Scholar@UPRM

Coeficientes de exportación de sedimentos para la cuenca del Río Grande de Arecibo

Item Type	Thesis
Authors	Suárez Narváez, Gustavo A.
Download date	2026-01-23 01:21:21
Link to Item	https://hdl.handle.net/20.500.11801/3765

COEFICIENTES DE EXPORTACIÓN DE SEDIMENTOS PARA LA CUENCA DEL RÍO GRANDE DE ARECIBO

Por

Gustavo Adolfo Suárez Narváez

Tesis sometida en cumplimiento parcial

de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
en

Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2005

Aprobado por:

_____	_____
Jorge Rivera Santos, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Raúl E. Zapata López, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Luís R. Pérez Alegría, Ph.D. Presidente, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
David Sotomayor Ramírez, Ph.D. Representante, Escuela Graduada	Fecha
_____	_____
Ismael Pagán Trinidad, M.Sc. Director, Departamento de Ingeniería Civil	Fecha
_____	_____
José A. Mari Mutt, Ph.D. Director, de Estudios Graduados	Fecha

Abstract

This work was developed for the Río Grande de Arecibo watershed in the central part of Puerto Rico. The principal objective was to determine sediment export coefficients for different subwatersheds and land uses using hydrological model simulation with **HSPF** (Hydrological Simulation Program-Fortran) computer program developed by the USEPA. A global sensitivity analysis was used to calibrate and validate **HSPF** parameters that controls flow and sediment transport. The analysis identified *KGER* and *KSAND* as the most sensitive parameters sediment transport. Calculated sediment export coefficients for agricultural lands for the research period ranged from 0.12 to 0.55 tons/acre/yr. For barren land sediment export coefficient ranged from 0.33 to 14 tons/acre/yr; for forest land ranged from 0.003 to 0.019 tons/acre/yr; for rangeland ranged from 0.009 to 0.022 tons/ac/yr and for pasture was from 0.015 to 0.063 tons/acre/yr. For the simulation period between October 1, 1995 and February 29, 2000 in Caonillas Lake the model accounted 10.7 E06 tons of sediments, which represents a 9.5% difference of the sediments accumulated in the lake as reported by a USGS study. The simulation period for Dos Bocas Lake, between October 1, 1995 and September 30, 1999 the model accounted for 17.6 E06 tons of sediments that represent a 20.1% difference when compared to the USGS measured value. The sediment export coefficient values for agricultural lands were within the tolerance limits suggested for similar soils in Puerto Rico.

Resumen

El presente trabajo fue desarrollado para la cuenca del Río Grande de Arecibo en la zona central de Puerto Rico. El objetivo principal, fue determinar los coeficientes de exportación de sedimentos para diferentes subcuencas y usos de terreno utilizando simulación hidrológica con el programa **HSPF** (Hydrological Simulation Program Fortran) desarrollado por USEPA. Un análisis de sensibilidad global fue utilizado para calibrar y validar los parámetros de **HSPF** que controlan flujo y transporte de sedimentos. El análisis identificó los parámetros *KGER y KSAND* como los parámetros más sensibles para transporte de sedimentos. Los coeficientes de exportación de sedimentos calculados para terrenos agrícolas, para el periodo de estudio fueron de 0.12 a 0.55 ton/acre/año. Para terrenos sin cobertura los coeficientes de exportación de sedimentos fueron de 0.33 a 14 ton/acre/año, para bosques fueron de 0.003 a 0.019 ton/acre/año; para arbustos y pastos abandonados fueron de 0.009 a 0.022 ton/acre/año y para pastos fueron de 0.015 a 0.063 ton/acre/año. Para el periodo de simulación entre Octubre 1, 1995 y Febrero 29, 2000 en el Lago Caonillas el modelo calculó 10.7E06 toneladas de sedimentos, lo cual representa 9.5 % de diferencia con los sedimentos acumulados en el lago reportados por el USGS. Para el periodo de simulación en el Lago Dos Bocas, entre Octubre 1, de 1995 y Septiembre 30, 1999 el modelo calculó 17.06E06 toneladas de sedimentos que representa 20.1% de diferencia con los valores medidos por el USGS. Los valores de coeficientes de exportación de sedimentos para terrenos agrícolas se encontraron dentro de los límites de tolerancia para suelos similares en Puerto Rico

© Gustavo Adolfo Suárez Narváez, 2005

A Dios por haberme dado la vida y por todo lo bueno y lo malo que ha puesto en mi camino, porque eso me ha enseñado a vivir mejor……

A la memoria de mis hermanos Rubén y Nacho….

A mis padres Nacho y Nelsy por todo su amor y por aceptar y respetar las decisiones que he tomado……

A mi hermana Ana y mis sobrinas Diana y Marcela, por todo el amor que me brindan…

A mi novia Hecmarí, por su amor, su apoyo y por restaurar en mí los sueños y los deseos que en ocasiones nos hace olvidar la rutina de la academia……

Agradecimientos

Mi especial gratitud al Doctor Luís R. Pérez Alegría, porque gracias a su apoyo tanto intelectual como económico, he podido finalizar y culminar el presente trabajo.

Mi agradecimiento a los miembros del comité graduado, profesores Jorge Rivera Santos y Raúl Zapata López, por sus valiosas contribuciones y sugerencias.

Mi agradecimiento también al representante de la escuela graduada, profesor David Sotomayor Ramírez por sus valiosos comentarios.

A Yesenia González, Jessica Alcover, secretarias de Departamento de Ingeniería Agrícola, por su apoyo, durante estos años.

A los compañeros de trabajo, Edwin Martínez, Dewell Páez, Noemí Guindín, Christian Villalta, Freddy Pérez por su apoyo.

A todos los estudiantes subgraduados que colaboraron en los trabajos de campo.

A mis compañeros de Ingeniería Civil, María Fernanda Serrano y Norberto Caraballo, por su apoyo y su incondicional ayuda.

A mis amigos José Burgos y Héctor Pérez, por su amistad durante estos años.

Tabla de Contenido

Abstract ii

Resumen iii

Agradecimientos vi

Tabla de Contenido vii

Lista de Tablas x

Lista de Figuras xii

Lista de Apéndices xvi

Lista de Símbolos y Abreviaturas xvii

Capítulo 1: Introducción 1

Capítulo 2: Revisión de Literatura 4

2.1 Modelos Hidrológicos 4

2.2 Desarrollo de Modelos de Simulación Hidrológica 4

2.3 Modelos de los Procesos de Erosión del terreno 5

2.4 Utilización de Modelos de Simulación Hidrológica en Calidad de Aguas 7

2.5 Uso de SIG en Simulación Hidrológica 8

2.6 Descripción de HSPF 9

2.6.1 Procesos Hidrológicos en HSPF 10

2.6.2 Procesos de Producción y Transporte de Sedimentos en HSPF 15

2.6.3 Procesos de Transporte, Deposición y Arrastre de Sedimentos en HSPF 20

2.7 Análisis de Sensibilidad Global (ASG) Utilizando Simulación Monte Carlo (MCS) 26

Capítulo 3: Descripción del Área de Estudio 29

3.1 Suelos 30

3.2 Usos de Terreno 32

Capítulo 4: Metodología 33

4.1 Descripción de Modelo Utilizado HSPF - BASINS 3.1 33

4.2 Desarrollo del Modelo 34

4.2.1 Delineación de las Subcuencas 34

4.2.2 Usos de Terreno 37

4.2.3 Suelos 38

4.2.4 Datos Hidrometeorológicos 40

4.2.5 Desarrollo del Modelo en HSPF 43

4.3 Análisis de Sensibilidad de HSPF Utilizando Análisis de Sensibilidad Global (ASG) 46

4.3.1 Selección de los Parámetros a ser Evaluados 47

4.3.2 Generación de la Muestra Aleatoria de los Parámetros Seleccionados para el ASG 50

4.3.3 Análisis de Incertidumbre (AI) 50

4.3.4 Análisis de Sensibilidad en SimLab(AS) 51

4.4 Calibración y Validación del Modelo 54

Capítulo 5: Resultados y Discusión 63

5.1 Análisis de Sensibilidad 63

5.1.1 Análisis de Sensibilidad Preliminar 63

5.1.2 Análisis de Incertidumbre 65

5.1.3 Análisis de Sensibilidad en SimLab 73

5.2 Calibración Hidrológica 77

5.3 Validación Hidrológica 91

5.4 Calibración de Transporte de Sedimentos 101

5.5 Validación de Transporte de Sedimentos 108

5.6 Coeficientes de Exportación de Sedimentos, para los Diferentes Usos de Terreno en la Cuenca del Río Grande de Arecibo 111

5.6.1 Coeficientes de Exportación de Sedimentos Obtenidos para la Cuenca del Río Grande de Arecibo 110

5.6.2 Relación entre los Coeficientes de Exportación de Sedimentos Obtenidos y las Características de las Subcuencas del Río Grande de Arecibo 114

5.6.3 Coeficientes de Exportación de Sedimentos y Tolerancia a Pérdidas de Suelo en la Cuenca del Río Grande de Arecibo 116

5.6.4 Impacto del Uso de Terreno en la Cantidad Erosión del Suelo y la Carga de Sedimentos en los Ríos en la Cuenca del Río Grande de Arecibo 116

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones 120

Referencias 124

Apéndices 133

Lista de Tablas

		Pág.
Tabla 3.1	Distribución de series de suelo en la cuenca del Río Grande de Arecibo.	31
Tabla 4.1	Estaciones utilizadas para los puntos de salida de las subcuencas.	35
Tabla 4.2	Usos de terreno definidos en la cuenca del Río Grande de Arecibo.	38
Tabla 4.3	Distribución de suelos en la cuenca del Río Grande de Arecibo.	39
Tabla 4.4	Estaciones y periodos de monitoreo.	42
Tabla 4.5	Parámetros hidrológicos utilizados en el análisis de sensibilidad.	49
Tabla 4.6	Parámetros de transporte de sedimentos utilizados en el análisis de sensibilidad.	49
Tabla 4.7	Estaciones de monitoreo y periodos de calibración utilizados.	57
Tabla 4.8	Acumulación de sedimentos en el Lago Dos Bocas.	58
Tabla 4.9	Acumulación de sedimentos en el Lago Caonillas.	58
Tabla 4.10	Estaciones de monitoreo y periodos de validación utilizados.	59
Tabla 5.1	Resultados del análisis de sensibilidad para parámetros hidrológicos.	63
Tabla 5.2	Resultados del análisis de sensibilidad para parámetros de transporte de sedimentos.	65
Tabla 5.3	Rango de valores y distribución utilizada para los parámetros hidrológicos y de transporte de sedimentos.	67
Tabla 5.4	Parámetros utilizados en la simulación del Río Yunes para comparar los resultados del análisis de incertidumbre (Modelo preestablecido).	68
Tabla 5.5	Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio diario durante el periodo de calibración.	81
Tabla 5.6	Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio mensual durante el periodo de calibración.	82
Tabla 5.7	Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio diario durante el periodo de validación.	92
Tabla 5.8	Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio mensual durante el periodo de validación.	93
Tabla 5.9	Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio diario durante el periodo de calibración.	103
Tabla 5.10	Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio mensual durante el periodo de calibración.	104
Tabla 5.11	Acumulación de sedimentos en el Lago Caonillas.	106

Tabla 5.12 Acumulación de sedimentos en el Lago Dos Bocas. 106

Tabla 5.13 Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio diario durante el periodo de validación. 109

Tabla 5.14 Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio mensual durante el periodo de validación. 110

Tabla 5.15 Valores de coeficientes de exportación de sedimentos encontrados para la cuenca del Río Grande de Arecibo. 111

Tabla 5.16 Comparación de los coeficientes de exportación de sedimentos reportados en otros estudios y este estudio. 113

Tabla 5.17 Características hidrogeomorfólogicas de las subcuencas. 114

Tabla 5.18 Distribución porcentual de usos de suelos en las subcuencas. 117

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 2.1	Procesos del ciclo hidrológico simulados en HSPF.	11
Figura 2.2	Determinación de infiltración e interflujo (Tomada de Bicknell, *et al*., 1996).	12
Figura 2.3	Procesos de erosión (Tomada de Bicknell, *et al*., 1996).	16
Figura 2.4	Diagrama de flujo del módulo SEDMNT de HSPF (Tomado de Bicknell, *et al*., 1996).	17
Figura 2.5	Diagrama de flujo del módulo SEDTRN de HSPF (Tomado de Bicknell, *et al*., 1996).	21
Figura 3.1	Localización del área de estudio.	29
Figura 4.1	Delimitación de la cuenca en WMS.	36
Figura 4.2	Subcuencas delimitadas para la simulación en HSPF.	37
Figura 4.3	Distribución de usos de terreno en el área de estudio.	39
Figure 4.4	Distribución de grupos hidrológicos de suelos en el área de estudio.	40
Figura 4.5	Estaciones de monitoreo de flujo y sedimentos en el área de estudio.	41
Figura 4.6	Árbol hidrológico generado por BASINS-HSPF.	43
Figura 4.7	Descripción del comportamiento hidráulico de los ríos y lagos simulados en el modelo desarrollado.	44
Figura 4.8	Segmentación de estaciones pluviométricas en las subcuencas del modelo.	46
Figura 5.1	Distribución de los flujos simulados por el modelo HSPF para la cuenca del Río Yunes de Octubre de 2001 a Septiembre de 2002	68
Figura 5.2	Distribución de las concentraciones de sedimentos simulados por el modelo HSPF para el Río Yunes de Octubre de 2001 a Septiembre de 2002.	70
Figura 5.3	Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para flujos simulados por el modelo preestablecido.	71
Figura 5.4	Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para flujos observados.	71
Figura 5.5	Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para concentración de sedimentos suspendidos simulados por el modelo preestablecido.	72
Figura 5.6	Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para concentración de sedimentos suspendidos observados.	73
Figura 5.7	Coeficiente de correlación producto-momento (PEAR).	74
Figura 5.8	Coeficiente de correlación de Spearman (SPEA).	75
Figura 5.9	Coeficiente de correlación parcial (PCC).	75

Figura 5.10 Coeficiente de correlación parcial del rango (PRCC). 76

Figura 5.11. Coeficiente de regresión estandarizado (SRC). 76

Figura 5.12 Coeficiente de regresión estandarizado del rango (SRRC). 77

Figura 5.13 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 83

Figura 5.14 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 84

Figura 5.15 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998). 84

Figura 5.16 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998). 85

Figura 5.17. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998). 85

Figura 5.18 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998). 86

Figura 5.19. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 86

Figura 5.20. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 87

Figura 5.21 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 87

Figura 5.22 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 88

Figura 5.23 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 88

Figura 5.24 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 89

Figura 5.25 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de calibración (Octubre de 1996 a Septiembre de 1998). 89

Figura 5.26 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de calibración (Octubre de 1996 a Septiembre de 1998). 90

Figura 5.27 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50022810 Río Viví, subcuenca 7. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 90

Figura 5.28 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50022810 Río Viví, subcuenca 7. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001). 91

Figura 5.29 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 94

Figura 5.30 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 94

Figura 5.31 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002). 95

Figura 5.32 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002). 95

Figura 5.33 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002). 96

Figura 5.34 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002). 96

Figura 5.35 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 97

Figura 5.36 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 97

Figura 5.37 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 98

Figura 5.38 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 98

Figura 5.39 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 99

Figura 5.40 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado. USGS 50021700 Río Grande de Arecibo subcuenca 3. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002). 99

Figura 5.41 Flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de validación (Octubre de 1999 a Septiembre de 2002). 100

Figura 5.42 Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de validación (Octubre de 1999 a Septiembre de 2002). 100

Figura 5.43 Acumulación de sedimentos en el fondo del lecho de los Lagos Caonillas y Dos Bocas. 108

Figura 5.44 Impacto del aumento de usos de terreno agrícola sobre la carga de sedimentos en el Río Caonillas. 118

Figura 5.45 Impacto de la reducción de usos de terreno agrícola sobre la carga de sedimentos en el Río Caonillas. 119

Lista de Apéndices

		Pág.
Apéndice 1	Tabla de atributos para las coberturas.	133
Apéndice 2	Rango de valores para parámetros hidrológicos en HSPF.	135
Apéndice 3	Matriz de parámetros aleatorios generados en simlab.	136
Apéndice 4	Datos de salida del modelo, para la muestra de parámetros aleatorios.	138
Apéndice 5	Resultados del análisis de incertidumbre.	139
Apéndice 6	Parámetros hidrológicos calibrados para HSPF.	143
Apéndice 7	Parámetros de transporte de sedimentos calibrados para HSPF.	161
Apéndice 8	Secciones transversales de las estaciones de aforo.	182
Apéndice 9	Archivo UCI de HSPF.	185

Lista de Abreviaturas

ARM	Agricultural Runoff Management Model
BASINS	Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources
DEM	Digital Elevation Model
E	Porcentaje de Error
EUROSEM	European Soil Erosion Model
HSP	Hydrocomp Simulation Program
HSPF	Hydrological Simulation Program Fortran
MAE	Mean Absolute Error
NGVD 29	National Geodetic Vertical Datum 1929
NPS	Nonpoint Source Pollutant Loading Model
NRCS	Natural Resources Conservation Services
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency
PCC	Partial Correlation Coefficients
PEAR	Pearson Product Moment Correlation Coefficient
PRCC	Partial Rank Correlation Coefficients
R	Coeficiente de Correlación
R^2	Coeficiente de Determinación
RMSE	Root Mean Squered Error
SCS	Soil Conservation Services
SIG	Sistema de Información Geográfico
SERATRA	Instream Sediment Contaminant Transport Model
SPEA	Spearman Coefficient
SRC	Standardised Regression Coefficients
SSURGO	Soil Survey Geographic Database Base
SRRC	Standardised Rank Regression Coefficients
TMDL	Total Maximum Daily Load
UCI	User Control Input
USDA	United States Department of Agricultural
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USGS	United States Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM NAD27	Universal Transverse Mercator North American Datum 1927
WDM	Weather Data Management
WEPP	Water Erosion Prediction Project
WMS	Watershed Modeling System

Los modelos están resaltados en negrita

Capítulo 1

Introducción

Puerto Rico, comparado con otras islas del Caribe, tiene una excelente disponibilidad de agua durante casi todo el año debido principalmente a su posición geográfica en relación a los vientos alisios y su orografía. Los vientos que llegan a la isla tras recorrer extensiones oceánicas, están cargados de humedad, al encontrarse con el sistema montañoso central de la isla, estos vientos descargan su humedad en forma de lluvia. El continuo desarrollo urbano e industrial, está impermeabilizando las áreas de captación de las cuencas hidrográficas. Esto último produce aumentos en el flujo pico del hidrograma de escorrentía y la capacidad erosiva de este flujo. Como consecuencia de esto, existe un mayor riesgo, tanto de erosión del suelo en la cuenca, como de deposición en los embalses de almacenamiento de agua.

