimentos.

4.4 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS QUE INGRESAN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Con los resultados obtenidos de sedimentos en suspensión a nivel mensual para los dos sitios de toma en los diferentes escenarios propuestos, se buscó la concentración de sólido en suspensión esperada que ingresaría a la planta potabilizadora para una probabilidad del 95% según la función probabilística de mejor ajuste.

4.5 IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UN MUESTREO SIMULTÁNEO A FIN DE DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CAPTACIÓN Y TURBIDEZ DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Definida la época de lluvia en la cuenca estudiada, se tomaron muestras de agua en la bocatoma del acueducto. Estas muestras fueron sometidas a análisis de laboratorio para determinar el transporte de sedimentos en suspensión que llegan a la captación.

4.6 DETERMINACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ

Con los resultados obtenidos de sólidos en suspensión contenidos en las muestras de agua y su correspondiente turbidez se realizó una regresión entre estos dos parámetros con el fin de obtener una función que los relacionara. Para el propósito de trabajar con una relación más lineal se ajustó a una función doblemente logarítmica.

4.7 DETERMINACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE TURBIDEZ - DOSIS DE COAGULANTE - COSTOS DE POTABILIZACIÓN

Con uso de la información suministrada por la Gerencia de El Vigía de la Empresa Aguas de Mérida de dosis de coagulante y turbidez a nivel diario y costos de operación y mantenimiento de la planta potabilizadora Mucujepe a nivel mensual, se estimó una función doblemente logarítmica, que permitiera relacionar turbidez con dosis de coagulante; para lograr establecer una relación entre dosis de coagulante y costos de potabilización, se asumió que una variación en la dosis de coagulante representaba una variación de igual magnitud en los costos de potabilización; se realizó esta suposición por no contar con una estructura de costos de potabilización donde se pudiese estimar tal relación.

4.8 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE GASTOS PREVENTIVOS PARA VALORAR EL EFECTO DEL CONTROL DE LOS SEDIMENTOS EN LA CUENCA SOBRE LOS COSTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.

4.8.1 Determinación de la variación en los costos de potabilización para los diferentes escenarios planteados.

Mediante las funciones previamente determinadas que nos permiten relacionar: producción de sedimentos con turbidez, turbidez con dosis de coagulante y dosis de coagulante con costos de potabilización, se determinaron las variaciones en los costos de potabilización en cada uno de los meses del año para los diferentes escenarios planteados, y posteriormente se totalizaron los mismos para determinar la variación anual.

4.8.2 Estimación de los costos anuales necesarios para el desarrollo de las diferentes prácticas de conservación.

Para estimar el costo de las prácticas de conservación, se determinaron los costos anuales equivalentes necesarios para la implementación y mantenimiento de las diferentes prácticas de conservación propuestas bajo diferentes horizontes de planificación.

4.8.3 Realización de una comparación entre los costos de implementación de prácticas de conservación y los costos de reducción en el proceso de potabilización de agua.

Para los diferentes escenarios favorables (desarrollo de prácticas) se compararon los costos anuales promedios de reducción en el proceso de potabilización, con los costos anuales equivalentes para el desarrollo de las prácticas propuestas durante diferentes periodos de vida útil considerados.

CAPITULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 OBTENCIÓN MEDIANTE MODELACIÓN CON SWAT DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS PARA DIFERENTES ESCENARIOS PLANTEADOS

Para los propósitos de este trabajo, se plantearon diferentes escenarios en la parte alta y media de la cuenca previa a la obras de captación, afectando 8580,36 ha sobre la cuenca del río Caña Brava y 5014,37 ha sobre el río Cacique. En la Figura 5.1 se muestra el mapa de uso actual de la cuenca, el cual fue tomado de Linares (2002). A partir del uso actual se plantearon diferentes escenarios, considerando cambios favorables y desfavorables sobre la producción de sedimentos

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 cambiaron todos los suelos cubiertos por bosque medio y bosque intervenido a un suelo cubierto por cultivos anuales.
- Cambio negativo 2 : Cambio de todos los suelos cubiertos por bosques medio, bosque intervenido, bosque bajo y cultivos permanentes a suelos cubiertos por cultivos anuales.

Igualmente se plantearon los siguientes escenarios favorables:

- Práctica 1: Realización de la práctica cultivos de cobertura, se reemplazó con cultivos anuales 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, modificando el factor P en la ecuación de la MUSLE de 1.0 a 0.525.
- Práctica 3: Implementación de la práctica de barreras vivas en todos los suelos cubiertos por, cultivos permanentes, cultivos anuales, pastizal puro y pastizal arbolado, modificando el factor P en la ecuación de la MUSLE de 1.0 a 0.525.
- Práctica 4: Modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro y pastizal arbolado a bosque siempre verde.
- Práctica 5: Modificación de cobertura en los suelos cubiertos por pastizal puro, pastizal arbolado, cultivos permanentes y cultivos anuales a bosque siempre verde.

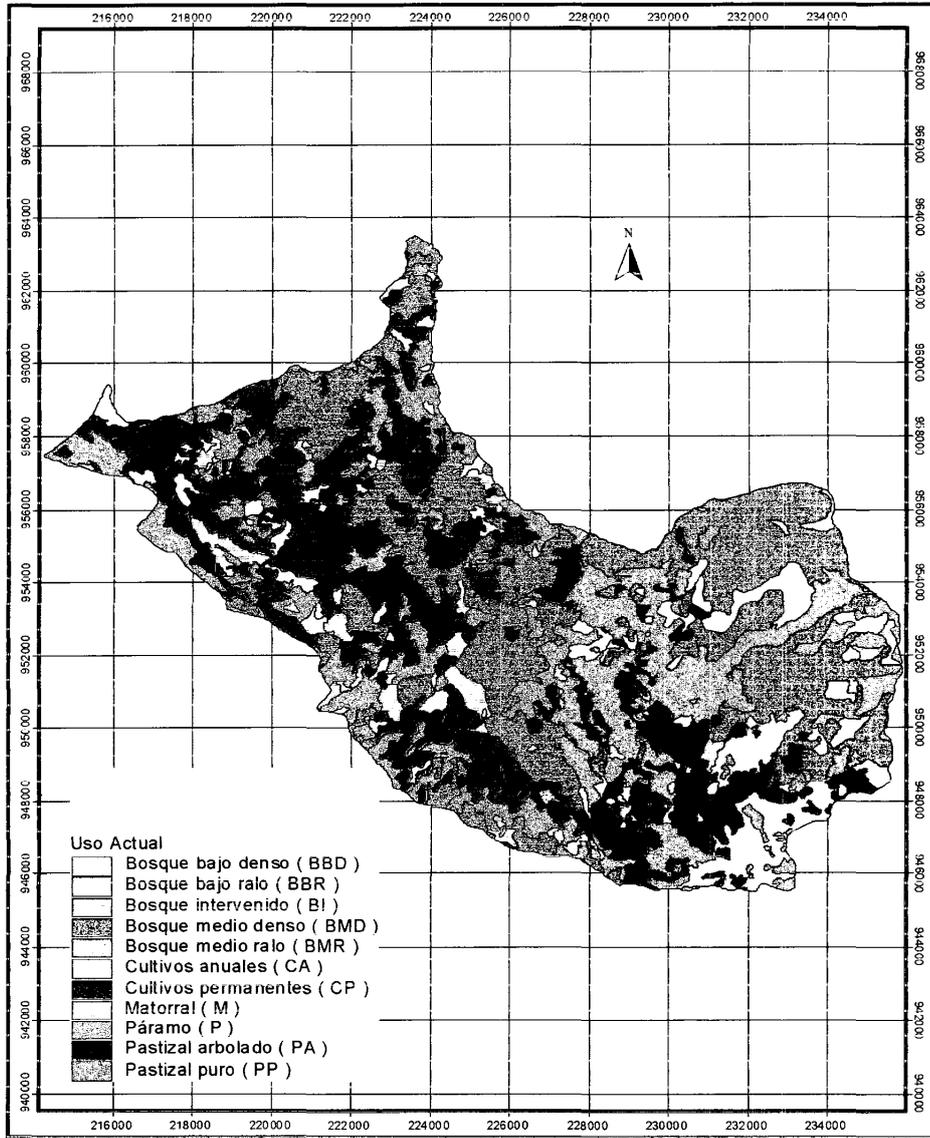


Figura 5.1 Mapa de uso actual sobre la cuenca del Río Mucujepe (Mapa digitalizado por la tesista, con uso de información suministrada por Aguas de Mérida)