Al igual que el resto de los territorios de Estados Unidos, Puerto Rico debe cumplir con los estándares de calidad de aguas establecidos por la ley de agua limpia y más específicamente con el programa de Cargas Máximas Totales Diarias (TMDL, por sus siglas en ingles) que implementa la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency USEPA, 1999) para aquellos cuerpos de agua incluidos en la sección 303d de esta ley. En Puerto Rico no se han establecido estos estándares, pero se espera que en un futuro sean establecidos por la USEPA.

Para cumplir estos estándares y con el proceso de TMDL para sedimentos, es necesario conocer como los diferentes usos de terreno producen y permiten el transporte sedimentos a los cuerpos de agua afectados. Los coeficientes de exportación de sedimentos establecen la cantidad de sedimentos aportados por cada uso de terreno en unidades de masa por unidad de área para un determinado intervalo de tiempo. Una vez determinado los coeficientes de exportación se puede asignar cargas permisibles a cada tipo de uso de terreno. Este proceso resulta ser complejo y conlleva el planteamiento de múltiples escenarios para

determinar la posible distribución de valores de coeficientes de exportación de la cuenca estudiada (Reckhow et al., 1980).

El presente estudio está dirigido a la cuenca hidrográfica del Río Grande de Arecibo debido a su importancia como fuente de agua potable para la zona norte y el área metropolitana de San Juan, Puerto Rico y por la existencia de varios lagos interconectados que están siendo impactados por la erosión del suelo y la sedimentación (PRASA, 1995).

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS) ha calculado los aportes de sedimentos suspendidos en las diferentes estaciones de monitoreo presentes en la cuenca del Río Grande de Arecibo, estos varían desde 672 ton/mi²-año en el Río Pellejas, hasta 3560 ton/mi²-año en el Río Yunes (USGS, 2004b).

Aunque la determinación de las cantidades totales de sedimentos exportados resulta importante para determinar los aportes de cada subcuenca, estos no permiten asignar las cargas aportadas por cada uno de los usos de terreno presentes en estas. La cantidad total de sedimentos exportados por cada una de las subcuencas dentro de una cuenca, presentan alta variabilidad atribuida a diferencias en la distribución espacial de los diferentes usos de terreno, y a las propiedades geomorfológicas de cada una de las subcuencas. Asignar cargas de exportación de sedimentos para cada uno de los diferentes usos de terreno, permite identificar las áreas que presentan mayores aportes de sedimentos. Determinando las cargas de exportación de sedimentos se pueden crear planes de manejo que minimicen el aporte de sedimentos a los cuerpos de agua.

Para Puerto Rico, Gellis *et al.* (1999) establecieron valores de coeficientes de exportación para diferentes usos de terreno en la cuenca del Lago Loiza, calculando los aportes de sedimentos para cada uso particular del suelo, lo cual permitió identificar las áreas que más contribuían a la sedimentación del

Lago Loiza. Las áreas dedicadas a la agricultura y terrenos sin cobertura, presentaron las mayores contribuciones de sedimentos por unidad de área en esta cuenca. Durante los últimos años, los estudios para la determinación de coeficientes de exportación de sedimentos se han incrementado, principalmente en cuencas de los Estados Unidos, con el fin de determinar las cargas máximas de sedimentos y cumplir con los estándares de USEPA (1999).

Determinar los coeficientes de exportación de sedimentos para los distintos usos de terreno en la cuenca del Río Grande de Arecibo, permitirá desarrollar mejores planes de manejo que permitan mejorar la calidad de aguas, para cuencas con características hidrológicas y edáficas particulares de ecosistemas tropicales.

Siguiendo este pensamiento, el objetivo general del presente trabajo es:

- Entender a partir de la simulación hidrológica, cómo los diferentes usos de terreno, aportan sedimentos hacia los cuerpos de agua, en la cuenca del Río Grande de Arecibo, con el fin de establecer posibles planes de manejo en la cuenca que lleven a mejorar la calidad de agua.

Igualmente, los objetivos específicos son:

- Desarrollar una metodología para calibrar mediante análisis de sensibilidad global, el modelo de simulación **HSPF** en la cuenca del Río Grande de Arecibo.
- Evaluar los coeficientes de exportación de sedimentos generados mediante un modelo calibrado y validado con valores publicados en la literatura.

Capítulo 2

Revisión de Literatura

2.1 Modelos Hidrológicos

La hidrología se encuentra asociada con la dinámica, distribución y almacenamiento de humedad. La simulación hidrológica es la representación mediante modelos matemáticos, de uno o más procesos del ciclo hidrológico. En el sistema hidrológico terrestre, la precipitación, la evaporación y la escorrentía, son los principales procesos, los cuales se encuentran relacionados con el transporte de humedad de una parte del ciclo a otro (Singh, 1988a). Los modelos hidrológicos son herramientas que permiten abordar soluciones a problemas de calidad y cantidad de agua. Estos modelos, pueden predecir y determinar parámetros hidrológicos, que permiten el buen uso de los recursos hídricos (Haan *et al.*, 1982).

La evaluación de los modelos hidrológicos se realiza en tres dominios, tiempo, espacio y frecuencia. Los modelos hidrológicos pueden ser clasificados como modelos formales, ya que utilizan métodos matemáticos y representaciones físicas del sistema. Los modelos hidrológicos, están compuestos generalmente por tres elementos básicos, ecuaciones que rigen los procesos hidrológicos, mapas que definen el área de estudio y una base de datos numérica que describe el área de estudio y sus parámetros. Estos elementos se combinan para obtener los resultados requeridos por el modelo (Maidment, 1993).

2.2 Desarrollo de Modelos de Simulación Hidrológica

La evolución de los modelos de simulación hidrológica ha presentado una tendencia que se puede dividir en tres periodos: modelos basados en una “función céntrica”, los cuales son modelos autónomos basados en sus propios datos, modelos de manejo de bases de datos y modelos apoyados por Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Maidment, 1993). Todini (1988), citado por Fedak (1999), estableció que

la utilización de modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía, comenzó a desarrollarse en la segunda mitad del siglo XIX con el propósito de determinar descargas de diseño en sistemas de alcantarillado.

Durante la década de 1950 los hidrólogos comenzaron a desarrollar lo que se conoce como "modelos conceptuales". En los años 60 estos modelos comenzaron a ser utilizados con computadoras (Bedient y Huber, 1992, citados por Fedak, 1999), aumentando su capacidad computacional y permitiendo la incorporación posterior de bases de datos relacionales y sistemas de información geográfica.

2.3 Modelos de los Procesos de Erosión del Suelo

La erosión y sedimentación producida por el agua, comprende procesos de disgregación, transporte y deposición de las partículas del suelo producidos por el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y la escorrentía (Hann *et al*., 1982).

En la década de 1930, Cook (1936) realizó investigaciones pioneras para la comprensión del proceso de erosión del suelo causados por el agua, identificando las principales variables involucradas en el proceso. Pocos años después, Zingg (1940) publicó la primera ecuación para calcular pérdidas de suelo causadas por erosión, la cual describía matemáticamente los efectos de la pendiente sobre la erosión. Smith (1941) agregó factores de cultivo y prácticas de conservación a la ecuación de Zingg. Este preparó además tablas con valores para estos factores en diferentes suelos, cultivos y pendientes (Renard, *et al*., 1996).

Para 1946, la oficina del Servicio de Conservación de Suelos (SCS - Soil Conservation Service) del USDA (United States Department of Agriculture) en Wisconsin, desarrolló un método adaptado para la ecuación de pérdida de suelo para la zona productora de maíz en los Estados Unidos. Un equipo de

investigadores trabajó adaptando los factores de la ecuación para todo Estados Unidos e incluyeron factores para determinar la influencia de la lluvia sobre la erosión del suelo. El resultado de estas investigaciones fue la ecuación de Musgrave (1947) que incluía factores de lluvia, características del flujo en la superficie, propiedades del suelo y efectos de la cobertura vegetal (Renard, *et al*., 1996).

La ecuación de Musgrave fue utilizada por más de 10 años hasta ser reemplazada por la ecuación universal de pérdida de suelo (Universal Soil Loss Equation – **USLE**), desarrollada Wischmeier (1959). Wischmeier y Smith (1965) publicaron el manual de agricultura 282. Posteriormente y como resultado de mayores estudios y datos experimentales publicaron el manual de agricultura 537 (Wischmeier y Smith, 1978). Meyer y Wischmeier (1969) además, junto con Negev (1967), incluyeron los algoritmos componentes de erosión del suelo a Stanford Watershed Model, predecesor de **HSPF**.

Diversos modelos de erosión, han sido desarrollados utilizando la ecuación **USLE**. Algunos de los modelos creados a partir de **USLE** en diversas regiones del mundo son: **SLEMSA** (Soil Loss Estimation Model for South Africa) en Sudáfrica (Elwell, 1981), **INDEROSI** en Indonesia (Gnagey, 1991) y **SOILOSS** desarrollado en Australia (Rosewell, 1993).

Para 1980, Foster y sus colaboradores desarrollaron un modelo de erosión semi-empírico llamado **CREAMS** (Foster *et al.,* 1981). Durante esta misma época fue creado el modelo **EUROSEM** (European Soil Erosion Model) desarrollado en Europa. A finales de los años 70's fue creado **ANSWERS** para determinar las exportación de sedimentos en cuencas (Beasley *et al*., 1980).

En 1985, el USDA junto con el Servicio de Investigación de Agricultura (ARS Agricultural Research Service), el Servicio de Conservación de Suelos, el Servicio Forestal y el Negociado de Usos de Suelo de los Estados Unidos iniciaron el proyecto denominado **WEPP** (Water Erosion Prediction Project). El objetivo del proyecto **WEPP** fue desarrollar una nueva tecnología de predicción de erosión

basada en el conocimiento de los procesos de erosión, la cual permitiera reemplazar la **USLE** por un método más versátil aplicable a un rango más amplio de posibilidades (Renard, *et al*., 1996).

2.4 Utilización de Modelos de Simulación Hidrológica en Calidad de Aguas

En la década de 1970, las regulaciones establecidas por las sección 208 de la enmienda del acta federal de control de contaminación de aguas de 1972 de los Estados Unidos, permitió el desarrollo y uso de modelos de computadora con el fin de evaluar planes a largo plazo para manejo de cuencas hidrográficas (Donigian, 1995). Esta reglamentación promovió el desarrollo de modelos de simulación hidrológica principalmente para plaguicidas y otros contaminantes provenientes de fuentes dispersas.

El desarrollo de modelos de simulación hidrológica permitió evaluar los cambios producidos por futuras condiciones y respuestas en las cuencas, con el fin de evaluar planes de manejo en estas. De acuerdo con Donigian (1995) algunos de los beneficios con el usos de modelos de simulación para calidad de aguas, son: determinar las cargas máximas totales diarias (TMDLs), evaluar los efectos de las prácticas de manejo en agricultura sobre la erosión, evaluar el efecto de plaguicidas y nutrientes sobre las aguas subterráneas y el aire, evaluar los efectos de actividades de remediación, evaluación de riesgos de áreas protegidas y permitir el diseño de redes de muestreo de calidad de aguas.

Gran parte de los modelos hidrológicos de calidad de aguas han sido desarrollados para simular independientemente la escorrentía urbana, escorrentía en áreas no urbanas y cuerpos receptores de aguas. La cantidad de modelos que incluyen estos tres componentes en un solo modelo, permitiendo el análisis comprensivo de toda la cuenca, es limitada. Uno de los modelos que realiza la simulación de la cuenca dentro de un solo marco permitiendo lo que se conoce como “Modelación Integrada de Cuencas”, es **HSPF** (Hidrological Simulation Program-Fortran). **HSPF** permite la simulación hidrológica y de calidad de aguas, integrando la simulación de procesos de contaminantes en la escorrentía, con el flujo de entrada

a las cuerpos de agua, temperatura del agua, transporte de sedimentos y nutrientes, e interacciones sedimentos-químicos (Donigian, 1995).

2.5 Uso de SIG en Simulación Hidrológica

Durantes los últimos años, el interés en utilizar sistemas hidrológicos distribuidos se ha incrementado, razón por la cual el uso de SIG ha permitido el análisis espacial distribuido en el área de captación (Macdonnell, 1996, citado por Leigh, 1997). Maidment (1993) sugiere un esquema para clasificar el uso de SIG en hidrología:

- Inventario Hidrológico. El SIG es usado para establecer información, que se obtendría de mapas en papel.

- Determinación de parámetros hidrológicos. El SIG es usado para modelar parámetros.

- SIG y modelos hidrológicos acoplados. Presentan dos componentes, el hidrológico y SIG, los cuales no comparten la misma base de datos.

- SIG y modelos hidrológicos integrados. El SIG y el componente hidrológico, comparten la misma base de datos.

Para 1996 y con el fin de hacer más fácil el manejo de la gran cantidad de datos requeridos por **HSPF**, la USEPA desarrolló un sistema de manejo y almacenamiento de datos el cual acopló un SIG a modelos de simulación. Esto permitió establecer las características fisiográficas de las cuencas y otros datos de entrada del modelo. Este sistema fue llamado - Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources - **BASINS** (USEPA, 2004). Durante el verano de 2004 la versión 3.1 fue distribuida por USEPA (2004), para mediados de 2006 se espera la versión 4.0 la cual permitirá el uso de **ArcGIS** 8 (Duda *et al*. 2005).

2.6 Descripción de HSPF

HSPF surge de Stanford Watershed Model. Durante la década de 1960 Crawford y Linsley (1966) crearon **HSP** Hydrocomp Simulation Program, el cual incluía elementos para simulación de calidad de aguas. A principios de la misma década se desarrollaron otros modelos incorporados a **HSP**. Estos eran, el **ARM** (Agricultural Runoff Management Model) y el **NPS** (Nonpoint Source Pollutant Loading Model) (Bicknell *et al.,* 1996).

Debido a que el programa **HSP** presentaba algunas limitaciones en el manejo de datos, la USEPA comisionó a Hydrocomp Inc. en 1976 para desarrollar un programa en Fortran que incluyera los módulos usados por **HSP**. Como resultado de esto surge **HSPF**. El paquete que usamos actualmente es una versión actualizada de estos trabajos originales de Hydrocomp Inc. (Bicknell *et al.,* 2001).

HSPF es un modelo de simulación continua el cual fue creado para simular procesos de cantidad y calidad de agua. Está clasificado como un modelo agregado, el cual puede reproducir variabilidad espacial por subdivisión en áreas hidrológicamente homogéneas y simular cada área por separado (Bicknell *et al.,* 1996).

El modelo **HSPF** combina atributos físicos de la cuenca distribuidos espacialmente, dentro de unidades de respuesta hidrológica (HRU). Cada una de estas responde a datos meteorológicos (precipitación, evapotranspiración, temperatura) y factores de capacidad de almacenamiento (intercepción, retención superficial, y retención de humedad del suelo) (Johnson *et al*., 2003). La escorrentía es simulada con procesos de exceso de escorrentía y los datos de salida como flujo representan la respuesta de cada HRU a la precipitación y al transporte de agua hacia el canal.

HSPF es un modelo complejo. Sin embargo, su estructura modular permite aislar sus elementos de otros módulos (Wang *et al.,* 1999). Hidrológicamente, **HSPF** considera dos segmentos, segmentos de terreno (permeable e impermeable) y el cuerpo de agua. Las fronteras son establecidas de acuerdo a las necesidades. Por lo general un segmento presenta características hidrológicas similares. En segmentos que permiten infiltración (permeables), **HSPF** simula el movimiento de agua en tres componentes: escorrentía, interflujo y flujo de agua subterránea. Cada uno de estos presenta diferencias en tiempo e interacción con los componentes del agua. Los procesos que ocurren en segmentos impermeables son también simulados. Ejemplo de esto es que, aunque no existe infiltración, existe la precipitación, el aumento del flujo y la evaporación.

Los procesos hidráulicos y de calidad de agua que ocurren en el río, son simulados por el método de embalses múltiples. Una versión del modelo de onda cinemática es utilizada para esto (Bicknell *et al.,* 2001).

2.6.1 Procesos Hidrológicos en HSPF

Los procesos hidrológicos en **HSPF** son simulados por el módulo *PWATER*. La Figura 2.1 presenta los diferentes procesos hidrológicos simulados en **HSPF**, los datos de precipitación, evapotranspiración y evaporación, son suministrados al modelo, este simula procesos superficiales como, intercepción, escorrentía y almacenamiento superficial, así mismo procesos subsuperficiales como interflujo, infiltración e interacciones con el acuífero. Los algoritmos de simulación del módulo *PWATER* están basados en el módulo *LAND,* un subprograma de Stanford Watershed Model IV y los modelos **ARM** y **NPS** (Crawford y Linsley, 1966).

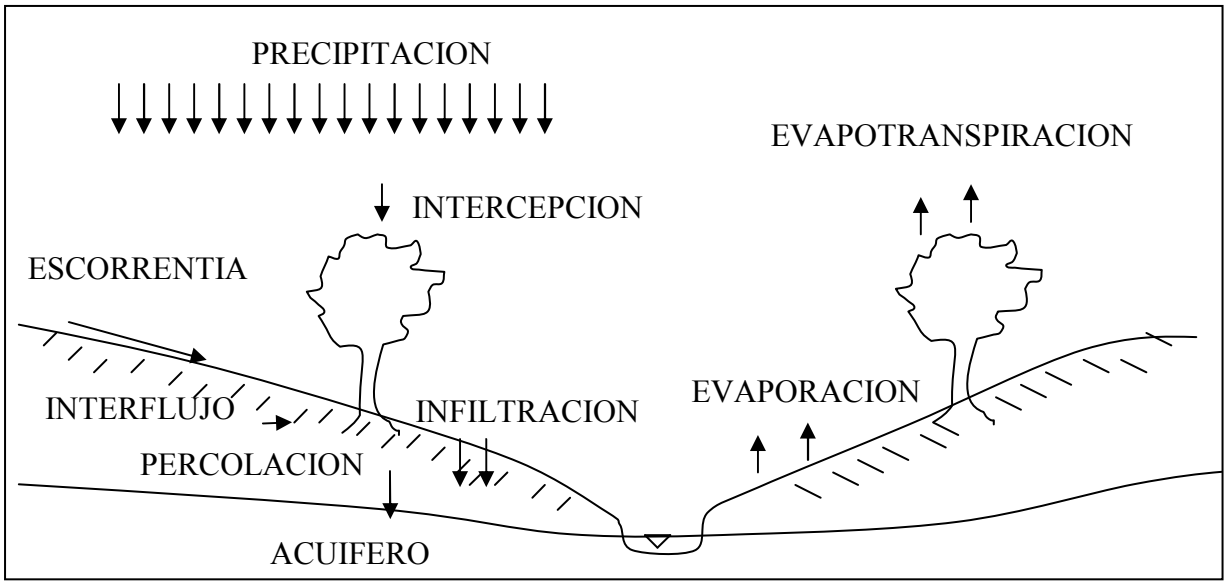


Figura 2.1. Procesos del ciclo hidrológico simulados en HSPF.

Para el balance de agua, **HSPF** considera procesos de precipitación (*P*), evaporación (*E*), flujo inactivo hacia el agua subterránea (*IG*) y cambio en el almacenamiento de humedad del suelo *ΔS.* La escorrentía superficial (*R*) es calculada mediante la ecuación:

$$R = P - E - IG - \Delta S \tag{2.1}$$

Estos parámetros se encuentran interrelacionados y presentan variaciones en el tiempo, que dependen de las condiciones del suelo, cobertura, condiciones antecedentes y prácticas de manejo (Aqua Terra Consultants, 2004d).

El módulo *PWATER* de **HSPF**, se encuentra dividido en 7 submódulos que simulan los diferentes procesos del ciclo hidrológico. El Módulo *ICEPT* se encarga de simular la intercepción de la lluvia por parte de la cobertura vegetal. El agua excedida queda disponible para la simulación de los procesos de infiltración y escorrentía, el agua almacenada en intercepción es removida mediante el módulo de simulación de evapotranspiración. *SURFAC* es el módulo encargado de los procesos de infiltración y

escorrentía; el proceso de infiltración depende de la humedad del suelo y se encuentra basado en los trabajos de Philips (1957):

$$IBAR = INFFAC * \frac{INFILT}{\left(LZS/LZSN\right)^{INFEXP}} \tag{2.2}$$

donde

$$IMAX = INFILD * IBAR \tag{2.3}$$

$$IMIN = IBAR - (IMAX - IBAR) \tag{2.4}$$

$$RATIO = INTFW * (2.0^{\left(LZS/LZSN\right)}) \tag{2.5}$$

donde *IBAR* representa la infiltración promedio sobre el suelo (pulg/intervalo); *INFILT* es un parámetro de la infiltración (pulg/intervalo), *LZS* es el almacenamiento en la zona mas baja (pulg), *LZSN* es el parámetro para el almacenamiento nominal en la zona mas baja, *INFEXP* es el exponente de la ecuación el cual debe ser mayor de uno (1), *INFFACC* es el factor para cuantificar los efectos del congelamiento, *IMAX* la máxima capacidad de infiltración (pulg/intervalo), *INFILD* es la relación de infiltración máxima y promedio, *IMIN* es la infiltración mínima (pulg/intervalo), *RATIO* es la relación de las ordenadas de las líneas II y I (Figura 2.2), e INTFW es el parámetro de entrada del interflujo.

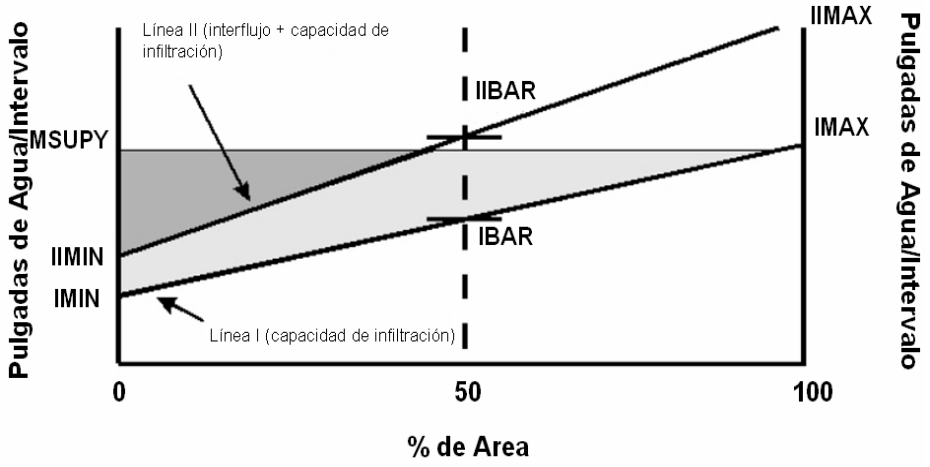


Figura 2.2. Determinación de infiltración e interflujo (Tomada de Bicknell, *et al.*, 1996).

El módulo *INTFLW* es el encargado de simular los procesos de interflujo. Representa gran importancia cuando existen capas poco permeables que retardan los procesos de percolación profunda, lo cual afecta la forma del hidrograma de salida. Los algoritmos de **HSPF** consideran una relación lineal de almacenamiento. El flujo de salida por lo tanto, es función del parámetro de recesión, entrada de flujo y almacenamiento. La descarga del interflujo es calculada mediante la siguiente expresión:

$$IFWO = (IFWK1 * INFLO) + (IFWK2 * IFWS) \tag{2.6}$$

donde *IFWO* es la descarga del interflujo (pulg/intervalo), *INFLO* es la entrada de flujo al almacenamiento del interflujo (pulg/intervalo), y *IFWS* es el almacenamiento del interflujo al inicio del intervalo. Las variables *IFWK1* e *IFWK2* son determinadas por:

$$IFWK1 = 1 - \left(\frac{IFWK2}{KIFW} \right) \tag{2.7}$$

$$IFWK2 = 1 - e^{-KIFW} \tag{2.8}$$

La variable *KIFW* esta dada por:

$$KIFW = a\log(IRC)\frac{DELT60}{24} \tag{2.7}$$

donde *IRC* es el parámetro de recesión del interflujo, *DELT60* numero de horas por intervalo, *24* es el número de horas por día y *alog* es el logaritmo natural.

El módulo *UZONE* calcula la cantidad de agua que percola de la zona superficial, el agua restante queda disponible para procesos de evapotranspiración. La percolación es calculada usando la siguiente expresión:

$$PERC = 0.1\ \ INFILT * \ INFFAC\ \ * UZSN\ \ *(UZRAT - LZRAT)^3 \qquad (2.8)$$

donde *PERC* es la percolación de la zona superior del suelo, *INFILT* parámetro de infiltración, *UZSN* es el parámetro para el almacenamiento en la zona superior, *UZRAT* la fracción que pasa de la zona superior a la zona baja, y *LZRAT* es la relación de almacenamiento de la zona superior e inferior. El agua que percola hacia las zonas bajas del perfil del suelo y es calculada por el módulo *LZONE*. El agua que entra a la zona baja es determinada con la ecuación:

$$LZFRAC = 1 - LZRAT * \ (1 / (1 + INDX))^{INDX} \qquad (2.9)$$

donde $LZRAT = LZS/LZSN$ e *INDX* esta dado por:

$$INDX = 1.5*ABS(LZRAT - 1.0) + 1.0 \qquad (2.10)$$

El agua que percola hacia el acuífero es determinada por *GWATER*, las ecuaciones usadas son las siguientes:

$$AGWO = KGW * (1 + KVARY * GWVS) * AGWS \qquad (2.11)$$

AGWO representa la descarga del acuífero (pulg/intervalo), *KGW* parámetro de recesión de descarga del acuífero, *KVARY* parámetro para almacenamiento y descarga no lineal, *GWVS* índice para la pendiente del acuífero, y AGWS es el almacenamiento en el acuífero al empezar el intervalo (pulg).

Finalmente, el módulo *EVAPT* se encarga de simular los procesos de evapotranspiración. Este módulo se encuentra dividido en varios submódulos: *ETBASE* para evapotranspiración en flujos base, *EVICEP* para simular procesos de evapotranspiración del agua almacenada en la intercepción, *ETUZON*

para la evapotranspiración en la zona superior del suelo, *ETAGW* para la evapotranspiración directa del agua subterránea, y *ETLZON* para la evapotranspiración de las zonas bajas del perfil.

2.6.2 Procesos de Producción y Transporte de Sedimentos en HSPF

La Figura 2.3 presenta el esquema de los procesos de erosión simulados por **HSPF**. El modelo simula producción y remoción de sedimentos causados por la lluvia mediante procesos de lavado, arrastre y separación de las partículas del suelo. Esta separación es causada por los efectos combinados de la lluvia, uso de terreno, prácticas del manejo del suelo y propiedades del suelo. El módulo *SEDMNT* del modelo se encarga de simular estos procesos.

Las ecuaciones utilizadas por el modelo para la producción de sedimentos están basadas en los modelos originales de **ARM** y **NPS** (Donigian y Crawford, 1976), que a su vez incluyen modificaciones de las ecuaciones de erosión desarrolladas por Negev (1967), y que también son influenciadas por los trabajos de Meyer y Wischmeier (1969) y Onstad y Foster (1975). En estos modelos, muchos de los parámetros fueron derivados de la ecuación universal de pérdida de suelo **USLE** (Wischmeier y Smith, 1978) la forma general de esta ecuación es:

$$A = R * K * L * S * C * P \tag{2.12}$$

donde A representa el promedio anual de pérdida de suelo, en unidades de masa por unidades de tiempo. R es un factor que determina el potencial promedio de erosión anual causado por la lluvia en unidades de índice de erodabilidad por unidad tiempo, también conocido como índice de erodabilidad de la lluvia. El valor de K ó factor de erodabilidad del suelo, representa el promedio de pérdida de suelo en unidades de masa por unidad de tiempo, por unidades de índice de erodabilidad. Los valores de S y L son factores topográficos, S es el factor de inclinación de la pendiente y L es el factor de longitud de la pendiente

(adimensionales). *C* y *P* representan factores de prácticas de conservación (adimensionales), *C* es el factor de cobertura vegetal y *P* el factor de prácticas de conservación (Vanoni, 1977).

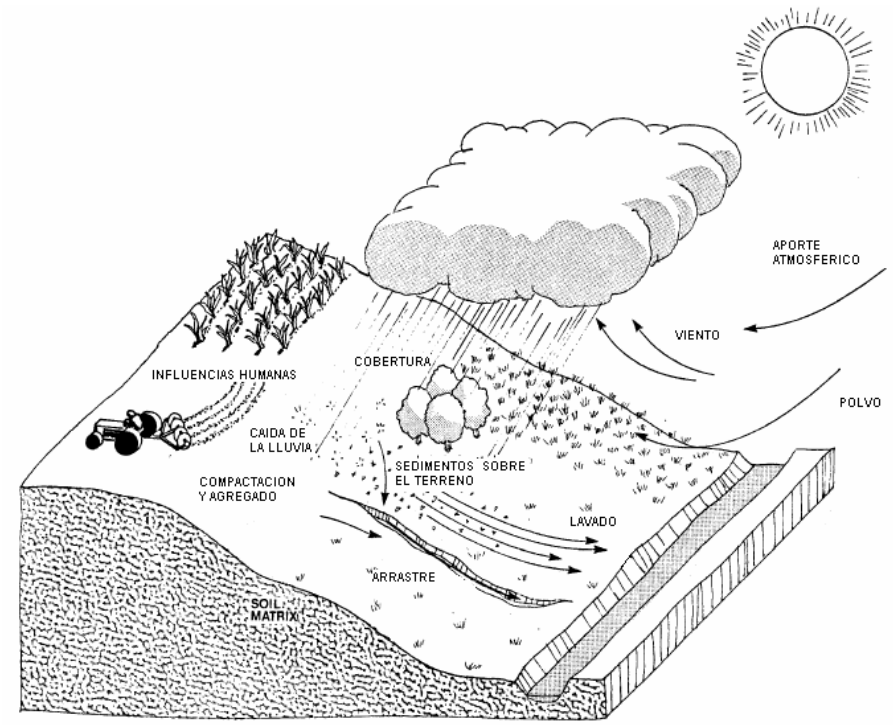


Figura 2.3. Procesos de erosión (Tomada de Bicknell, *et al*., 1996).

El proceso de erosión superficial en el suelo, es simulado en **HSPF** utilizando los parámetros de prácticas de manejo del suelo y el factor de erodabilidad de la lluvia de **USLE**. La ecuación que representa el lavado del suelo fue derivada de la ecuación de Negev (1967).

La Figura 2.4 presenta el esquema de simulación de sedimentos del módulo *SEDMNT* de **HSPF**. Este representa cada uno de los procesos que son simulados por el modelo. Dos de los aportes de sedimentos, el aporte lateral de sedimentos *SLSED* y el aporte vertical de sedimentos *NVSI*, son agregados directamente a los sedimentos separados por la lluvia *DETS*, mientras que los demás aportes son calculados por otras subrutinas del programa.

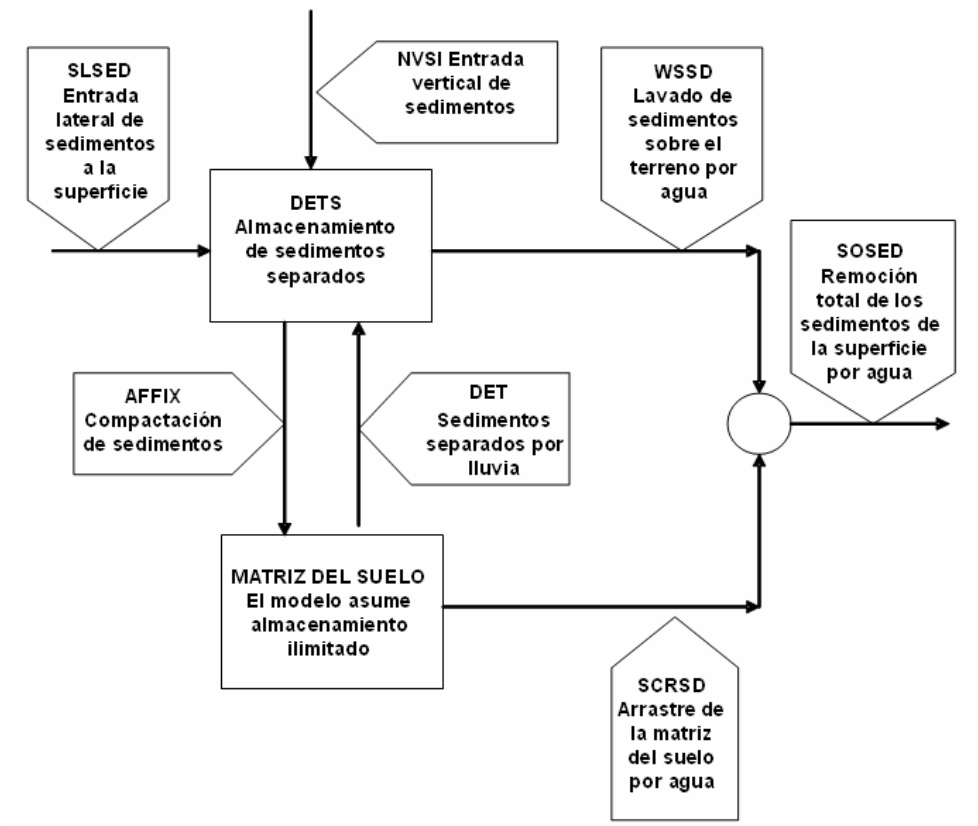


Figura 2.4. Diagrama de flujo del módulo SEDMNT de HSPF (Tomado de Bicknell, *et al.*, 1996).

SLSED representa los aportes de los segmentos ubicados aguas arriba del terreno. *NVSI* representa cualquier aporte o remoción de sedimentos causado por actividades humanas y el viento. El lavado y arrastre de sedimentos del terreno y la matriz del suelo, causados por el agua son simulados por las subrutinas *WSSD* y *SCRSD*, respectivamente. El programa simula además el proceso de agregación de los sedimentos a la matriz del suelo. Este ocurre en días sin precipitación y es simulado con la subrutina *AFFIX*.

El proceso de arrastre y remoción de los sedimentos del suelo es simulado utilizando dos métodos. El primer método usa la subrutina *SOSED1* el cual es idéntico al utilizado en los modelos **ARM** y **NPS**. Sin embargo algunas ecuaciones usadas en este método son dimensionalmente no homogéneas, y fueron

diseñadas para intervalos de 15 – 5 minutos. El segundo método es *SOSED2* el cual es dimensionalmente homogéneo y depende menos del intervalo de tiempo.

La separación de las partículas del suelo por causa de las gotas de lluvia, es simulada mediante la subrutina *DETACH*. La ecuación utilizada, es la siguiente:

$$DET = DELT\,60 * (1.0 - CR) * SMPF * KRER \left(\frac{RAIN}{DELT\,60} \right)^{JRER} \tag{2.13}$$

donde *DET* es la cantidad de sedimentos disgregados de la matriz del suelo por lluvia (ton/acre/intervalo) *DELT60* son las horas por intervalo de tiempo, *CR* la fracción de suelo con algún tipo de cubierta, *SMPF* es el factor de prácticas de manejo, *KRER* el coeficiente de separación del suelo, *RAIN* en la cantidad de lluvia por intervalo de tiempo (pulgadas/intervalo), y *JRER* es el exponente de separación del suelo.