Para los diferentes escenarios planteados, los porcentajes de usos sobre toda la parte alta y media de la cuenca previa a las obras de captación, se puede observar en la Figura 5.2

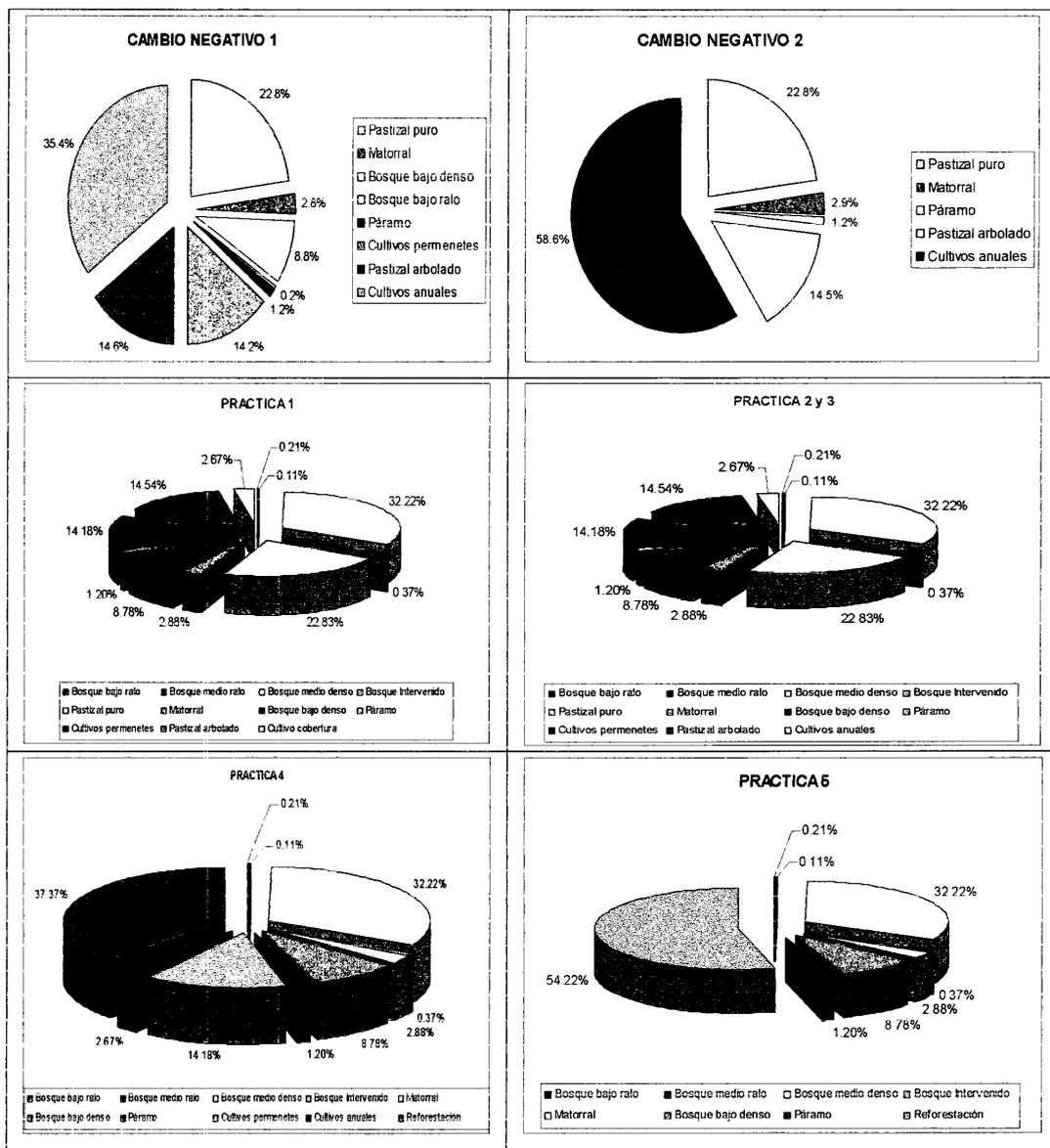


Figura 5.2 Distribución de usos en porcentaje para los diferentes escenarios planteados.

Mediante simulación de los escenarios anteriormente planteados con los registros de lluvia existentes en las estaciones cercanas a la cuenca para el período de 1967-1983 (Apéndice B), se obtuvieron las concentraciones de sedimentos (mg/l) a nivel mensual para cada una de las obras de toma (Apéndice C), esta información se resume en la Tabla 5.1 con valores a nivel anual en Ton/ha para cada uno de los escenarios planteados.

En la Tabla 5.1 se puede observar como la producción de sedimentos en Ton/ha es mayor para la cuenca del río Cacique, lo cual se justifica pues el área de esta es menor (5014,37 ha). Igualmente se puede observar cómo esta producción varía para los diferentes escenarios, obteniéndose los valores más altos para el Cambio negativo1 y los valores más bajos para la práctica 5

5.2 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN QUE INGRESA A LA PLANTA POTABILIZADORA

Previamente demostrado que los valores de concentración de sedimentos (mg/l) se ajustaban a una distribución normal en cada uno de los puntos donde se encuentran ubicadas las obras de toma (Ver Apéndice C), se cálculo el valor esperado para una probabilidad del 95% en cada una de las obras de toma. Posteriormente y considerando que el río Caña Brava aporta el 65% del agua que es tratada en la planta potabilizadora y el río Cacique el 35%, se realizó un balance de masas para obtener la concentración de sólidos en suspensión que estaría ingresando a la planta potabilizadora, para su posterior tratamiento.

Los resultados obtenidos a nivel mensual para cada uno de los escenarios propuestos se muestran en la Tabla 5.2; allí se puede observar que la cuenca del río Caña Brava es la que presenta los mayores valores de concentración de sólidos en suspensión, aportando mayor cantidad de sedimentos a la planta potabilizadora.

En la Figura 5.3 se puede observar cómo la concentración de sedimentos esperada a la entrada de planta potabilizadora presenta los mayores valores en los meses de abril y octubre para los diferentes escenarios planteados. Igualmente se observa que los mayores valores se presentan para el escenario Cambio Negativo 1 y los menores valores para el escenario Práctica 5.

Tabla 5.1 Producción de sedimentos anuales en Ton/ha

AÑO	Cuenca	Cambio	Cambio	Actual	Práctica	Práctica	Práctica	Práctica	Práctica
		Negativo 1 (Ton/ha)	Negativo 2 (Ton/ha)		1 (Ton/ha)	2 (Ton/ha)	3 (Ton/ha)	4 (Ton/ha)	5 (Ton/ha)
1967	Cacique	52.83	61.69	27.96	27.79	22.17	19.17	22.20	8.41
	Caña Brava	52.67	61.10	35.31	35.33	34.13	26.78	17.85	14.75
1968	Cacique	62.72	73.28	32.74	32.48	23.68	18.78	22.25	4.09
	Caña Brava	63.70	71.84	44.62	44.63	43.06	31.40	14.46	10.34
1969	Cacique	63.47	74.03	30.19	29.88	21.55	16.90	20.10	2.45
	Caña Brava	63.64	72.10	42.97	42.99	41.49	29.96	12.67	8.69
1970	Cacique	33.79	42.65	13.07	12.92	9.31	7.18	8.36	0.60
	Caña Brava	37.41	44.84	22.15	22.17	21.25	14.47	5.73	3.99
1971	Cacique	57.32	70.68	23.89	23.58	17.01	13.00	15.09	1.02
	Caña Brava	59.65	70.32	38.65	38.69	37.10	25.54	9.84	6.63
1972	Cacique	42.16	53.36	16.56	16.36	12.09	8.94	9.63	0.48
	Caña Brava	48.15	56.13	30.45	30.47	29.31	19.46	6.78	4.69
1973	Cacique	37.37	46.15	14.24	14.08	10.16	7.65	8.71	0.34
	Caña Brava	39.13	44.72	24.15	24.18	23.21	16.44	5.92	4.02
1974	Cacique	36.40	45.19	13.95	13.65	9.71	7.48	9.01	0.32
	Caña Brava	38.04	45.07	23.13	23.15	22.06	14.92	5.69	3.72

Continuación Tabla 5.1

AÑO	Cuenca	Cambio Negativo 1 (Ton/ha)	Cambio Negativo 2 (Ton/ha)	Actual (Ton/ha)	Práctica 1 (Ton/ha)	Práctica 2 (Ton/ha)	Práctica 3 (Ton/ha)	Práctica 4 (Ton/ha)	Práctica 5 (Ton/ha)
1975	Cacique	48.50	58.11	23.44	23.46	16.93	12.61	13.93	0.55
	Caña Brava	50.27	56.96	34.40	34.37	33.57	24.73	8.25	5.18
1976	Cacique	24.70	31.62	8.82	8.72	6.29	4.72	5.35	0.14
	Caña Brava	27.21	32.61	15.84	15.81	15.21	10.50	3.80	2.62
1977	Cacique	27.37	32.15	10.84	10.74	7.55	5.79	6.98	0.18
	Caña Brava	26.70	30.59	16.69	16.70	15.88	11.65	4.24	2.72
1978	Cacique	46.18	55.10	20.06	19.74	14.49	10.74	11.82	0.46
	Caña Brava	47.93	54.67	32.61	32.64	31.51	22.22	7.41	4.84
1979	Cacique	56.60	73.07	21.06	20.75	14.97	11.27	12.85	0.35
	Caña Brava	61.70	73.42	37.76	37.78	36.24	24.21	8.76	5.94
1980	Cacique	22.06	27.04	9.56	9.32	6.91	5.15	5.69	0.21
	Caña Brava	24.15	27.88	15.93	15.94	15.42	10.74	3.70	2.45
1981	Cacique	41.97	54.17	15.82	15.65	11.17	8.46	9.82	0.28
	Caña Brava	46.08	54.93	28.06	28.07	26.89	18.07	6.63	4.48
1982	Cacique	41.92	52.54	16.70	16.46	11.81	8.93	10.34	0.27
	Caña Brava	44.68	52.63	27.81	27.83	26.72	18.34	6.54	4.24
1983	Cacique	33.86	42.01	14.34	14.25	10.38	7.66	8.41	0.29
	Caña Brava	35.85	41.63	23.32	23.33	22.62	16.25	5.51	3.67

Tabla 5.2 Valores de sólidos en suspensión (mg/l) , al ingreso de la planta potabilizadora.

MES	SITIO	SS (mg/l) Escenario							
		Actual	Cambio (-) 1	Cambio (-) 2	Practica 1	Practica 2	Practica 3	Practica 4	Practica 5
ENE	Toma Cacique (P=95%)	1371,89	2066,96	2485,44	1358,03	710,75	593,07	768,05	60,58
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	1563,90	2147,71	2352,70	1565,07	1485,43	1172,76	530,82	393,31
FEB	Toma Cacique (P=95%)	1496,70	2119,45	2399,16	1492,61	1214,29	969,87	613,85	276,85
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	1200,09	1896,44	2262,41	1193,81	869,21	740,95	918,45	100,23
MAR	Toma Cacique (P=95%)	1311,89	2013,87	2189,68	1313,47	1208,76	915,69	517,44	265,96
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	1272,76	1972,77	2215,13	1271,59	1089,92	854,53	657,79	207,96
ABR	Toma Cacique (P=95%)	682,27	1389,16	1990,90	673,32	436,12	376,81	574,36	16,70
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	944,16	1361,15	1509,78	945,27	895,39	671,74	352,27	175,60
MAY	Toma Cacique (P=95%)	852,50	1370,95	1678,17	850,09	734,64	568,52	430,00	119,99
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	1731,44	2760,99	3425,56	1714,33	1297,67	1038,86	1224,28	261,26
JUN	Toma Cacique (P=95%)	2235,53	3064,77	3312,65	2236,53	2082,18	1571,95	1064,17	448,96
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	2059,10	2958,45	3352,17	2053,76	1807,60	1385,37	1120,21	383,26
JUN	Toma Cacique (P=95%)	1076,47	1935,70	2422,62	1064,68	780,33	610,32	750,37	114,37
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	1231,21	2168,68	2528,72	1231,81	1127,31	854,09	569,08	253,66
JUN	Toma Cacique (P=95%)	1177,05	2087,13	2491,58	1173,31	1005,87	768,77	632,53	204,91
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	694,99	1119,32	1362,29	693,95	501,10	432,24	568,73	121,81
JUN	Toma Cacique (P=95%)	681,98	1186,46	1350,33	682,65	641,47	530,05	417,13	229,32
	Toma Caña Brava (P=95%) Planta	686,53	1162,96	1354,51	686,61	592,34	495,82	470,19	191,70

Continuación Tabla 5.2

MES	SITIO	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)	SS (Mg/L)
		Escenario Actual	Escenario Cambio (-) 1	Escenario Cambio (-) 2	Escenario Practica 1	Escenario Practica 2	Escenario Practica 3	Escenario Practica 4	Escenario Practica 5			
JUL	Toma Cacique (P=95%)	312,79	651,30	986,32	309,32	184,39	168,80	282,91	6,77			
	Toma Caña Brava (P=95%)	676,60	1103,87	1254,61	677,45	670,43	493,25	258,00	249,86			
AGO	Planta	549,27	945,47	1160,71	548,60	500,32	379,69	266,72	164,78			
	Toma Cacique (P=95%)	680,65	1186,61	1489,20	666,32	446,74	379,53	558,00	24,22			
SEPT	Toma Caña Brava (P=95%)	661,81	1056,63	1189,07	662,25	538,78	495,11	309,12	170,73			
	Planta	668,40	1102,13	1294,11	663,67	506,56	454,66	396,23	119,45			
OCT	Toma Cacique (P=95%)	967,91	1609,78	1940,10	949,89	668,61	577,66	740,34	63,87			
	Toma Caña Brava (P=95%)	964,88	1613,17	1743,13	965,47	878,96	697,23	437,90	172,74			
NOV	Planta	965,94	1611,99	1812,07	960,01	805,34	655,38	543,75	134,63			
	Toma Cacique (P=95%)	1447,41	2465,39	2967,44	1431,89	1032,17	811,80	1010,76	100,38			
DIC	Toma Caña Brava (P=95%)	1947,71	2614,93	2826,36	1949,11	1841,03	1413,88	741,99	348,73			
	Planta	1772,61	2562,59	2875,74	1768,08	1557,93	1203,15	836,06	261,81			
NOV	Toma Cacique (P=95%)	1450,02	2376,86	3040,66	1439,61	1056,54	854,71	1064,05	156,52			
	Toma Caña Brava (P=95%)	1967,45	2631,71	2821,51	1968,23	1883,48	1508,15	898,26	395,99			
NOV	Planta	1786,35	2542,51	2898,22	1783,21	1594,05	1279,44	956,29	312,18			
	Toma Cacique (P=95%)	1228,84	2226,81	2724,42	1218,72	873,18	700,27	894,33	116,80			
DIC	Toma Caña Brava (P=95%)	1383,57	2165,50	2427,60	1384,74	1259,51	922,78	527,05	223,89			
	Planta	1329,41	2186,96	2531,49	1326,63	1124,30	844,90	655,60	186,41			