El modelo simula la capacidad de transporte de sedimentos debido a la escorrentía, de acuerdo a la cantidad disponible de estos en el terreno. La capacidad de lavado de sedimentos sobre el terreno, es simulada para *SOSED1* mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{STCAP} = \mathrm{DELT60} * \mathrm{KSER} * \left(\frac{\mathrm{SURS} + \mathrm{SURO}}{\mathrm{DELT60}} \right)^{\mathrm{JSER}} \tag{2.14}$$

donde *STCAP* es la capacidad de lavado de sedimentos (ton/acre/intervalo), *KSER* es el coeficiente de transporte de sedimentos, *SURS* es el almacenamiento de agua en superficie (pulgadas), *SURO* el flujo de salida de agua (pulgadas/intervalo), y *JSER* el exponente para transporte de sedimentos.

Cuando *STCAP* es más grande que la cantidad de sedimentos disponibles, el lavado es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{WSSD} = \mathrm{DETS} * \left(\frac{\mathrm{SURO}}{\mathrm{SURS} + \mathrm{SURO}} \right) \tag{2.15}$$

Si los sedimentos disponibles son suficientes para satisfacer la capacidad de transporte, la siguiente ecuación es utilizada:

$$\mathrm{WSSD} = \mathrm{STCAP} * \left(\frac{\mathrm{SURO}}{\mathrm{SURS} + \mathrm{SURO}} \right) \tag{2.16}$$

donde *WSSD* es el lavado de sedimentos (ton/acre/intervalo), *DETS* son los sedimentos disponibles en el terreno (ton/acre).

El transporte y separación de las partículas de la matriz del suelo, es simulada mediante la ecuación:

$$\mathrm{SCRSD} = \mathrm{DEL60} * \mathrm{KGER} * \left(\frac{\mathrm{SURO}}{\mathrm{SURS} + \mathrm{SURO}} \right) * \left(\frac{\mathrm{SURS} + \mathrm{SURO}}{\mathrm{DELT60}} \right)^{JGER} \tag{2.17}$$

donde *SCRSD* es el arrastre de la matriz del suelo (ton/acre/intervalo), *KGER* es el coeficiente de lavado de la matriz del suelo, y *JGER* es el exponente de lavado de la matriz del suelo.

La suma de *WSSD* y *SCRSD* es el total de sedimentos que sale del terreno. La subrutina *SOSED1* es diferente de *SOSED2* en que la primera el término: (*SURS* + *SURO*)/*DELT60*, no es dimensionalmente homogéneo, en *SOSED2* el termino *SURO/DELT60*, es dimensionalmente homogéneo.

Para la subrutina *SOSED2* la capacidad de transporte de los sedimentos separados, esta dada por:

$$STCAP = DEL60 * KSER * \left(\frac{SURO}{DELT60} \right)^{JSER} \tag{2.18}$$

Cuando *STCAP* es mayor que la cantidad de sedimentos disponibles sobre el terreno, el lavado equivale a todos los sedimentos (*DETS*). Cuando STCAP es menor, entonces *WSSD* es igual a *STCAP*.

El proceso de arrastre de las partículas de la matriz del suelo, es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{SCRSD} = \mathrm{DELT60} * \mathrm{KGER} * \left(\frac{SURO}{DELT60} \right)^{\mathrm{JGER}} \tag{2.19}$$

La subrutina *ATTACH* simula la agregación de sedimentos en la superficie del suelo, debido a la compactación. La agregación del suelo es simulada reduciendo los sedimentos disponibles en el terreno, esto se hace multiplicando el valor de *DETS* por (1-*AFFIX*), donde *AFFIX* es el parámetro que representa la tasa de agregación del suelo.

2.6.3 Procesos de Transporte, Deposición y Arrastre de Sedimentos en HSPF

El transporte de sedimentos en el río para **HSPF**, está basado en el modelo **SERATRA** (Instream Sediment Contaminant Transport Model), desarrollado por Battelle Laboratorios (Onishi y Wise, 1979).

El Módulo *SEDTRN* de **HSPF** permite simular el transporte, deposición y arrastre de sedimentos no cohesivos (arenas) y sedimentos cohesivos (limos y arcillas). El código del programa permite calcular y simular la deposición y arrastre de sedimentos no cohesivos, mediante la selección de tres formulaciones empíricas: 1) definiendo una función de potencia para la velocidad en el río, 2) Método de Toffaleti, y 3) Método de Colby.

El modelo **HSPF** divide los sedimentos en tres componentes, arenas, limos y arcillas. Los parámetros requeridos para sedimentos cohesivos (limos y arcillas), son: diámetro efectivo de partícula *D*, velocidad de caída en agua *W*, densidad de partícula *RHO*, esfuerzo crítico para deposición *TAUCD*, esfuerzo crítico para arrastre *TAUCS*, y coeficiente de erodabilidad *M*.

Los parámetros requeridos para los sedimentos no cohesivos, dependen de la función escogida para los cálculos. La ecuación de Toffaleti requiere el diámetro de partícula (*DB50*) con 50% más fino y la velocidad de caída (*W*). La ecuación de Colby requiere el valor de *DB50* y el método de la ecuación de potencia requiere el coeficiente *KSAND* y el exponente *EXPSND*.

La Figura 2.5, presenta el esquema de simulación de **HSPF** para determinar el comportamiento de las diferentes fracciones de partículas en el río.

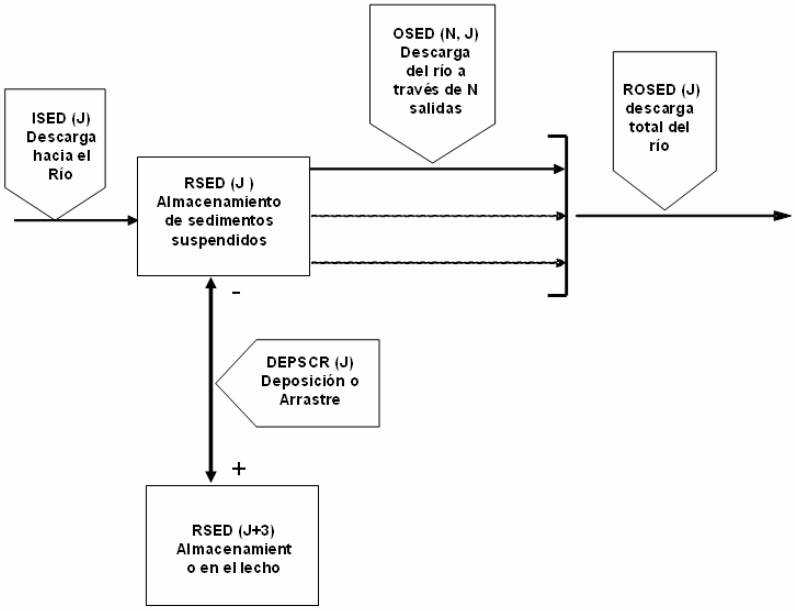


Figura 2.5. Diagrama de flujo del módulo SEDTRN de HSPF (Tomado de Bicknell, *et al*., 1996).

HSPF establece inicialmente la altura de sedimentos en el lecho del río, para determinar los niveles iniciales de estos. El volumen ocupado por cada fracción en el lecho es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{VOLSED(J)} = 1.0\mathrm{E06} * \left(\frac{\mathrm{RSED(J+3)}}{\mathrm{RHO(J)}} \right) \tag{2.20}$$

donde *VOLSED* es el volumen ocupado por la fracción de sedimentos en el lecho (m^3 o $pies^3$), *RSED* el volumen de sedimentos almacenados de la fracción ($mg.m^3/l$ o $mg.pies^3/l$), y *RHO* es la densidad de partícula (g/cm^3). El volumen es ajustado a la cantidad de volumen de vacíos de los sedimentos:

$$\mathrm{VOLSEDA} = \left(\frac{\mathrm{VOLSED}}{1.0 - \mathrm{POR}} \right) \tag{2.21}$$

Donde *VOLSEDA* es el volumen ajustado y *POR* es la porosidad de los sedimentos del lecho. La profundidad de los sedimentos se determina utilizando la siguiente relación:

$$\mathrm{BEDDEP} = \left(\frac{\mathrm{VOLSEDA}}{\mathrm{LEN} * \mathrm{BEDWID}} \right) \tag{2.22}$$

donde *BEDDEP* es la profundidad de los sedimentos del lecho, *LEN* es la longitud total del río, y *BEDWID* es el ancho efectivo del lecho.

La fracción cohesiva de los sedimentos es simulada mediante la subrutina *COHESV*. La simulación consta de dos pasos, en el primero la subrutina *ADVECT* se encarga del transporte adventivo y en el segundo la subrutina *BDEXCH* calcula la deposición y el arrastre basado en el esfuerzo crítico y las ecuaciones de Krone (1962) y Partheniades (1962). El esfuerzo crítico *TAU* es calculado mediante la

subrutina *SHEAR* de la sección *HYDR*. La ecuación de Krone (1962) simplificada utilizada por el modelo es la siguiente:

$$TD = W * CONC * \left(1 - \frac{TAU}{TAUCD}\right) \tag{2.23}$$

donde *TD* representa la tasa a la cual el sedimento se deposita (masa/long^2/intervalo), y *CONC* es la concentración sedimentos suspendidos (masa/volumen).

La tasa de cambio de los sedimentos suspendidos debido a la deposición, en función del tiempo (t) y es calculada mediante la ecuación:

$$\frac{d(CONC)}{dt} = -\left(\frac{TD}{AVDEPM}\right) \tag{2.24}$$

donde *AVDEPM* es el promedio de la profundidad del agua en el río.

Combinando las ecuaciones e integrando la ecuación 2.23, la concentración de sedimentos retirados de suspensión debido a deposición, durante el intervalo (*DEPCONC*) esta dado por:

$$D\,EPCONC = CONC * \left(1 - e^{\left(\frac{-W}{AVDEPM}\right) X \left(1 - \frac{TAU}{TAUCD}\right)}\right) \tag{2.25}$$

Para el cálculo de los sedimentos en resuspensión y en el lecho, las siguientes expresiones son usadas:

$$SUSP_{(i)} = SUSP_{(i-1)} - (DEPCONC * VOL) \tag{2.26}$$

$$BED_{(i)} = BED_{(i-1)} + (DEPCONC * VOL) \tag{2.27}$$

donde *SUSP* son los sedimentos almacenados en suspensión, *BED* los sedimentos almacenados en el lecho y *VOL* es el volumen de agua en el río al final del intervalo de tiempo.

La tasa de resuspensión, o arrastre de los sedimentos cohesivos del lecho, es calculada a partir de la ecuación de Partheniades (1962) modificada:

$$S = M * \left(\frac{TAU}{TAUCS} - 1 \right) \tag{2.28}$$

donde *S* es la tasa a la cual los sedimentos son arrastrados del lecho (masa/long^2/intervalo), y *M* es el Coeficiente de erodabilidad (Kg./m^2/intervalo). La tasa de cambio de la concentración de sedimentos suspendidos debido al arrastre, está dada por:

$$\frac{d(CONC)}{dt} = -\left(\frac{S}{AVDEPM} \right) \tag{2.29}$$

Integrando esta ecuación, la concentración de sedimentos suspendidos agregados a la suspensión por arrastre (*SCRCONC*), está dada por:

$$SCRCONC = \frac{M}{AVDEPM} * 1000 \left(\frac{TAU}{TAUCS} - 1 \right) \tag{2.30}$$

Para recalcular los sedimentos en suspensión, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$BED_{(i)} = BED_{(i-1)} - (SCRCONC * VOL) \tag{2.31}$$

$$SUSP_{(i)} = SUSP_{(i-1)} + (SCRCONC * VOL) \tag{2.32}$$

Para los sedimentos no cohesivos, la simulación de los procesos de transporte, deposición y arrastre de arena, se realiza mediante la subrutina *SANDLD*, está dada por:

$$\text{PSAND} = \frac{GSI * TWIDE * 10.5}{ROM} \tag{2.33}$$

donde *PSAND* representa la carga potencial de arena (mg/l), *GSI* es la capacidad de transporte de arena (ton/día/pie por ancho), *TWIDE* es el ancho del río, y *ROM* es la tasa de salida de agua del río.

En la ecuación de potencia para la función de velocidad, la siguiente relación es utilizada:

$$PSAND = KSAND * AVVELE^{EXPSND} \tag{2.34}$$

donde *KSAND* es un coeficiente de la ecuación de suspensión, *EXPSND* es el exponente de la ecuación y *AVVELE* es la velocidad promedio (pies/seg). El potencial de salida de arena durante el intervalo *PROSND*, esta dado por:

$$\text{PROSND} = (\text{SANDS} * \text{SROVOL}) + (\text{PSAND} * \text{EROVOL}) \tag{2.35}$$

El término *SANDS* es el flujo potencial de salida de arena, *SROVOL* volumen de salida al empezar el intervalo y *EROVOL* el volumen de salida al final del intervalo.

El arrastre potencial o la deposición en el lecho son calculados mediante la ecuación de continuidad:

$$PSCOUR = (VOL * PSAND) - (VOLS * SANDS) + PROSND - ISAND \tag{2.36}$$

donde *PSCOUR* es el potencial de arrastre ó deposición, *VOLS* es el volumen de agua en el río al final del intervalo e *ISAND* es el flujo de entrada de arena al río durante el intervalo de tiempo.

Cuando el arrastre requerido es menor que la disponibilidad en el lecho, la demanda es satisfecha y la concentración se presume como *PSAND*. Si el almacenamiento en el lecho, no es suficiente para satisfacer el arrastre demandado, toda la arena disponible en el lecho, es puesta en suspensión. La concentración de arena en suspensión al final del intervalo (*SAND*) es calculada mediante la ecuación:

$$\mathrm{SAND} = \left(\frac{ISAND + SCOUR + SANDS * (VOLS - SRVOL)}{VOL + EROVOL} \right) \tag{2.37}$$

La cantidad total de arena saliendo del río, durante el intervalo está dada por:

$$ROSAND = SROVOL * SANDS + EROVOL * SAND \tag{2.38}$$

Si no existe flujo de salida del río, o este permanece seco, el modelo asume que la toda arena en suspensión es depositada en el lecho.

2.7 Análisis de Sensibilidad Global (ASG) Utilizando Simulación Monte Carlo (MCS)

El análisis de sensibilidad en modelos de simulación es una herramienta que permite identificar los cambios producidos en los datos de salida causados por cambios en los parámetros del modelo. El análisis "tradicional" de sensibilidad consiste en determinar los cambios producidos en los datos de salida, debido a la variación individual de cada parámetro lo cual permite identificar los parámetros que presentan una mayor influencia en los datos de salida. Sin embargo, este método no permite establecer la interrelación existente entre todos los parámetros involucrados en un determinado proceso simulado por el modelo, y que afectan también los datos de salida. Como resultado de esto, el modelo presenta lo que es conocido como incertidumbre en las predicciones del modelo.

Para determinar la incertidumbre en las predicciones del modelo, el método de Simulación Monte Carlo, es utilizado. Este método es llamado así debido a que involucra análisis con parámetros aleatorios, comportamiento que fue comparado con los juegos de azar de Monte Carlo, en Mónaco (Veach, 1997). La simulación Monte Carlo presenta diversas aplicaciones que van desde el análisis de riesgos hasta la evaluación de modelos de simulación.

Algunos modelos de simulación como **HEC-FDA** (Flood Damage Analysis), han incluido análisis de riesgo utilizando simulación Monte Carlo. Esta herramienta permite realizar análisis de incertidumbre para relaciones de descarga-frecuencia, elevación-descarga y elevación-daño con el fin de establecer análisis de alternativas. Este análisis permite establecer posibles daños y realizar desiciones que conlleven a reducción de daños (US Army Corps of Engineers, 1998).

La simulación Monte Carlo es conocida también como Análisis de Sensibilidad Global (ASG). El desarrollo de este requiere establecer inicialmente los parámetros que presentan mayor sensibilidad en el modelo y los rangos de valores que puede presentar cada parámetro (Benaman y Shoemaker, 2004). Este análisis permite establecer la influencia del rango de cada parámetro sobre los datos de salida del modelo evaluado. Así mismo permite determinar los parámetros que presentan mayor sensibilidad y que pueden generar valores irreales en los datos generados por el modelo evaluado.

Veihe *et al*. (2000) llevaron a cabo análisis de sensibilidad utilizando simulación Monte Carlo, para el modelo de simulación de sedimentos **EUROSEM**. Esto les permitió identificar los parámetros del modelo que presentaban mayor sensibilidad a los procesos de erosión con el fin de hacer una mejor selección de estos durante la simulación.

Camacho *et al.* (2002) utilizaron simulación Monte Carlo para determinar la sensibilidad de los parámetros de los modelos de calidad de aguas **QUAL2E** y **QUALT2K**. Mediante esta metodología

realizaron el análisis de incertidumbre generado por los parámetros involucrados en la simulación para cada modelo, así mismo establecieron los parámetros de mayor sensibilidad. Este análisis les permitió realizar una mejor calibración y validación de los modelos **QUAL2E** y **QUALT2K**.

Hantush y Kalin (2003) realizaron análisis de sensibilidad utilizando simulación Monte Carlos para el modelo de simulación **KINEROS2** el cual es un modelo de eventos para erosión y escorrentía. Los resultados de este análisis de sensibilidad indicaron que los parámetros reportados por la literatura, resultan adecuados para el modelo **KINEROS2**.

El análisis de sensibilidad mediante Simulación Monte Carlo, permite realizar una mejor calibración y validación de los modelos de simulación, debido a que establece los parámetros más sensibles. Igualmente, determina si el rango de parámetros utilizados por el modelo es adecuado. Esto último resulta relevante debido a que muchos parámetros varían a nivel regional.

Capítulo 3

Descripción del Área de Estudio

Este trabajo fue desarrollado en la cuenca del Río Grande de Arecibo en Puerto Rico, con punto de salida en el Lago Dos bocas. Esta cuenca se encuentra localizada en la parte central de la isla, comprende principalmente los municipios de Utuado, Adjuntas, Jayuya y Ciales, y áreas menores de los municipios de Arecibo y Peñuelas.

La Figura 3.1 presenta la localización del área de estudio, el área de drenaje de la cuenca del Río Grande de Arecibo en el lago Dos Bocas es de 174 millas cuadradas, con una pendiente promedio de 36 por ciento y precipitación promedia anual de 88 pulgadas.

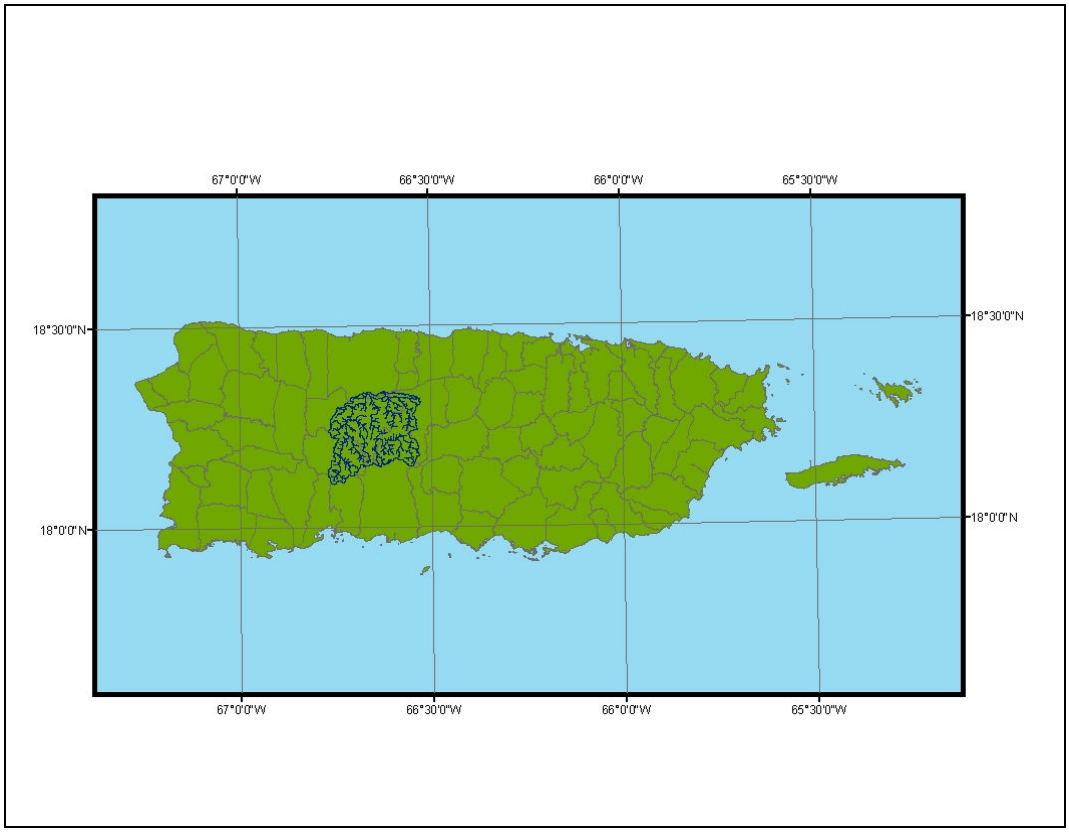


Figura 3.1. Localización del área de estudio.

El Lago Dos Bocas debe su nombre a que recibe agua por dos brazos principales de entrada; el brazo izquierdo recibe agua del río que da el nombre a la cuenca, el Río Grande de Arecibo y el brazo derecho recibe el agua proveniente de las vertientes principales de los ríos Caonillas y Limón.

La subcuenca del Río Grande de Arecibo recibe el aporte de otros ríos afluentes, como el Río Vacas, Río Cidra, Río Pellejas y Río Viví. Por su parte El Río Caonillas se forma a partir de la confluencia de los ríos Grande de Jayuya y Jauca en la parte sur de la cuenca, el Río Grande de Jayuya recibe además aportes de los ríos Saliente y Caricaboa. La cuenca del Río Limón recibe como principales afluentes al Río La Venta y el Río Yunes (USGS, 2004b).

La cuenca del Río Grande de Arecibo presenta además un sistema de siete (7) lagos que son administrados por la Autoridad de Acueductos y Energía Eléctrica de Puerto Rico. Algunos de estos lagos, se encuentran interconectados por túneles permitiendo el traspaso de agua de una cuenca a otra. Estos lagos son el Lago Dos Bocas, Lago Caonillas, Lago Jordán, Lago Viví, Lago Pellejas y Lago Adjuntas. En el caso del Lago Garzas ubicado al sur de la cuenca, los túneles llevan agua fuera de la cuenca, hacia el Río Guayanés.

3.1 Suelos

La cuenca presenta principalmente suelos pertenecientes a las series Humatas (20.5 %) y Pellejas (20.2 %). La serie Humatas se caracteriza por suelos profundos de buen desagüe, fuertemente ácidos y moderadamente permeables, formados a partir de material residual meteorizado de rocas volcánicas; la serie Pellejas esta formada por suelos de textura gruesa a moderadamente gruesa formados a partir de rocas plutónicas (USDA, 1979 ; USDA, 1982).

La cuenca presenta además 4.74 % de áreas con rocas expuestas consistentes en roca caliza principalmente en la parte norte de la cuenca en lo que corresponde a la subcuenca del Río Limón. La Tabla 3.1 presenta la distribución de suelos en el área total estudio.

Tabla 3.1. Distribución de series de suelo en la cuenca del Río Grande de Arecibo (USDA-NRCS, 2002).

Serie de suelos	Porcentaje (%)	Grupo Hidrológico
Humatas	20.536	C
Pellejas	20.254	B
Mabí	5.017	D
Moca	4.655	D
Roca Expuesta	3.713	-
Consumo	2.212	B
Alonso	2.063	B
Caguabo	2.018	B
Maricao	2.971	B
Los Guineos	1.719	C
Soler	1.649	D
Aluvial	1.034	A
Aibonito	1.015	D
Viví	0.967	B
Ingenio	0.956	B
Maraguez	0.943	B
Morado	0.931	C
Daguey	0.566	C
Voladora	0.553	B
Reilly	0.524	A
Colinas	0.482	B
Cuchillas	0.482	C
Corozal	0.365	C
Aceitunas	0.333	B
Toa	0.297	B
Moca	0.095	D
Perchas	0.080	D
Matanza	0.063	B
Coloso	0.019	C
Juncal	0.014	C
Bayamón	0.009	B
Espinosa	0.006	B
San Germán	0.001	D
Otro	22.048	-

(-) No aplica

Los grupos hidrológicos de los suelos corresponden en su mayoría a los grupos B y C con 45.8 % y 33.3 %, respectivamente, el grupo D presenta 18.8 % del área de la cuenca y el grupo A presenta el menor porcentaje con 0.54%.

3.2 Usos de Terreno

La cuenca del Río Grande de Arecibo ha presentado durante los últimos años una transición en cuanto a usos de terreno, debido a que las áreas con cultivos de café, banano y áreas agrícolas en general que eran los principales usos en los años 70's, han pasado ha ser sustituidos por bosques secundarios y terrenos con arbustos y pastos abandonados. Actualmente la cuenca cuenta con 76.6 % de áreas boscosas, 12.7 % de terrenos con arbustos y pastos abandonados y solo 6.2 % de terrenos con uso agrícola en contraste con el 24.5 % de áreas agrícolas existentes en los años 70's (Junta de Planificación de Puerto Rico, 1977).

Capítulo 4

Metodología

4.1 Descripción de Modelo Utilizado HSPF - BASINS 3.1

El presente trabajo se desarrolló utilizando el modelo de simulación hidrológica **HSPF** (Hydrological Simulation Program Fortran) versión 12.0. Este modelo se encuentra incluido en **BASINS 3.1** (USEPA, 2004). **BASINS** ofrece una interfase que utiliza Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite crear los archivos de entrada a **HSPF,** específicamente el archivo de control *UCI* (User Control Input) el cual representa el corazón de **HSPF** y contiene los parámetros y las especificaciones de control para la simulación hidrológica.

Utilizando **BASINS 3.1** y las coberturas del SIG requeridas por el modelo (ej. subcuencas, usos de terreno, etc.), se creó el archivo *UCI*. Además de esto fueron creados dos archivos con los datos hidrometeorológicos de series de tiempo para las diferentes estaciones de monitoreo presentes en el área de estudio. Uno de estos archivos contiene los datos de entrada, con los cuales el modelo realiza la simulación y otro con valores observados de las variables a calibrar en el cual **HSPF** carga los resultados de la simulación. Estos archivos fueron creados utilizando el programa **WDM** (Watershed Data Management) versión 2.27 (Aqua Terra Consultants, 2004a), el cual permite la manipulación de datos hidrometeorológicos. El archivo *UCI,* junto con los archivos creados en **WDM**, fueron cargados en el programa **WinHSPF** versión 2.3 (Aqua Terra Consultants, 2004b). Este permite manipular los parámetros de **HSPF** y las especificaciones de control del archivo *UCI*.

Una vez se corrió el programa en **WinHSPF**, los resultados de la simulación fueron cargados en el procesador de datos **GenScn** versión 2.3 (Aqua Terra Consultants, 2004c), este permitió visualizar y

analizar los resultados de la simulación y los valores observados, con el fin de llevar a cabo la calibración y validación del modelo.

4.2 Desarrollo del Modelo

Según lo mencionado anteriormente, los datos requeridos para crear el modelo de simulación se dividen en dos grupos, datos geoespaciales generados por SIG y datos hidrometeorológicos.

Los datos geoespaciales consistieron en coberturas creadas a partir de SIG. Un total de seis coberturas fueron creadas para el desarrollo del modelo. Estas coberturas fueron, delimitación de subcuencas, ríos, puntos de salida, lagos, usos de terreno y clasificación hidrológica de los suelos.

Los datos hidrometeorológicos requeridos para la simulación fueron, precipitación horaria y evaporación horaria. También se requirieron datos de flujo en los ríos y concentración de sedimentos suspendidos, con el fin de llevar a cabo la calibración y validación del modelo.

4.2.1 Delineación de las Subcuencas

La delimitación de la cuenca y las subcuencas se llevo a cabo utilizando el programa de simulación de cuencas **WMS** (Watershed Modeling System) desarrollados por Brigham Young University (2004). Este programa utiliza Modelos Digitales de Terreno ó DEM (Digital Elevation Model) para delimitar y calcular características hidromorfólogicas de la cuenca y los patrones de flujo.

Los DEM utilizados en la delimitación de la cuenca y las subcuencas en el área de estudio, fueron obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2001). Cada DEM corresponde a cuadrángulos topográficos de 7.5’ con resolución de 30 x 30 metros. El datum geodésico horizontal utilizado corresponde UTM NAD27 (Universal Transverse Mercator North American Datum de 1927) y

el vertical datum a NGVD 29 (National Geodetic Vertical Datum of 1929). Se utilizaron un total de 5 (cinco) DEMs, Utuado, Florida, Jayuya, Adjuntas, Monte Guilarte correspondientes al área de estudio.

La delimitación de la cuenca y subcuencas, en **WMS** requirió la definición de puntos de salida a partir de los cuales se definieron los límites de la cuenca y subcuencas. El punto de salida establecido para la cuenca completa, fue la represa del Lago Dos Bocas. Las subcuencas fueron delimitadas utilizando puntos en los cuales el USGS posee estaciones de monitoreo en los ríos, unión de los ríos y obstrucciones morfológicas de la cuenca como lagos (Hummel *et al*, 2004). La Tabla 4.1 presenta las estaciones utilizadas y sus respectivas coordenadas.

Tabla 4.1. Estaciones utilizadas para los puntos de salida de las subcuencas.

Número de identificación y nombre de la estación	Latitud	Longitud
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca a Adjuntas PR	18°10'54"	66°44'12"
USGS 50027000 Río Limón Arriba Lago Dos Bocas PR	18°19'32"	66°37'24"
USGS 50026400 Río Yunes Carretera 140 Cerca Florida PR	18°19'28"	66°35'12"
USGS 50026200 Río Caonillas bajo Lago Caonillas Túnel PR	18°17'57"	66°38'36"
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado PR	18°18'07"	66°42'15"
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo Arriba de Utuado PR	18°14'39"	66°43'20"
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma PR	18°13'53"	66°38'14"
USGS 50025850 Río Jauca en Paso Palma PR	18°12'50"	66°38'44"
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey Cerca Jayuya PR	18°12'48"	66°33'49"
USGS 50022810 Río Viví Abajo de Hacienda El Progreso PR	18°11'21"	66°40'20"
USGS 50021030 Río Pellejas Arriba de Central Pellejas PR	18°12'17"	66°42'13"
USGS 50027100 Lago Dos Bocas PR	18°20'16"	66°40 05
USGS 50026140 Lago Caonillas PR	18°16'43"	66°39'24"

La Figura 4.1 presenta la delimitación de cuencas, los ríos y los puntos de salida definidos en **WMS**. Las subcuencas, ríos y puntos de salida, fueron exportadas como coberturas de SIG. Luego de esto y

utilizando ArcView 3.3 (2002), se editaron las tablas de atributos de cada cobertura de acuerdo a las especificaciones requeridas por **BASINS 3.1**. El Apéndice 1 presenta los atributos requeridos para cada una de las coberturas. Todos los atributos hidromorfológicos de la cuenca fueron calculados en **WMS**.

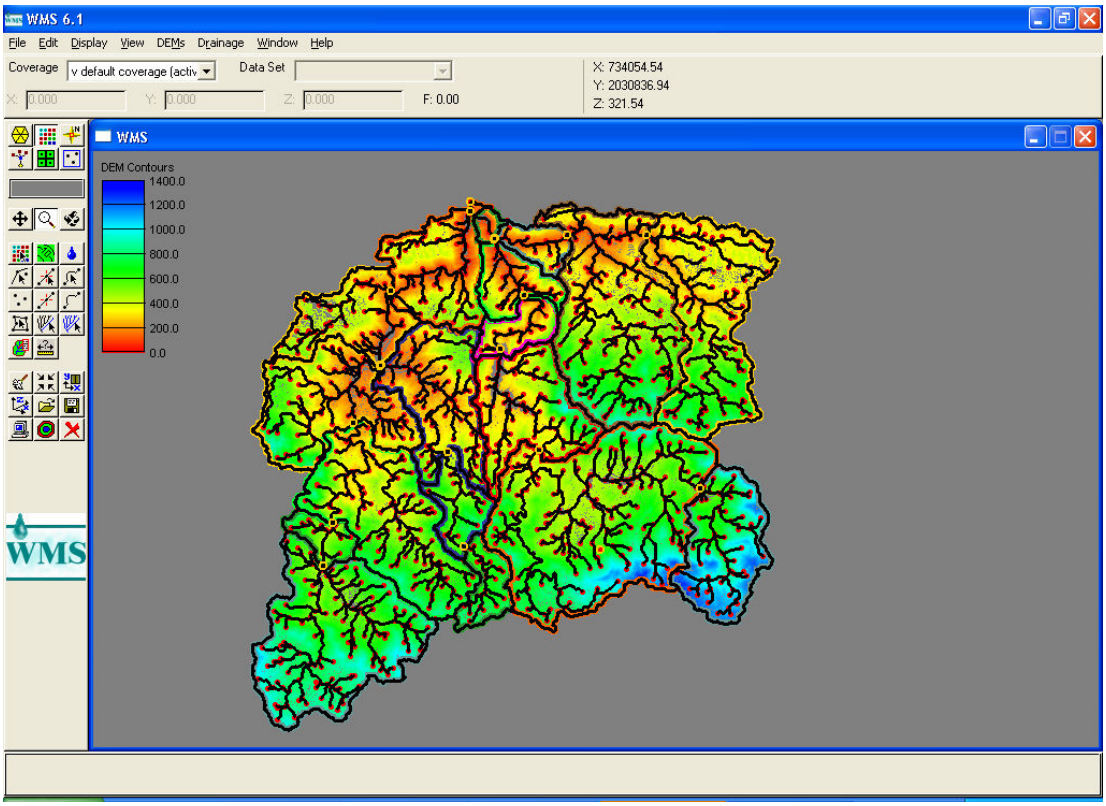


Figura 4.1. Delimitación de la cuenca en WMS.

Un total de dieciocho (18) subcuencas fueron definidas para el desarrollo del modelo, cada una de las cuales presenta un punto de salida y el correspondiente río. El punto de salida de la cuenca como ya se mencionó, fue la represa del lago Dos Bocas. Otras tres (3) subcuencas más fueron delimitadas con el punto de salida en un lago Estas fueron las subcuencas 2, 8 y 12 con puntos de cierre en los lagos Viví, Adjuntas y Caonillas, respectivamente. La Figura 4.2 presenta las subcuencas establecidas para modelo **HSPF-BASINS**.

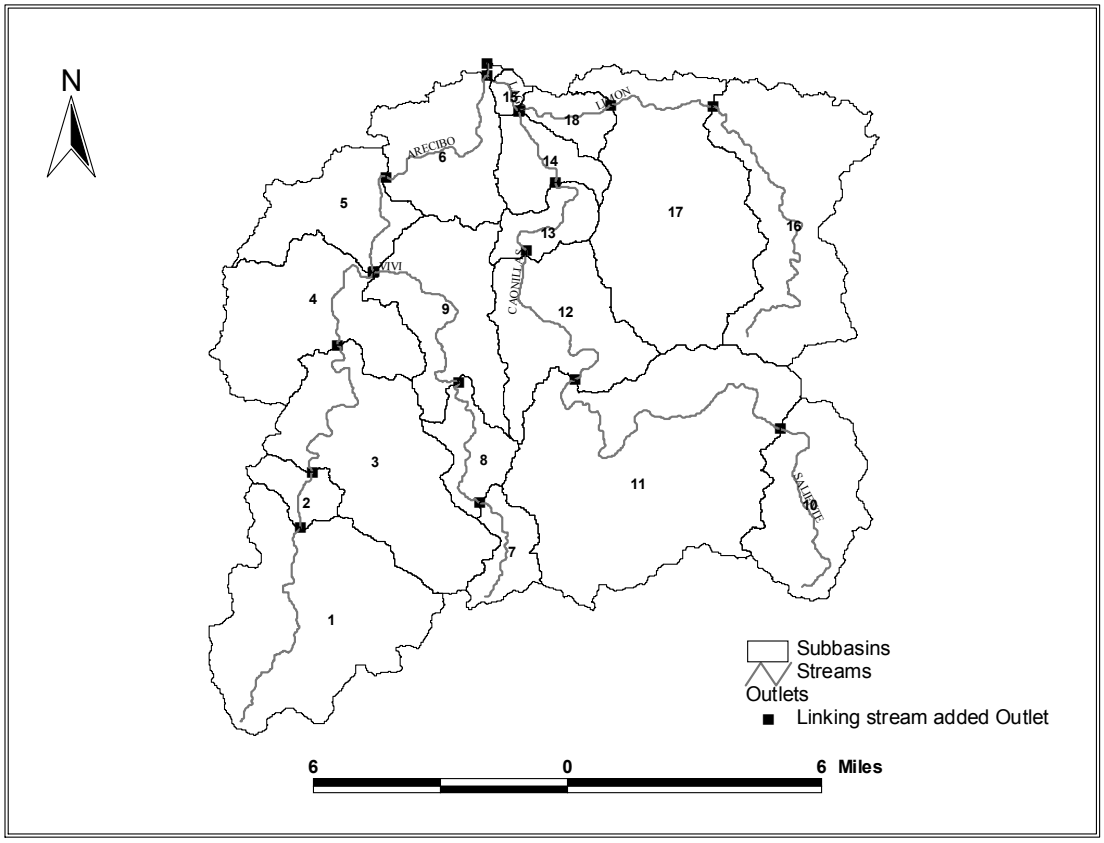


Figura 4.2. Subcuencas delimitadas para la simulación en HSPF.