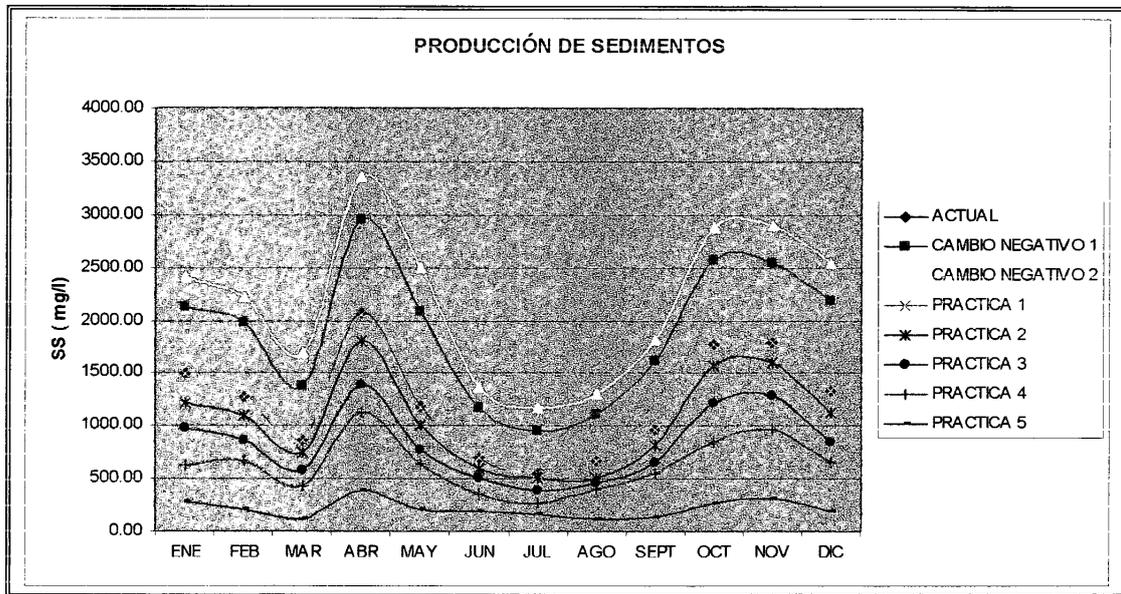


Figura 5.3 Concentración de sólidos en suspensión esperada a la entrada de la planta potabilizadora.

En la Figura 5.4 se presenta la variación mensual de los sólidos en suspensión esperados en la planta potabilizadora para las diferentes prácticas de conservación propuestas; se muestra que la variación en la concentración de sedimentos entre el escenario actual y los escenarios de la práctica de barreras vivas, afectan de forma similar a las cuencas de Caña Brava y Cacique; en cuanto a las prácticas de reforestación, la práctica de conservación 4 parece beneficiar más a la cuenca del río Caña Brava, conclusión que parecería lógica pues esta cuenca tiene mayor área de pastizales y para la práctica de conservación 5 la variación entre la situación actual y la práctica propuesta, parece muy similar para ambas cuencas.

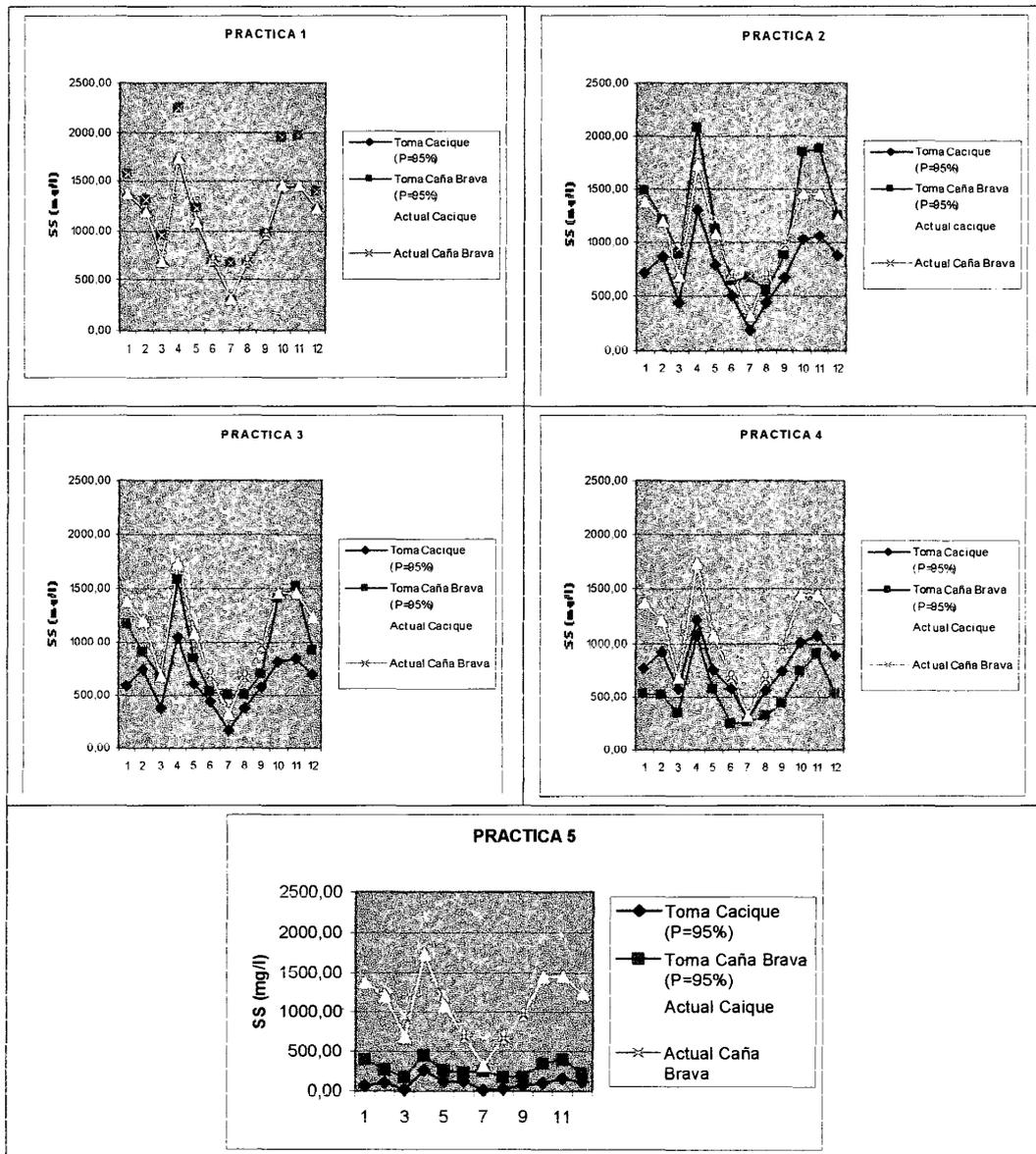


Figura 5.4 Variación de los sólidos en suspensión para las diferentes prácticas realizadas sobre las cuencas de los ríos Caique y Caña Brava.