4.2.2 Usos de Terreno

La cobertura de usos de terrenos fue generada a partir de fotografías digitales ortocorregidas DOQ (Digital Orthophoto Quadrangles), estudios existentes en el área de estudio realizados por CSA Group (2000) y la Junta de Planificación de Puerto Rico (1977). Estos fueron complementados con trabajos de campo. Estos trabajos permitieron delimitar el uso de terreno actual en la cuenca del río Grande de Arecibo.

En total se establecieron siete (7) usos de terreno, urbano, agricultura, bosques, pastos, arbustos y pastos abandonados, áreas expuestas y cuerpos de agua. Estos usos de terreno fueron reclasificados de

acuerdo a los usos de terreno establecidos por **HSPF**. Los usos de terreno establecidos y los porcentajes de distribución de cada uno, se presentan en la Tabla 4.2. La Figura 4.3 presenta la distribución de uso de terreno generada para la cuenca del Río Grande de Arecibo.

Tabla 4.2. Usos de terreno definidos en la cuenca del Río Grande de Arecibo.

Código de uso de terreno	Reclasificación en HSPF	Porcentajes (%)
1	Urbano	3.07
2	Agricultura	6.23
3	Bosques	76.28
4	Pastos	0.63
5	Arbustos y pastos abandonados	12.72
6	Terreno sin cobertura	0.35
7	Agua	0.68

4.2.3 Suelos

Los datos de suelos fueron obtenidos de la base de datos geográfica del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos (NRCS por sus siglas en ingles) conocida como Soil Survey Geographic Database – SSURGO (USDA-NRCS, 2002). En esta base de datos los suelos se encuentran clasificados por unidades de mapeo las cuales son reconocidas por **BASINS 3.1** y reclasificadas para establecer el grupo hidrológico de cada una, de acuerdo a la clasificación hidrológica establecidas por el NRCS. La Tabla 4.3 y la Figura 4.4, presentan la distribución de los diferentes grupos hidrológicos de suelos en el área de estudio.

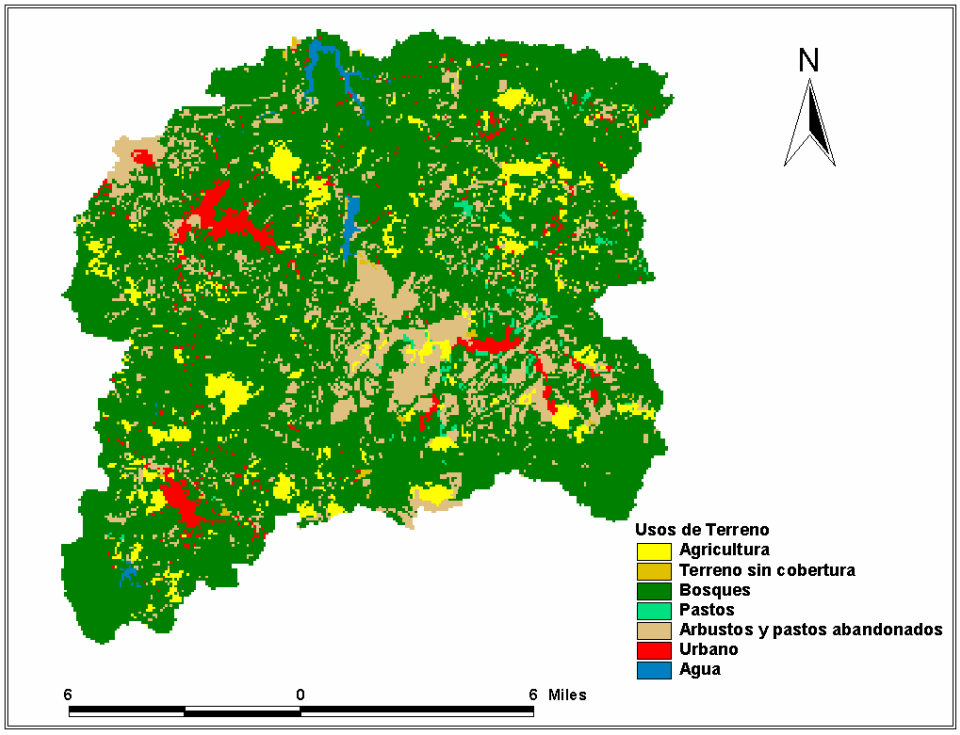


Figura 4.3. Distribución de usos de terreno en el área de estudio.

Tabla 4.3. Distribución de suelos en la cuenca del Río Grande de Arecibo.

Grupo Hidrológico	Porcentaje (%)
A	*0.54*
B	*45.80*
C	*33.29*
D	*18.88*

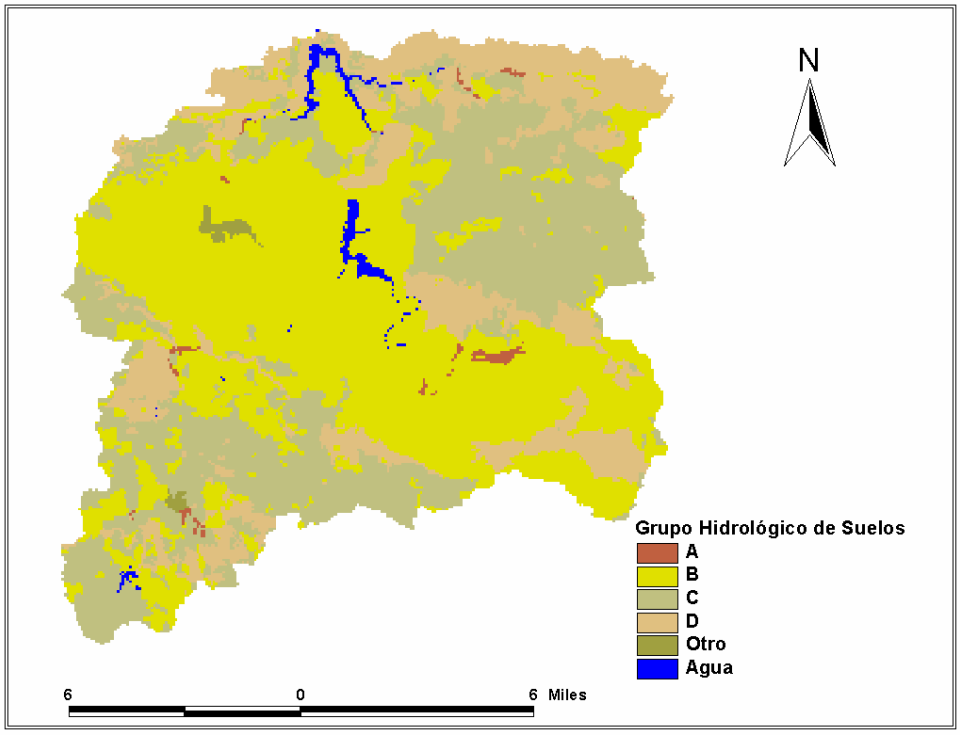


Figure 4.4. Distribución de grupos hidrológicos de suelos en el área de estudio.

4.2.4 Datos Hidrometeorológicos

Dos archivos con series de tiempo para datos de entrada y de salida, fueron generados en **WDM**. El primero correspondió a series de tiempo de precipitación y evaporación horaria, requeridas por **HSPF**. El segundo contiene valores observados de flujo promedio diario en los puntos de observación, concentraciones promedias diarias de sedimentos suspendidos y resultados del proceso de simulación.

Los datos de precipitación fueron suministrados por el USGS para las estaciones pluviométricas dentro del área de estudio (USGS 2004a). Estos datos presentaban valores de precipitación en intervalos irregulares de 5, 10 y 15 minutos. Estos valores fueron agregados a intervalos de una (1) hora para ser consistentes con los requerimientos por **HSPF**.

La evaporación fue obtenida de los datos utilizados por Díaz-Ramírez (2004). Este utilizó los datos de evaporación potencial provistos por **BASINS** (USEPA, 2004) para la subestación de Corozal. La evapotranspiración potencial fue calculada por Díaz-Ramírez (2004) utilizando el método de Hamon en **WDM**. Este método utiliza datos de temperatura máxima y mínima para calcular la evapotranspiración.

Los datos de flujo y concentraciones de sedimentos suspendidos promedios diarios fueron obtenidos del USGS (2004b), estos fueron usados en la calibración y validación del modelo. La Tabla 4.4 presenta las estaciones de monitoreo del USGS presentes en el área de estudio y los periodos de monitoreo de precipitación, flujo y sedimentos para cada una. La Figura 4.5 presenta la localización de las estaciones de monitoreo de flujo y sedimentos en la cuenca del Río Grande de Arecibo.

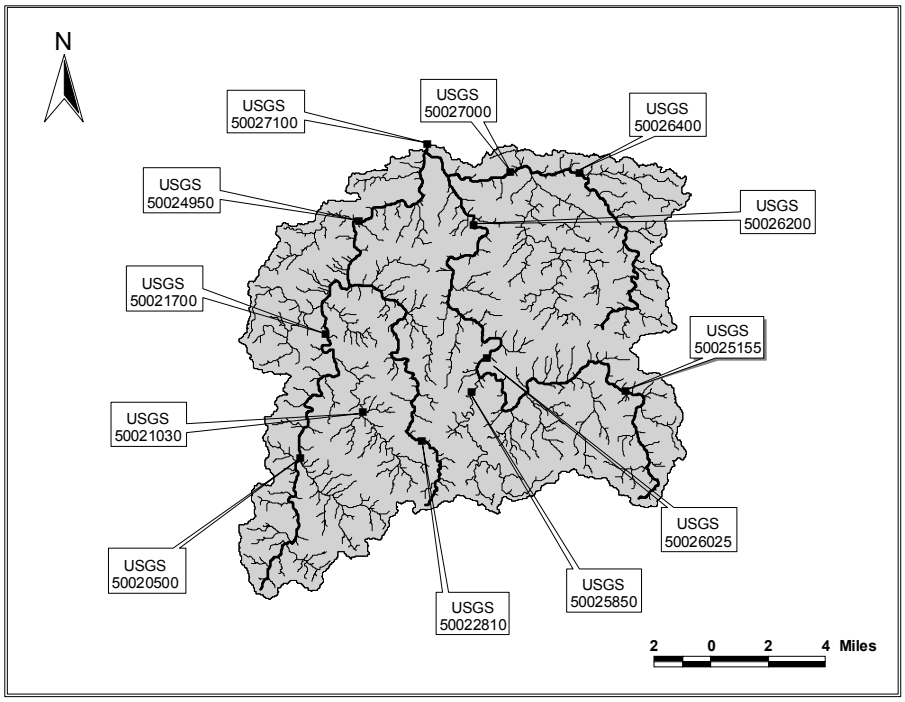


Figura 4.5. Estaciones de monitoreo de flujo y sedimentos del USGS en el área de estudio.

Tabla 4.4. Estaciones y periodos de monitoreo.

Número y nombre de la estación	Periodo de Monitoreo					
	Precipitación		Flujo		Sedimentos	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	2000/03/28	2003/09/1	20000/3/28	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	1999/12/16	2003/09/1	1999/12/16	2002/09/29	1999/09/30	2002/09/29
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	2000/06/22	2003/09/1	2000/06/21	2002/09/29	1999/09/30	2002/09/29
USGS 50026200 Río Caonillas abajo túnel del Lago Caonillas	2000/11/22	2003/09/1	2000/12/12	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	1996/04/16	2003/09/1	1996/04/16	2002/09/29	1999/09/30	2002/09/29
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	1995/02/09	2003/09/1	1999/06/01	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	1996/01/03	2003/09/1	1995/09/30	2002/09/29	1998/09/30	2002/09/29
USGS 50025850 Río Jauca en Paso Palma	2000/06/22	2003/09/1	2000/05/17	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	1995/01/01	2003/09/1	1989/09/30	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	-	-	2000/12/22	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50021030 Río Pellejas abajo de Central Pellejas	2000/06/01	2003/09/1	2000/09/30	2002/09/29	2000/09/30	2002/09/29
USGS 50027100 Lago Dos Bocas	1999/03/29	2003/09/1	2000/09/30	20020/9/29	-	-
USGS 50999981 Pluviómetro en Barrio Frontón cerca de Ciales	2000/02/26	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999975 Pluviómetro en Mameyes abajo cerca de Jayuya,	2000/03/16	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999977 Pluviómetro en Barrio Río Grande cerca de Jayuya	2000/04/11	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999978 Pluviómetro en Barrio. Saliente cerca de Jayuya	2000/08/11	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999976 Pluviómetro en Barrio Collores cerca de Jayuya	2000/07/25	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999979 Pluviómetro en Barrio Consejo cerca de Adjuntas	2000/07/25	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999980 Pluviómetro en Barrio Saltillo cerca de Adjuntas	2000/11/20	2003/09/1	-	-	-	-
USGS 50999974 Pluviómetro en Cerro La Mira cerca de Utuado	2000/12/06	2003/09/1	-	-	-	-

(-) Datos no disponibles

4.2.5 Desarrollo del Modelo en HSPF

El modelo en **HSPF** fue creado utilizando las coberturas requeridas y la base de datos hidrometeorológica, en la interfase **BASINS**. La Figura 4.6 presenta el árbol hidrológico creado para **WinHSPF** (Aqua Terra Consultants, 2004b). Los ríos ó lagos simulados en el modelo, son establecidos como un RCHRES. Este árbol establece una caracterización general del comportamiento hidráulico de la cuenca. Sin embargo este comportamiento es diferente, debido a la existencia en la cuenca de túneles que llevan agua de una subcuenca a otra, dentro de la cuenca del Río Grande Arecibo y en al caso de la subcuenca de la cual hace parte el Lago Garzas el agua es llevada fuera de la cuenca del Río Grande Arecibo.

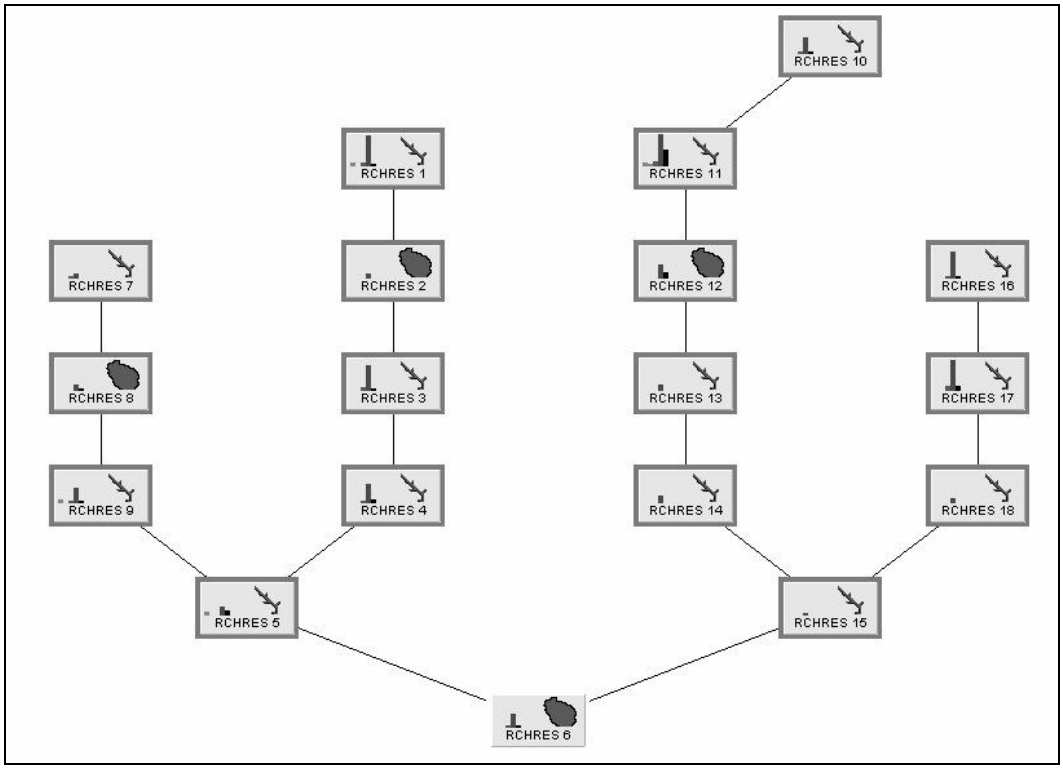


Figura 4.6. Árbol hidrológico generado por BASINS-HSPF.

El lago Adjuntas se encuentra conectado al lago Pellejas, este a su vez conecta con el lago Viví que conecta con el lago Jordán, el cual conecta con el lago Caonillas que finalmente lleva el agua al lago Dos Bocas. El lago Garzas que se encuentra en la parte sur de la cuenca y que drena naturalmente hacia el

norte, tiene un túnel subterráneo que saca agua de la cuenca del Río Grande de Arecibo y la lleva al río Guayanés. Este río suple al acueducto de Peñuelas en el sur de Puerto Rico. La Figura 4.7 presenta el esquema real del comportamiento hidráulico de los lagos y los ríos dentro de la cuenca del Río Grande de Arecibo.

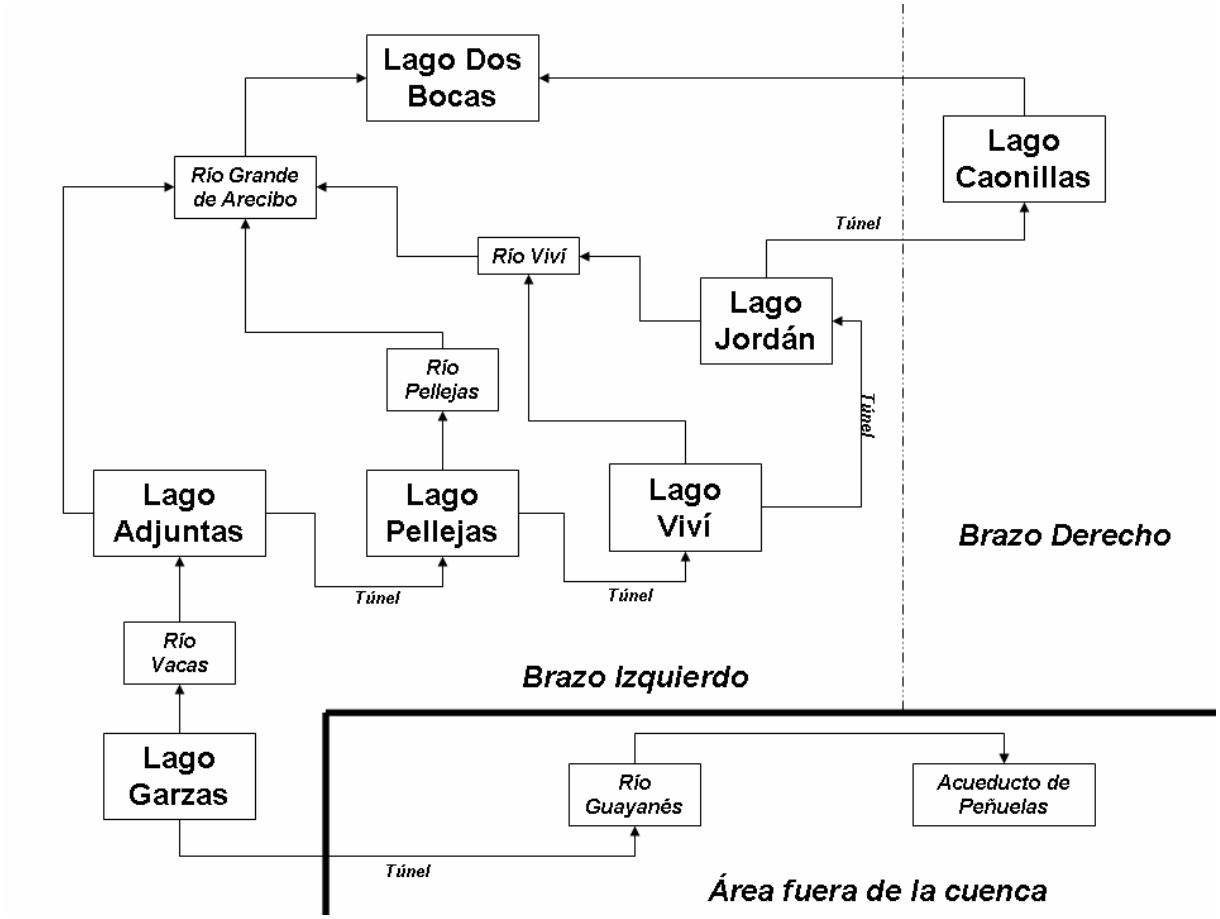


Figura 4.7. Descripción del comportamiento hidráulico de los ríos y lagos simulados en el modelo desarrollado.

Estas condiciones donde las subcuencas presentan más de una salida de flujo, fueron establecidas utilizando la función *NETWORK* de **HSPF**. Esta función permite establecer el número de salidas y la cantidad de flujo en cada una. Lo cual permite tener tres diferentes tipos de acciones, *INFLOW* que establece los datos de entrada en cada subcuenca, *RFLOW* para los datos de flujo en el río, y *OFLOW* para salidas adicionales en la subcuenca. El esquema de comportamiento hidráulico debe estar atado a las

series de los datos de flujos, los cuales son establecidos en *FTABLES*. Este último contiene los valores de flujos de salida, la curva Altura-Almacenamiento cuando el punto de salida es un lago y la curva Altura-Descarga, cuando es un río. Las Curvas de Altura-Almacenamiento de los Lagos Caonillas y Dos Bocas, fueron obtenidas del USGS (Soler-López, 2001a y 2001b). Lamentablemente, para los lagos Adjuntas y Viví no existen estos datos, por lo cual las curvas fueron construidas estableciendo una relación de potencia entre volumen y elevación del lago, la pendiente de la curva fue obtenida de la curva del Lago Caonillas y la curva de cada lago fue generada a partir de los datos de altura y almacenamiento total de estos.

HSPF permite establecer un modelo global para toda la cuenca, es decir, establece una sola cuenca con parámetros promedios resultantes de todas las subcuencas. Igualmente, permite crear un modelo "segmentado" en el cual cada subcuenca presenta características individuales. Con el fin de obtener mejores resultados en el modelo desarrollado, este fue segmentado para asignar a cada subcuenca atributos hidrológicos diferentes y realizar una mejor distribución de los datos de lluvia y las características morfológicas de estas. La segmentación y distribución de las estaciones meteorológicas se estableció teniendo en cuenta los puntos de salida de cada subcuenca.

Las subcuencas 1, 3, 5, 7, 10, 11, 13, 16 y 17 fueron delimitadas para sitios donde existen estaciones de aforo del USGS. Las subcuencas 8, 2, 12 y 6, fueron determinadas en los puntos de salida de los lagos Viví, Adjuntas, Caonillas y Dos Bocas, respectivamente. Las subcuencas restantes, 9, 4, 14, 15 y 18 fueron delimitadas con el fin de dar continuidad a la red de flujo del canal principal y establecer las uniones con los otros canales (ver Figura 4.2 y 4.5)

HSPF solo permite un máximo de seis (6) estaciones meteorológicas, por lo cual solo seis estaciones de lluvia fueron utilizadas en la simulación. La Figura 4.8 presenta la distribución realizada para las diferentes subcuencas.

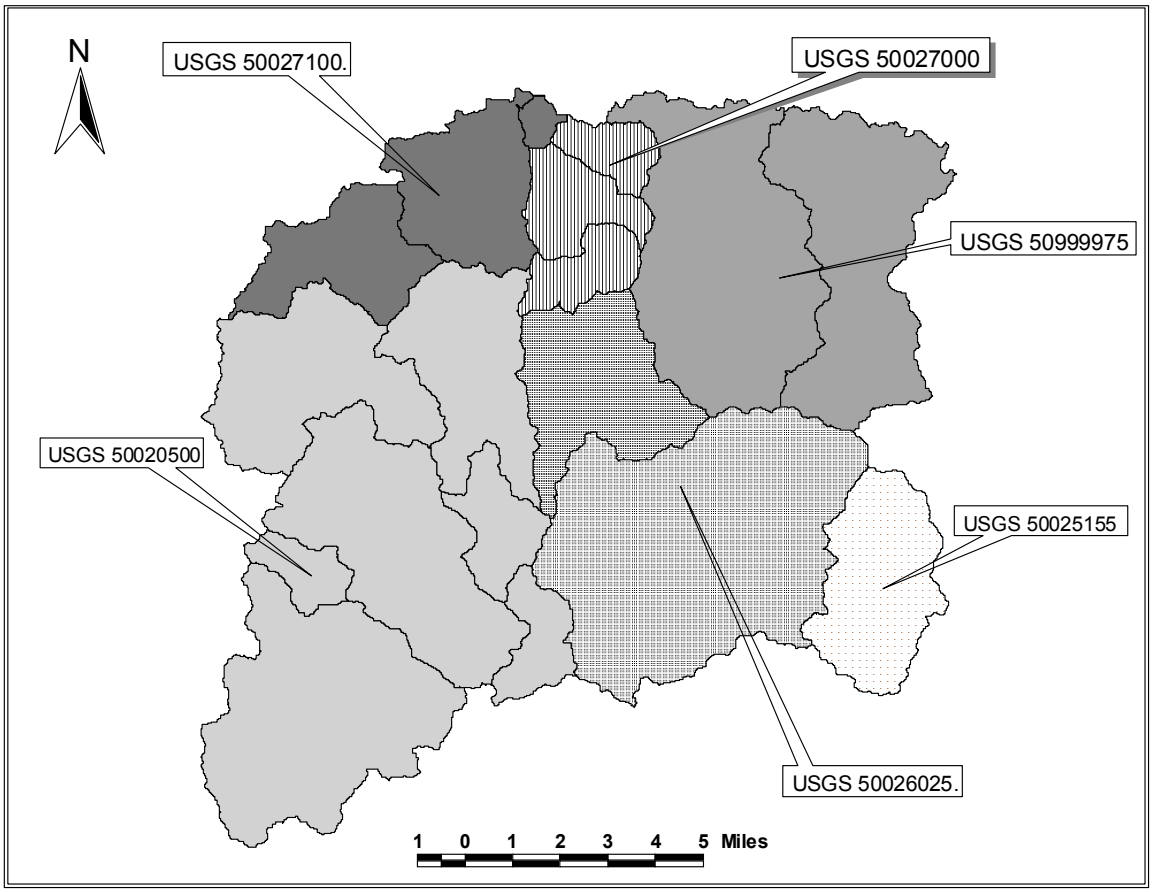


Figura 4.8. Segmentación de estaciones pluviométricas en las subcuencas del modelo.

4.3 Análisis de Sensibilidad de HSPF Utilizando Análisis de Sensibilidad Global (ASG)

El análisis de sensibilidad, fue llevado a cabo utilizando el análisis de sensibilidad global (ASG), utilizando simulación Monte Carlo (SMC). La metodología seguida fue la propuesta por Benaman y Shoemaker (2004) los cuales llevaron a cabo ASG en subcuencas del Lago Cannonsville en New York, con el fin de evaluar la sensibilidad del modelo de simulación hidrológica **SWAT** (incluido en **BASINS 3.1**). También, evaluaron el rango recomendado para los diferentes parámetros utilizados por el modelo mediante análisis de sensibilidad del rango.

El ASG fue llevado a cabo en la subcuenca del Río Yunes, para el periodo de octubre de 2001 a septiembre de 2002. El análisis de sensibilidad utilizado en ASG, requiere variar al mismo tiempo todos los parámetros involucrados en la simulación a diferencia de los análisis de sensibilidad convencionales donde se varían los parámetros uno a uno. El ASG requiere la previa selección de los parámetros a ser evaluados. Estos se escogen mediante análisis de sensibilidad utilizando el método convencional, revisión de literatura y trabajos previos de sensibilidad en el modelo utilizado.

4.3.1 Selección de los Parámetros a ser Evaluados

Los parámetros a ser analizados, fueron seleccionados realizando análisis de sensibilidad del modelo, utilizando análisis de sensibilidad publicados en la literatura, e información provista por el manual del modelo.

Para el análisis de sensibilidad se escogieron un total de 15 parámetros utilizados para la calibración hidrológica y otros 21 parámetros en la calibración de sedimentos suspendidos para un total de 36 parámetros. Las Tablas 4.5 y 4.6 presentan los parámetros hidrológicos y de transporte de sedimentos escogidos para el análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad preliminar se llevo cabo, utilizando la metodología citada por Rivera-Santos (1988). Cada uno de los parámetros que aparecen en las Tablas 4.5 y 4.6, fueron variados individualmente en 10% y **HSPF** fue corrido para cada variación, obteniendo datos de flujo y concentración de sedimentos suspendidos, para cada variación individual de los parámetros. Un total de 36 corridas del modelo, fueron llevadas a cabo para este análisis.

Con los flujos y concentraciones de sedimentos obtenidos, se calcularon las matrices de sensibilidad relativa (*A*) tanto para flujo como para concentración de sedimentos suspendidos. La matriz de sensibilidad (*A*) consiste de una matriz de tamaño *n* x *m* donde *n* es el tamaño de los datos analizados y *m* es el número de parámetros analizados. Los datos de esta matriz son calculados utilizando la siguiente relación:

$$a_{ij} = \frac{\partial q_{ij}}{\partial \theta_j} \frac{\theta}{q} \qquad \text{d}onde\ i\ varía\ de\ 1\ a\ n,\ \ y\ j\ de\ 1\ a\ \ m \qquad (4.1)$$

donde a es el término en la fila *i* y la columna *j*, ∂q_{ij} es la diferencia de flujos o concentración de sedimentos suspendidos para *i* y el parámetro *j*, $\partial\theta_j$ es la diferencia del parámetro inicial y su valor variado, θ es el valor inicial del parámetro y *q* es el valor inicial de flujos o concentración de sedimentos suspendidos. La matriz de información (*Z*), es calculada al multiplicar la matriz de sensibilidad (*A*) por su traspuesta, es decir *Z=ATA;* donde *T* es la traspuesta. Esto da como resultado una matriz de *m* x *m*. Esta matriz es utilizada para calcular la propagación de errores (γ^2), utilizando la siguiente expresión:

$$\gamma^2 = \frac{1}{n}\left[\sum z_{ii}\right]\left[\Delta\theta\right]^2 \qquad (4.2)$$

Donde z_{ii} es el valor de la diagonal de la matriz de información *Z* y $\Delta\theta$ es el cambio en el parámetro evaluado.

Tabla 4.5. Parámetros hidrológicos utilizados en el análisis de sensibilidad.

Parámetro (unidades)	Descripción
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo
INFILT (pulg/hr)	Infiltración
KVARY (1/pulg)	Recesión de agua subterránea
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero
BASETP	Fracción de ET del flujo base
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción
UZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona superior del suelo
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo
IRC	Recesión del interflujo
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable

Tabla 4.6. Parámetros de transporte de sedimentos suspendidos, utilizados en el análisis de sensibilidad.

Parámetro (unidades)	Descripción
SMPF	Factor de prácticas de manejo
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregado que decrece diariamente por compactación
COVER	Fracción cubierta del suelo
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelo
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelo
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados
ACCSDP(ton/acre. Día)	Tasa de acumulación de sedimentos
REMSDP (/día)	Fracción de sólidos removidos por día
KSAND	Coeficiente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF
EXPSND	Exponente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF
TAUCD (lb/pies^2)	Esfuerzo crítico para deposición de los limos
TAUCS (lb/pies^2)	Esfuerzo crítico para arrastre de los limos
M (lb/pies^2.d)	Coeficiente de erodabilidad de los limos
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo crítico para deposición de las arcillas
TAUCS (lb/ pie^2)	Esfuerzo crítico para arrastre de las arcillas
M (lb/ pie^2.d)	Coeficiente de erodabilidad de las arcillas

4.3.2 Generación de la Muestra Aleatoria de los Parámetros Seleccionados para el ASG

Como resultado del análisis de sensibilidad preliminar, se seleccionaron los parámetros a ser analizados utilizando sensibilidad global mediante simulación Monte Carlo. El análisis de sensibilidad global, requiere generar una muestra con parámetros aleatorios con la cual se llevaron a cabo diferentes corridas en el modelo. La muestra de parámetros fue generada utilizando el programa de computadora SimLab 2.2 (2004) desarrollado por Joint Research Centre - European Commission.

Para generar la muestra aleatoria de parámetros, SimLab requiere establecer la distribución de probabilidades para cada uno de los parámetros seleccionados y el rango de posibles valores que puede tener cada uno. La información acerca de la distribución de probabilidades de los parámetros del modelo es escasa. Para estos casos Benaman y Shoemaker (2004) sugieren escoger distribuciones de probabilidad uniformes. De acuerdo a ellos, esta aproximación es consistente con otros estudios. El rango de valores fue tomado de los valores sugeridos por los desarrolladores del modelo Donigian y Love (2003) (Ver Apéndice 2).

Con base en esta información se generó una matriz con valores aleatorios de tamaño k x m donde k es el tamaño de la muestra y m el número de parámetros evaluados. **HSPF** fue corrido para la muestra generada y los valores de flujo y concentración de sedimentos suspendidos simulados por el modelo, fueron almacenados para ser evaluados. Además se llevo a cabo el análisis de sensibilidad mediante análisis de regresión utilizando SimLab (2004).

4.3.3 Análisis de Incertidumbre (AI)

El análisis de incertidumbre consistió en generar la distribución probabilística de los flujos y concentraciones de sedimentos obtenidos de las simulaciones realizadas por **HSPF** a partir de la muestra

aleatoria. El fin de esto fue establecer si el rango de valores posibles de los diferentes parámetros evaluados, se encuentran sesgando los resultados de la simulación.

4.3.4 Análisis de Sensibilidad en SimLab(AS)

El análisis de sensibilidad realizado en SimLab tiene el propósito de determinar relaciones existentes entre los parámetros del modelo evaluados y el resultado del análisis de incertidumbre. SimLab realiza el análisis de sensibilidad utilizando relaciones estadísticas entre los datos de entrada y los de salida del modelo, de esta forma se crean series de datos de la forma:

$$[y_i, x_{i1}, x_{i2}, \ldots\ldots x_{ik}] \quad i = 1 \text{ hasta m}$$

donde k es el número de variables independientes, o sea los parámetros del modelo, y m es el tamaño de la muestra. Estos datos son almacenados por el programa para llevar a cabo análisis de sensibilidad utilizando diagramas de dispersión, análisis de regresión, medidas de correlación y transformaciones a rango.

En los análisis de diagrama de dispersión se utiliza el Coeficiente de Correlación Producto-Momento de Pearson (PEAR Pearson Product Moment Correlation Coefficient) y El Coeficiente de Spearman (SPEA Spearman Coefficient). Para el análisis de regresión el Coeficiente de Regresión Estandarizado (SRC Standardised Regression Coefficients) es utilizado. La correlación es evaluada con el Coeficiente de Correlación Parcial (PCC Partial Correlation Coefficients). La transformación a rango se evalúa mediante Coeficiente de Regresión Estandarizado a Rango (SRRC Standardised Rank Regression Coefficients) y el Coeficiente de Correlación Parcial del Rango PRCC (Partial Rank Correlation Coefficients).