Para los escenarios negativos se puede observar en la Figura 5.5 que los cambios negativos propuestos afectan en forma muy similar a las dos cuencas.

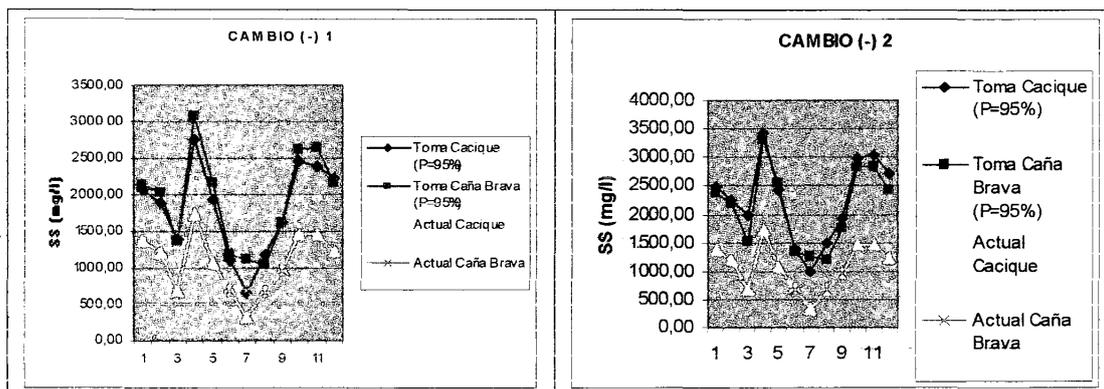


Figura 5.5 Variación de los sólidos en suspensión para los escenarios negativos propuestos sobre las cuencas de los ríos Cacique y Caña Brava.

5.3 DESARROLLO DE UN MUESTREO SIMULTÁNEO A FIN DE DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CAPTACIÓN Y TURBIDEZ DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Se desarrolló un muestreo simultáneo en las dos obras de toma entre el mes noviembre del año 2003 y el mes de mayo del año 2004, tomándose en total 22 muestras, estas sólo fueron tomadas en las bocatomas cuando se superaban las 100 UNT. La logística de la toma de muestra y traslado a Mérida fue realizada por la Gerencia de Aguas de Mérida en la Ciudad de El Vigía, con apoyo directo de la Jefatura de la Planta Potabilizadora Mucujepé. Los análisis de las muestras fueron realizados por la tesista en los Laboratorios de la Planta Potabilizadora Dr. Enrique Bourgoín de la Empresa Aguas de Mérida. Los resultados del muestreo realizado se presentan en la Tabla 5.3

Comparando estos valores, con los valores obtenidos mediante simulación para la condición actual (Apéndice C), se tiene que, mediante muestreo, el mayor valor registrado en el mes de abril para el río Caña Brava fue de 1482 mg/l y mediante simulación los valores para ese mes se encuentran entre 113.1mg/l y 2985 mg/l. Igualmente para el río Cacique, el mayor valor obtenido mediante muestreo en ese mes fue de 1630 mg/l y mediante simulación los valores oscilan entre 4.71 mg/l y 1740 mg/l, lo cual podría indicar que el modelo está produciendo valores dentro de la magnitud esperada.

Tabla 5.3 Valores de sólidos en suspensión y turbidez para muestras tomadas durante períodos de lluvia.

SITIO	FECHA	SS (mg/lit)	TURBIDEZ (UNT)
Caña Brava	16/04/2004	1482	100
Caña Brava	23/04/2004	218	132
Caña Brava	04/05/2004	834	1120
Caña Brava	05/05/2004	380	200
Caña Brava	06/05/2004	308	335
Caña Brava	12/05/2004	1918	1370
Caña Brava	14/05/2004	60	142
Promedio		742.86	
Cacique	11/11/2003	3356	920
Cacique	06/12/2003	104	15
Cacique	30/12/2003	408	264
Cacique	13/01/2004	1000	446
Cacique	16/04/2004	1630	800
Cacique	05/05/2004	438	270
Cacique	06/05/2004	108	57
Cacique	14/05/2004	176	157
Promedio		902.50	

5.4 DETERMINACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y TURBIDEZ

Mediante uso de la información mostrada en la Tabla 5.3, se obtuvo una función que permitiera relacionar sólidos en suspensión con turbidez, en la Figura 5.6 se presenta la función doblemente logarítmica que relaciona estos dos parámetros. La ecuación obtenida mediante regresión se presenta en la Ecuación 5.1.

$$\ln(\text{Turbidez(UNT)}) = 0.293 + 0.8725 \times \ln(\text{SS(mg/l)}) \quad (5.1)$$

Para esta regresión se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.72 y un error típico de 0.66.

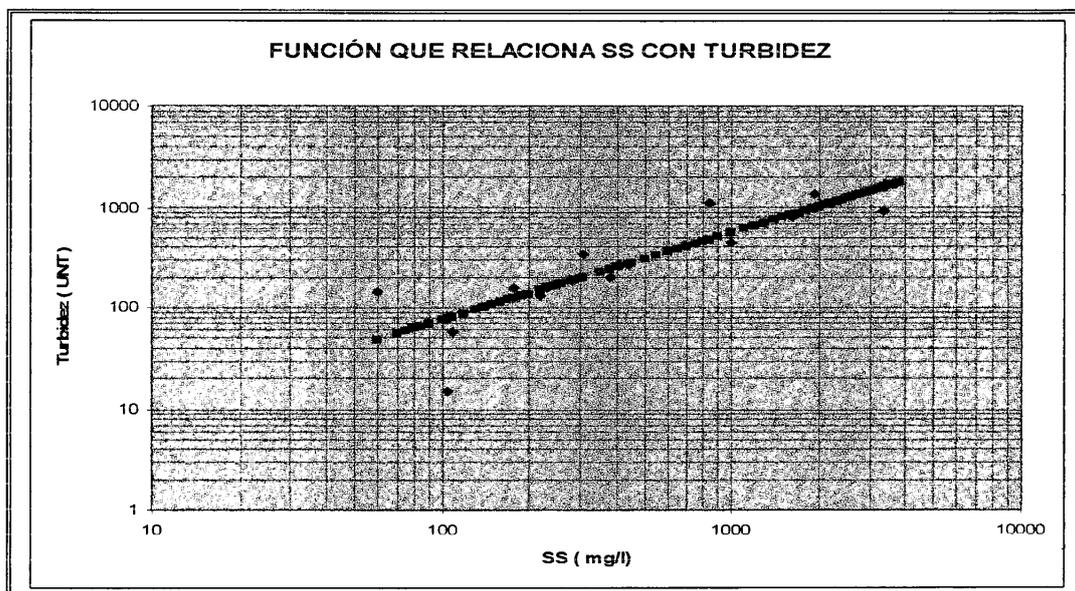


Figura 5.6 Función doblemente logarítmica que relaciona sólidos en suspensión con turbidez

5.5 DETERMINACIÓN DE UNA RELACIÓN ENTRE TURBIDEZ -DOSIS DE COAGULANTE-Y COSTOS DE POTABILIZACIÓN

Con uso de la información suministrada de la dosis de coagulante y turbidez a nivel diario en la planta potabilizadora Mucujepe durante el período de 1998-2003, se realizó el siguiente procedimiento:

- Transformación de las cantidades usadas a nivel diario de poli-cloruro de aluminio a cantidades equivalentes de sulfato de aluminio, multiplicando los anteriores por un factor de equivalencia operativa de 3.
- Adición de las cantidades equivalentes de sulfato de aluminio calculadas en el paso anterior a las cantidades de sulfato de aluminio (Kg) usadas a nivel diario.
- Obtención de una función doblemente logarítmica, que relacione consumo de sulfato de aluminio (Kg) con turbidez (UNT).

Con los valores obtenidos mediante el proceso anterior se obtuvo una función doblemente logarítmica que relaciona turbidez con sulfato de aluminio. En la Figura 5.7 se muestra la función obtenida, cuya ecuación de regresión se observa en la Ecuación 5.2.

$$\ln(\text{Sulfato de aluminio (Kg)}) = 0.23 \times \ln(\text{Turbidez (UNT)}) + 6.51 \quad (5.2)$$

Para esta regresión se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.67.

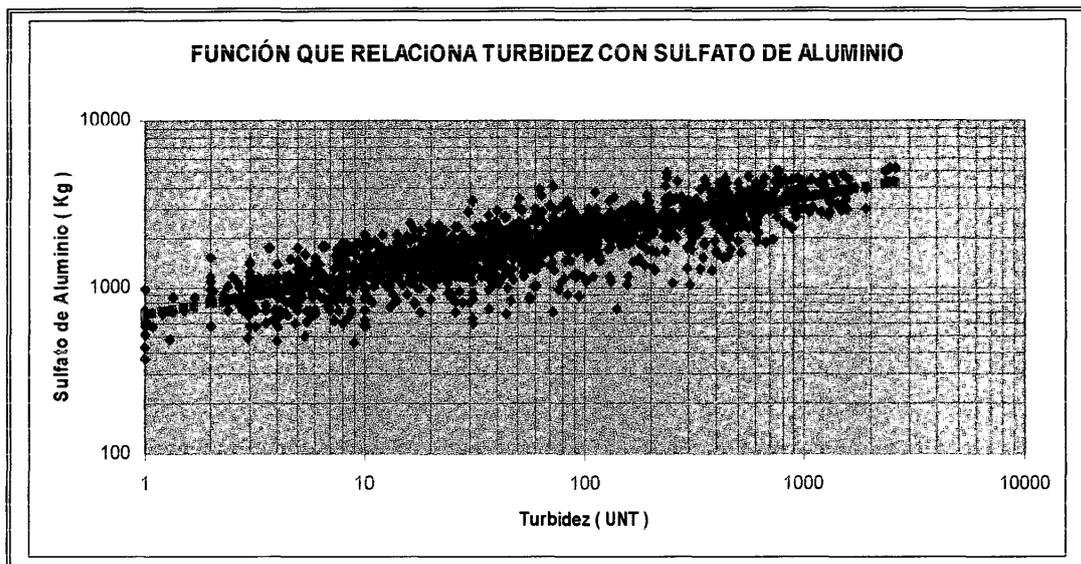


Figura 5.7 Función doblemente logarítmica que relaciona turbidez con dosis de coagulante.

En cuanto a la relación entre dosis de coagulante y costos de potabilización, como ya se mencionó anteriormente, para los propósitos de este trabajo se asumió que los costos de potabilización y la dosis de coagulante variarán en la misma proporción.

5.6 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE GASTOS PREVENTIVOS PARA VALORAR EL EFECTO DEL CONTROL DE LOS SEDIMENTOS EN LA CUENCA SOBRE LOS COSTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

5.6.1 Determinación de la variación en los costos de potabilización para los diferentes escenarios planteados

Para estimar la variación en los costos de potabilización, se utilizó el siguiente procedimiento para cada uno de los diferentes escenarios planteados:

- Determinación de la turbidez asociada al valor esperado de sólidos en suspensión (mg/l) que ingresarían a la Planta Potabilizadora Mucujepe para una probabilidad del 95%, en la situación actual y en el escenario propuesto para cada uno de los meses del año. Para su determinación se uso la Ecuación 5.1.
- Cálculo de la cantidad de sulfato de aluminio (Kg) asociada a cada uno de los valores de turbidez determinados en el paso anterior mediante el uso de la Ecuación 5.2.
- Determinación de la variación en porcentaje entre las cantidades de sulfato de aluminio requeridas para la situación actual y las requeridas para el escenario propuesto, calculadas en el paso anterior.
- Cálculo del porcentaje de variación de los costos de potabilización como efecto del porcentaje obtenido de variación en la dosis de coagulante, el cual se consideró igual al porcentaje obtenido en el paso anterior para los propósitos de este trabajo.
- Multiplicación del porcentaje de variación de los costos de potabilización por el costo promedio de producción (\$ / m³)(Ver Apéndice C) y por la cantidad promedio de agua tratada para cada uno de los meses del año, para obtener el costo promedio de variación (\$) a nivel mensual.
- Sumatoria de los costos promedio de variación a nivel mensual, para obtener la variación de los costos de potabilización promedio anual.

En la Tabla 5.4 se muestran los valores obtenidos para la práctica 2; como ayuda ilustrativa, los valores obtenidos para los otros escenarios se pueden observar en el Apéndice C.

- En la Tabla 5.5 se presenta un cuadro resumen de los valores anuales obtenidos de costos de reducción o incrementales obtenidos para los diferentes escenarios propuestos; en donde se puede observar que los mayores costos de reducción por hectárea se presentan en la prácticas de reforestación (práctica 4 y 5), seguido por la práctica 3 (práctica de barreras vivas en todos los suelos cubiertos por cultivos permanentes, cultivos anuales, pastizal puro y pastizal arbolado, modificando el factor P en la ecuación de la MUSLE de 1.0 a 0.525).

Igualmente se puede observar que los costos incrementales por hectárea en el escenario cambio negativo 1 supera los costos de reducción que se obtuvieron para los diferentes escenarios planteados de barreras vivas.

Tabla 5.5 Resumen costos de reducción o incrementales en el proceso de potabilización.

ESCENARIO	AREA	COSTO PROMEDIO REDUCCIÓN	COSTO PROMEDIO INCREMENTAL	COSTO PROMEDIO
	(ha)	(\$)	(\$)	(\$/ha)
CAMBIO NEGATIVO 1	4446.75		30287.69	6.81
CAMBIO NEGATIVO 2	7598.13		38619.13	5.08
PRACTICA 1 (C.COBERTURA)	362.75	167.41		0.46
PRACTICA 2 (B. VIVAS)	2291.12	9329.75		4.07
PRACTICA 3 (B. VIVAS)	7371.02	34092.25		4.63
PRACTICA 4 (REFORESTACIÓN)	5079.90	37239.05		7.33
PRACTICA 5 (REFORESTACIÓN)	7371.02	86924.30		11.79

5.6.2 Estimación de los costos anuales necesarios para el desarrollo de las diferentes prácticas de conservación

Con el objetivo de estimar unos costos aproximados de las prácticas de conservación a implementar, se hizo uso de la Tabla 5.6 , la cual corresponde a los costos anuales estimados por la Fundación PRISMA (El Salvador), necesarios para implementar y mantener las prácticas mostradas .

Tabla 5.6 Costos para el establecimiento de prácticas de conservación de suelos y aguas. Tomado y adaptado de (PRISMA, 2001)

PRACTICA	DESCRIPCIÓN	ESTABLECIMIENTO (\$/ha)	MANTENIMIENTO (\$/ha)
Bosques	Siembra de árboles en grupos para proporcionar sombra y protección al ganado, además de obtener productos maderables y forrajeros, con una densidad de 1111 plantas / ha.	192.61	43.24 (primer año) 38.29 (segundo año en adelante)
Barrera viva De Brizantha	Colocación de 1000 m / ha de especies vegetales de crecimiento denso en hileras dobles separadas a 0.20 o 0.25 m, establecidas a contorno	29.14	13.71
Cultivos de Cobertura	Establecimiento de Mucusuna sp. asociado con cultivo de maíz, colocando dos semillas por postura cada 0.50m	72.57	72.57

Posteriormente se multiplicó este valor por las hectáreas afectadas , obteniendo los valores mostrados en la Tabla 5.7 para las diferentes prácticas.

Considerando diferentes horizontes de planificación (5, 10, 20 y 25 años) y una tasa de interés del 12%, se cálculo el valor presente del costo (VPC), el factor de recuperación de capital (FRC) y el costo anual equivalente(CAE) En la Tabla 5.8 se muestran los valores obtenidos para las diferentes prácticas.

Tabla 5.7 Costos anuales necesarios para la implementación y mantenimiento de las Diferentes prácticas de conservación en la cuenca.

PRACTICA	PARAMETRO	(\$)
PRACTICA 1 (CULTIVO COBERTURA)	Costo Implementación	26324,46
	Costo Mantenimiento	26324,46
PRACTICA 2 (B.VIVAS)	Costo Implementación	66763,26
	Costo Mantenimiento	31411,27
PRACTICA 3 (B.VIVAS)	Costo Implementación	214791,55
	Costo Mantenimiento	101056,70
PRACTICA 4 (REFORESTACION)	Costo Implementación	978463,41
	Mantenimiento (primer año)	219643,30
	Mantenimiento (a partir de segundo año)	194497,18
PRACTICA 5 (REFORESTACION)	Costo Implementación	1419766,82
	Mantenimiento (primer año)	318706,12
	Mantenimiento (a partir de segundo año)	282218,68

En la Figura 5.8 se puede ver como los costos anuales equivalentes disminuyen al aumentar el horizonte de planificación, igualmente se observa que los mayores costos en que hay que incurrir se presentan en aquellos escenarios donde se realiza reforestación.

5.6.3 Realización de una comparación entre los costos de implementación de prácticas de conservación y los costos de reducción en el proceso de potabilización de agua

Con los resultados obtenidos en los dos pasos anteriores 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 la Tabla 5.9, se realiza 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).

Tabla 5.8 Costos anuales equivalentes para el desarrollo de las diferentes prácticas Propuestas.

PRACTICA	PARAMETRO	5	10	20	25
Practica 1 (Cultivo Cobertura)	i	0,12	0,12	0,12	0,12
	VPC (\$)	94893,77	148739,04	196629,04	206466,37
	FRC	0,28	0,18	0,13	0,13
	CAE (\$)	26324,46	26324,46	26324,46	26324,46
	Area Afectada	362,75	362,75	362,75	362,75
	CAE(\$/ha)	72,57	72,57	72,57	72,57
Practica 2 (B.Vivas)	i	0,12	0,12	0,12	0,12
	VPC (\$)	144794,87	209044,94	266188,96	277927,21
	FRC	0,28	0,18	0,13	0,13
	CAE (\$)	40167,50	36997,64	35637,05	35435,71
	Area Afectada	2291,12	2291,12	2291,12	2291,12
	CAE(\$/ha)	17,53	16,15	15,55	15,47
Practica 3 (B.Vivas)	i	0,12	0,12	0,12	0,12
	VPC (\$)	465835,76	672541,86	856386,28	894150,72
	FRC	0,28	0,18	0,13	0,13
	CAE (\$)	129227,37	119029,26	114651,95	114004,19
	Area Afectada	7371,02	7371,02	7371,02	7371,02
	CAE(\$/ha)	17,53	16,15	15,55	15,47
Practica 4 (Reforestación)	i	0,12	0,12	0,12	0,12
	VPC (\$)	1421135,00	1818968,64	2172801,92	2245484,64
	FRC	0,28	0,18	0,13	0,13
	CAE (\$)	394236,68	321928,64	290892,07	286299,22
	Area Afectada	5079,90	5079,90	5079,90	5079,90
	CAE(\$/ha)	77,61	63,37	57,26	56,36
Practica 5 (Reforestación)	i	0,12	0,12	0,12	0,12
	VPC (\$)	2062090,72	2639354,01	3152772,04	3258235,89
	FRC	0,28	0,18	0,13	0,13
	CAE (\$)	572044,03	467123,86	422089,27	415424,98
	Area Afectada	7371,02	7371,02	7371,02	7371,02
	CAE(\$/ha)	77,61	63,37	57,26	56,36

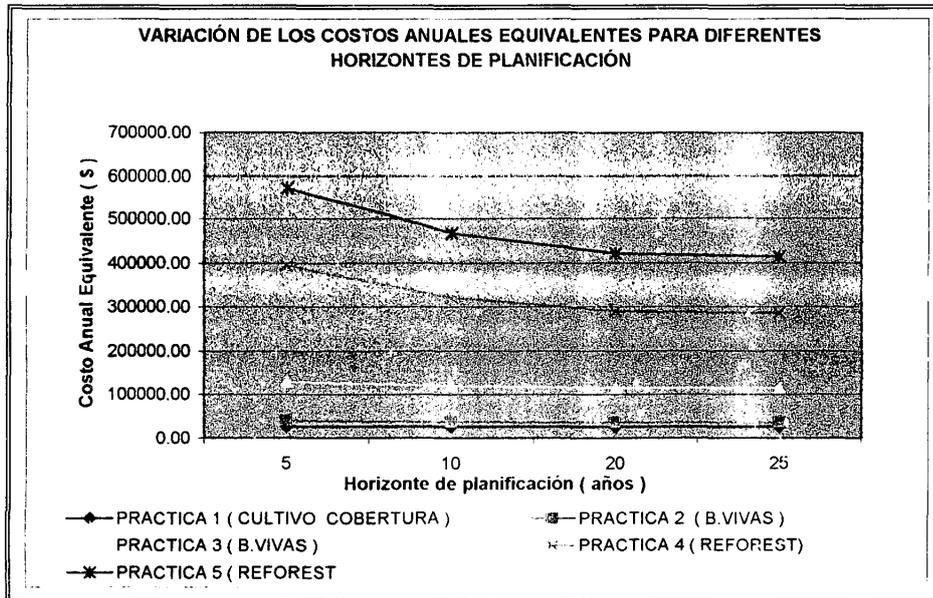


Figura 5.8 Variación de los costos anuales equivalentes en los diferentes horizontes de Planificación.

En la Figura 5.9, se muestra la variación de los porcentajes que podría asumir la empresa en los diferentes escenarios de prácticas de conservación.

Se observa que los porcentajes que podría asumir la empresa se incrementan al considerar horizontes de planificación mayores. Igualmente se observa que los mayores porcentajes se obtienen para los escenarios de barreras vivas, seguidos por el escenario de reforestación (práctica 5).

Tabla 5.9 Porcentajes de los costos de las prácticas de conservación que podría asumir la empresa.

ESCENARIO	Area (ha)	Costo Promedio Reducción (S)	Costo Promedio Incremental (S)	Costo Promedio (S/ha)	CAE (S)					% Asumido Por La Empresa							
					5	10	20	25	5	10	20	25					
Cambio Negativo 1	4446.75		30287.69	6.81													
Cambio Negativo 2	7598.13		38619.13	5.08													
Practica1(C.Cobertura)	362.75	167.41		0.46	26324.5	26324.5	26324.5	26324.5	26324.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Practica 2 (B. Vivas)	2291.12	9329.75		4.07	40167.5	36997.6	35637.1	35435.7	35435.7	23.2	25.2	26.2	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3
Practica 3 (B. Vivas)	7371.02	34092.25		4.63	129227.4	119029.3	114652.0	114004.2	114004.2	26.4	28.6	29.7	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9
Practica 4 (Reforest)	5079.90	37239.05		7.33	394236.7	321928.6	290892.1	286299.2	286299.2	9.4	11.6	12.8	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
Practica 5 (Reforest)	7371.02	86924.30		11.79	572044.0	467123.9	422089.3	415425.0	415425.0	15.2	18.6	20.6	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9

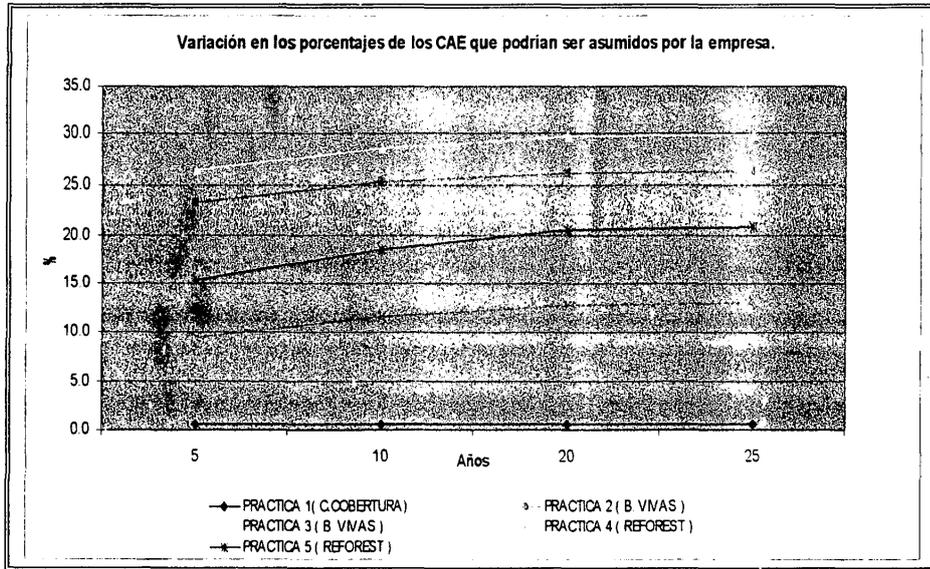


Figura 5.9 Variación de los porcentajes asumidos por la empresa para diferentes escenarios

CAPITULO 6

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 poca importancia al costo de la práctica de conservación, la decisión más adecuada sería implementar cualquiera de las prácticas de reforestación planteadas (práctica 4 y 5). En caso contrario que lo que se busque sea un equilibrio entre reducción en los costos de potabilización (beneficio) y el costo de las prácticas, el escenario más adecuado sería el planteado en la práctica 3 (práctica de barreras vivas en todos los suelos cubiertos por cultivos permanentes, cultivos anuales, pastizal puro y pastizal arbolado, modificando el factor P en la ecuación de la MUSLE de 1.0 a 0.525).

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 desarrollo 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.

En el caso de la práctica de barreras vivas, los mayores porcentajes del costo de la práctica que pueden ser asumidos por la empresa se presentan en el escenario práctica 3 (práctica de barreras vivas en todos los suelos cubiertos por cultivos permanentes, cultivos anuales, pastizal puro y pastizal arbolado, modificando el factor P en la ecuación de la MUSLE de 1.0 a 0.525), mientras que en el caso de la práctica de reforestación se producen en la práctica 5 (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:

- Realizar un estudio más profundo acerca de todos los beneficios obtenidos mediante la implementación de diferentes prácticas de conservación en la cuenca del río Mucujepe; tales como: regularización del caudal, aumento de la productividad del suelo, disminución de enfermedades humanas causadas por organismos patógenos, etc. De esta forma se podría determinar cuál sería el porcentaje del costo total necesario para la implementación de una determinada práctica, que tendría que asumir cada uno de los usuarios del recurso agua dentro de la cuenca en estudio.
- Llevar registros mensuales de los costos asociados a cada una de las unidades de tratamiento involucradas en el proceso de potabilización, con el objetivo de contar con una curva de costos que refleje exactamente los costos asociados a la tarea de clarificación s en el proceso de potabilización de agua.
- Desarrollar un trabajo de investigación, con el propósito de determinar cuales 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 e implementar un programa de medición de datos climáticos, caudales y transporte de sedimentos que permitan una mejor 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 , con el objetivo de mejorar la estimación de sedimentos mediante modelos de simulación.

BIBLIOGRAFIA

- Arboleda, J. 1998. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Bogotá, Mc. Graw Hill.
- Alarcón, L; O. Díaz ; L. Dimas ; M. González; D. Herrador y E. Segura. 2000. **Costos de prácticas agrícolas para la generación de servicios ambientales en El Salvador** . San Salvador, PRISMA. Sin ISBN.
- Binnie ,C; M.Kimber y G. Smethurst. 2002. **Basic water treatment**. Londres, Thomas telford ltd, pp.50-71.
- Barrios, A. 2004. **Entrevista personal**.
- CIDIAT. 1987. **Actualización del estudio hidrológico de la zona sur del lago**. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Infraestructura.
- Delgado, F. 1987. **Prácticas agronómicas de conservación de suelos**. Mérida, CIDIAT, pp 41-65.
- Delgado, F. 2002. **Agricultura sostenible y mejoramiento de suelos en ladera**. Mérida, CIDIAT, pp 177-178.
- Field, B. 1995. **Economía ambiental**. Bogotá, Mc.Graw Hill, pp 66-265.
- Linares, Y. 2002. **Determinación de las fuentes actuales y potenciales de erosión de la cuenca media y alta del Río Mucujepe**. Tesis Msc. Mérida, Universidad de Los Andes.. Sin ISBN
- Mendieta, J. 2002. **Valoración económica de recursos naturales y servicios ambientales**. Memorias VII Curso en Economía Ambiental. Mérida, 29 de julio al 02 de agosto.
- MARNR. 1982. **Estudio de suelos preliminar de la cuenca media y alta del Río Mucujepe Estado Mérida**. Maracaibo, MARNR.
- MSAS. 1998. **Gaceta oficial de la Republica de Venezuela**. Caracas, Imprenta Nacional.
- Solsona, J. 1990. **Trabajo de investigación cuenca del Río Mucujepe**. Trujillo. Sin ISBN
- TAHAL. 1995. **Informe diagnóstico de la ciudad de El Vigía** El Vigía. Sin ISBN.

Wischmeier, W.H y D.D Smith. 1965. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains agricultural handbook No.282** Washington, D:C, Gov.Print.Office, Sin ISBN.

Wischmeier, W.H y D.D Smith. 1978. **Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning.USDA agricultural handbook No.537** Washington,D:C, Gov.Print.Office, Sin ISBN.