El coeficiente de correlación producto momento de Pearson (PEAR) utiliza una técnica simple de análisis de sensibilidad. Esta metodología consiste en generar diagramas de puntos para cada una de las variables independientes "*x*" y los datos de salida "*y*":

$$[\, x_{ij}, y_{j},] \qquad i = 1 \text{ hasta m}$$

donde *m* es el tamaño de la muestra. Esta metodología permite descubrir relaciones entre las variables independientes "*x*" y los datos de salida "*y*" del modelo, especialmente cuando son pocas las variables que determinan los datos de salida.

El coeficiente de Spearman (SPEA) es básicamente lo mismo que PEAR, pero este utiliza los rangos de las variables en lugar de los valores:

$$\text{SPEA (Y, Xj) = PEAR (R(Y), R(Xj))} \tag{4.5}$$

en la cual, R corresponde al rango de cada variables para el correspondiente valor de esta.

Como se mencionó con anterioridad, el Coeficiente de Correlación Estandarizado (SRC) resulta de un análisis de regresión de los parámetros del modelo x_i y los datos de salida y_i. Una regresión lineal es utilizada en este método:

$$y_i = b_0 + \sum_j b_j x_{ij} + \varepsilon_i \tag{4.6}$$

donde *i* varía desde 1 hasta el tamaño de la muestra *m*, y *j* varía desde 1 hasta el número de variables de entrada *k*, b_o *y* b_j corresponden a coeficientes de regresión que deben ser determinados y ε_i es el error residual.

SimLab determina los valores de b_j, utilizando el método de los mínimos cuadrados. Mediante estas relaciones, la ecuación de regresión estará dada por:

$$(y-\bar{y})/\hat{s} = \sum_j (b_j \hat{s}_j / \hat{s})(x_{j-}\bar{x}_j)/\hat{s}_j \tag{4.7}$$

donde:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{m} y_i / m, \qquad \bar{x}_j = \sum_{i=1}^{m} x_{ij} / m \tag{4.8}$$

$$\hat{s} = \left[\sum_{i=1}^{m} (y_i - \bar{y})^2 / (m-1) \right]^{1/2} \tag{4.9}$$

$$\hat{s}_j = \left[\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / (m-1) \right]^{1/2} \tag{4.10}$$

El término $b_j \hat{s}_j / \hat{s}$ en la ecuación es el SRC, el cual determina el efecto de la variación de cada variable independientemente de las demás.

El Coeficiente de Correlación Parcial (PCC), como su nombre lo indica, está basado en conceptos de correlaciones parciales. Para una secuencia de observaciones [x_{ij}, y_j,], la correlación γ_{xjy} entre las variables de entrada X_j y de salida Y está dada por:

$$r_{xjy} = \frac{\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_j)(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^{m} (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \tag{4.11}$$

donde $\bar{x}$ y $\bar{y}$ son los valores promedios de la variables. El coeficiente de correlación es una medida de la relación lineal entre X_j y Y. Los coeficientes de correlación parcial entre las variables, son obtenidos a través de una secuencia de modelos de regresión:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{h \neq j} b_h x_h \tag{4.12}$$

$$\hat{X}_j = c_0 + \sum_{h \neq j} c_h x_h \tag{4.13}$$

donde $\hat{Y}$ y $\hat{X}$ corresponden a los nuevos valores obtenidos de la regresión. Los resultados obtenidos son utilizados para definir dos nuevas variables $Y - \hat{Y}$ y $X_j - \hat{X}_j$. La correlación parcial está definida por los coeficientes de correlación entre las nuevas variables.

El método de correlaciones de rango consiste en reemplazar los datos por el correspondiente valor de rango de la variable evaluada. El coeficiente de Regresión para Rango Estandarizado (SRRC) utiliza la misma metodología descrita para SRC reemplazado los valores por el correspondiente rango de cada uno. De igual forma, el Coeficiente de Correlación para Rango Parcial (PRCC) utiliza el mismo procedimiento de cálculo para PCC, reemplazando igualmente los valores por el rango correspondiente.

4.4 Calibración y Validación del Modelo

La calibración y validación del modelo se llevó a acabo utilizando el método presentado por Aqua Terra Consultants (Aqua Terra Consultants, 2004e, 2004f). Este método consiste en variar los parámetros hidrológicos o de transporte de sedimentos del modelo con el fin de lograr el mejor ajuste entre los datos simulados y los observados.

Los parámetros fueron variados de acuerdo a los rangos establecidos por los desarrolladores del modelo. USEPA (2000) presenta los valores recomendados para los parámetros hidrológicos, igualmente Donigian y Love (2003) presentan los rangos recomendados para la calibración de transporte de

sedimentos. Las variables calibradas en el presente trabajo fueron flujo promedio diario y mensual para la calibración hidrológica, y concentración de sedimentos suspendidos promedio diario y mensual para transporte de sedimentos.

Previo al proceso de calibración, el modelo fue corrido para verificar que las especificaciones del modelo fueran correctas. Así mismo las curvas de Elevación-Volumen para los lagos simulados fueron editadas en el módulo *FTABLES*. Los flujos adicionales y traspaso de agua entre las diferentes cuencas debido a la existencia de interconexiones fueron establecidas utilizando los flujos promedios diarios de las salidas de los túneles obtenidos del USGS (Molina-Rivera, 2005).

Para iniciar el proceso de calibración del modelo, se ajustaron los parámetros relacionados con la escorrentía directa. Estos parámetros son *LZSN* y *UZSN* que representan el almacenamiento en la zona baja y alta del terreno. Valores altos de estos parámetros producen flujos bajos, debido a que disminuyen el flujo sobre el terreno y aumentan la oportunidad de evaporación. El segundo grupo de parámetros ajustados correspondió a los involucrados en procesos de almacenamiento de humedad y evapotranspiración. Estos parámetros fueron el índice de infiltración *INFILT* y el coeficiente que define la oportunidad de evapotranspiración *LZETP*. El tercer grupo de parámetros ajustados simulan la interacción del flujo en el río con el agua subterránea. Estos parámetros son *AGWRC* y *KVARY*. Estos representan la recesión de agua subterránea. Los parámetros *DEEPFR* y *BASETP* controlan las interacciones entre el agua subterránea y la evapotranspiración durante flujos bajos. El último grupo de parámetros ajustados fueron los relacionados con la forma del hidrograma. Estos son el *INTFW* que determina la entrada de agua de la superficie al interflujo afectando los flujos picos, e *IRC* que determina la recesión del interflujo.

Luego de calibrar la hidrología de la cuenca, el siguiente paso fue calibrar los parámetros relacionados con el transporte de sedimentos, tanto en el terreno como en el río. El primer paso para la

calibración de sedimentos, fue establecer las características propias del río y material del lecho. Los parámetros ajustados fueron, *BEDWID* para determinar al ancho de la sección transversal del río y que fue medida en campo, POR porosidad del material del lecho, y *D*, *W* y *RHO* que corresponden al diámetro efectivo, la velocidad de caída en agua y la densidad real de partículas de las diferentes fracciones del lecho (Arenas, Limos y Arcillas), respectivamente.

Luego de establecidas las características propias del material del lecho y el río, se procedió a ajustar los parámetros relacionados en la simulación de procesos de disgregación y lavado de las partículas del suelo en el segmento permeable (*PERLND*). Estos corresponden a *SMPF* o factor de prácticas de manejo del suelo, *KRER* y *JRER* coeficiente y exponente de la ecuación de disgregación del suelo, *AFFIX* fracción del suelo disgregado que decrece diariamente debido a procesos de compactación, *COVER* fracción del suelo cubierta, *KSER* y *JSER* coeficiente y exponente de la ecuación de lavado de sedimentos, *KGER* y *JGER* coeficiente y exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelo, *NVSI* aporte atmosférico de sedimentos y *DETS* almacenamiento de sedimentos.

El segundo grupo de parámetros ajustados fueron los relacionados con la simulación de procesos lavado de las sólidos en el segmento impermeable (*IMPLND*). Los parámetros *KEIM*, JEIM, *ACCSDP* y *REMSDP* corresponden a este grupo. Los primeros dos representan el coeficiente y el exponente de la ecuación de lavado de sedimentos. *ACCSDP* es la tasa de acumulación de sedimentos y *REMSDP* la fracción de sólidos removidos por día. Para el arrastre de arenas se ajustaron los parámetros *KSAND* y *EXPSND.* En el arrastre de limos y arcillas los parámetros ajustados fueron el esfuerzo cortante crítico para arrastre (*TAUCS*), el esfuerzo cortante crítico para deposición (*TAUCD*) y el coeficiente de erodabilidad (*M*).

Para llevar a cabo el proceso de calibración y validación en **HSPF** en el modelo desarrollado, se utilizaron en total ocho (8) estaciones del USGS. La Tabla 4.7 presenta las estaciones utilizadas y los

periodos de calibración utilizados en cada una de las subcuencas para la cuenca del Río Grande de Arecibo. Los periodos de calibración fueron seleccionados teniendo en cuenta la disponibilidad de datos de flujo y concentraciones de sedimentos suspendidos.

Tabla 4.7. Estaciones de monitoreo y periodos de calibración utilizados.

Número de identificación y nombre de la estación	Periodo de Calibración	
	Inicio	Final
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	2000/10/01	2001/09/30
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	2000/10/01	2001/09/30
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	2000/10/01	2001/09/30
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	1996/10/01	1998/09/30
	1999/10/01	2001/09/30
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	1999/09/30	2001/09/29
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	1995/10/01	1998/09/30*
	1995/10/01	2000/02/29
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	1995/10/01	1998/09/30*
	2000/10/01	2001/03/01
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	2001/10/01	2002/09/30

* Periodos de calibración para flujo y sedimentos, respectivamente.

Adicionalmente a los datos disponibles de flujo y concentraciones de sedimentos, la calibración en los lagos Dos Bocas y Caonillas, involucró también la utilización de estudios de batimetría realizados por el USGS para el Lago Caonillas (Soler-López, 2001b) y Dos Bocas (Soler-López, 2001a), los cuales permiten determinar la cantidad se sedimentos exportados a los lagos teniendo en cuenta la pérdida de capacidad de estos. Las Tablas 4.8 y 4.9 presentan los resultados del estudio de batimetría para el Lago Dos Bocas y Lago Caonillas, respectivamente.

Tabla 4.8. Acumulación de sedimentos en el Lago Dos Bocas (Fuente: Soler-López, 2001a).

Año	1994	1997	1999
Tiempo desde la construcción (Años)	52	55	57
Acumulación de sedimentos en millones de pies cúbicos	571.74	609.88	687.22
Tasa de acumulación de sedimentos en millones de pies cúbicos por año	11.34	12.71	38.67

Tabla 4.9. Acumulación de sedimentos en el Lago Caonillas (Fuente: Soler-López, 2001b).

Año	1990	1995	2000
Tiempo desde la construcción (Años)	42	47	52
Acumulación de sedimentos en millones de pies cúbicos	226.36	242.25	472.86
Tasa de acumulación de sedimentos en millones de pies cúbicos por año	-	3.17	46.12

(-) Dato no disponible

Los periodos de validación utilizados se presentan en la Tabla 4.10. Debido a la disponibilidad de datos, la mayoría de estos periodos fueron de un (1) año con excepción del Río Caonillas y Río Saliente donde los de flujo y sedimentos son extensos y el periodo de validación fue de cuatro (4) años.

Tabla 4.10. Estaciones de monitoreo y periodos de validación utilizados.

Número de identificación y nombre de la estación	Periodo de Validación	
	Inicio	Final
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	2001/10/01	2002/09/30
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	2001/10/01	2002/09/30
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	2001/10/01	2002/09/30
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	1999/10/01	2002/09/30
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	2001/09/30	2002/09/29
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	1998/10/01	2002/09/30*
	2000/03/01	2002/09/30
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	1998/10/01	2002/09/30*
	2001/10/01	2002/09/30

* Periodos de calibración para flujo y sedimentos, respectivamente.

Con el fin de determinar la calidad de los resultados obtenidos en la simulación, se utilizaron indicadores estadísticos que permitieron cuantificar las relaciones entre los datos observados y los simulados por el modelo. Estos indicadores fueron determinados utilizando el software **GenScn** incluido en **WinHSPF**, el cual permite el análisis estadístico de dos series de tiempo que contengan igual número de datos.

Uno de los indicadores utilizados fue el coeficiente de correlación *R* el cual es calculado mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^{n}(O_j - \overline{O})(S_j - \overline{S})}{\left[\sum_{j=1}^{n}(O_j - \overline{O})^2\right]^{0.5}\left[\sum_{j=1}^{n}(S_j - \overline{S})^2\right]^{0.5}} \tag{4.14}$$

donde O_J representa el valor observado, S_J el valor simulado, $\overline{O}$ el valor promedio de los valores observados, $\overline{S}$ el valor promedio de los datos simulados y n el número de datos.

El coeficiente de correlación establece una relación lineal entre los valores observados y los simulados. El rango de este va de cero (0) a uno (1), donde el valor de uno (1) significa que los valores observados fueron iguales a los valores simulados. También, se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) el cual es definido como el coeficiente de correlación (ecuación 4.12) elevado al cuadrado. Donigian (2000) establece que valores de R^2 mayores a 0.7 son aceptables para simulación de flujo diario en **HSPF**, y valores mayores de 0.75 son aceptables para flujos promedios mensuales. Este criterio fue seleccionado para verificar la calidad de los resultados de la calibración del modelo.

También se utilizó como criterio para calibración del modelo, el error relativo (*E*), el cual establece relación entre los valores observados (*O*) y simulados (*S*).

$$E = \frac{O - S}{O} * 100 \tag{4.15}$$

Donigian (2000) establece que el criterio para la calibración en **HSPF** utilizando el error relativo, depende del parámetro que se este calibrando, valores menores o iguales a 15 % resultan aceptables para la calibración de flujo. Por otro lado, valores menores o iguales a 30 % resultan aceptables para la calibración de sedimentos. La alta tolerancia para datos de sedimentos, se debe a la incertidumbre generada por los datos utilizados para la calibración del modelo. La concentraciones de sedimentos promedias diarias son determinadas por el USGS tomando una muestra en del río durante el día en un determinado punto de este. Estas condiciones generan gran variabilidad, debido a que las concentraciones pueden variar ampliamente durante el día igualmente la distribución de concentraciones varia dependiendo si la muestra es tomada en la orilla o en el centro del canal. Esta situación no ocurre para

medición de flujos, ya que estos se monitorean cada 15 minutos y al final se obtiene un promedio diario para todos los registros del día. Los criterios de evaluación mencionados fueron seleccionados para determinar la calidad de la simulación en la calibración del presente trabajo.

Otro de los indicadores más usados para determinar la aproximación de los datos simulados es el Indicador de Eficiencia de Nash y Sutcliffe NSE (por sus siglas en ingles Nash-Sutcliffe Efficiency). Este indica lo bueno de la relación de los datos observados y simulados en una línea de relación 1:1 (Nash y Sutcliffe, 1970). El NSE es calculado mediante la siguiente expresión:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n} (O_j - S_j)^2}{\sum_{j=1}^{n} \left(O_j - \overline{O}_j\right)^2} \tag{4.16}$$

donde O_j representa el valor observado, S_j el valor simulado y $\overline{O}_j$ el valor medio de los valores observados.

Adicionalmente, se utilizó en el análisis de los datos, el indicador estadístico que determina la raíz cuadrada del promedio de los errores cuadrados RMSE (por sus siglas en ingles Root Mean Squared Error). El indicador RSME es determinado mediante la siguiente relación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \left(S_j - O_j\right)^2} \tag{4.17}$$

donde n representa el número de datos, O_j representa el valor observado, y S_j el valor simulado.

Por último se utilizó el indicador de error promedio absoluto MAE (por sus siglas en ingles Mean Absolute Error) el cual representa el valor promedio de los errores de los datos analizados, y es determinado mediante la siguiente expresión:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|S_j - O_j\right| \tag{4.18}$$

Estos indicadores RMSE y MAE, establecen un valor promedio de las diferencias entres los valores simulados por el modelo y los datos observados.

Capítulo 5

Resultados y Discusión

5.1 Análisis de Sensibilidad

5.1.1 Análisis de Sensibilidad Preliminar

Un total de 36 parámetros fueron utilizados en el análisis de sensibilidad preliminar (Tablas 4.5 y 4.6). El análisis de sensibilidad global fue realizado para la cuenca del Río Yunes para el periodo 2001 y 2002, siguiendo el procedimiento descrito por Benaman y Shoemaker (2004) los cuales seleccionaron subcuencas en la cuenca del Lago Cannoonsville con el fin de realizar análisis de sensibilidad global. En el presente trabajo, el análisis de sensibilidad preliminar fue llevado a cabo utilizado el procedimiento descrito en la metodología. Se determinó la matriz de información (*Z*) de 36 x 36 variando cada parámetro en 10%. Con el fin de determinar los parámetros más sensibles del modelo para simulación de flujo y concentraciones sedimentos suspendidos. Las Tablas 5.1 y 5.2 presentan los resultados obtenidos de la matriz de información para el análisis de sensibilidad de los parámetros hidrológicos y de transporte de sedimentos evaluados.

Tabla 5.1. Resultados del análisis de sensibilidad para parámetros hidrológicos.

Parámetro	$\Delta\theta^2$	γ^2
LZSN	0.36	7.13
INFILT	0.0003	50.72
KVARY	0.01	6.26
AGWRC	0.0096	260.54
INFEXP	0.04	37.52
INFILD	0.04	4.43
DEEPFR	0.0001	0.10
BASETP	0.0004	0.75
AGWETP	0.01	0.76
CEPSC	0.0001	0.19
UZSN	0.0127	6.51
INTFW	0.01	25.10
IRC	0.0025	4.99
LZETP	0.0001	0.91
RETSC	0.0001	6.54

El análisis de sensibilidad para los parámetros hidrológicos (Tabla 5.1) indicó que los parámetros que presentaron mayor sensibilidad para el área de estudio, fueron *LZSN*, *INFILT*, *KVARY, AGWRC*, *INFFEXP*, *INFILD*, *UZSN*, *INTFW*, *IRC*, y *RETSC*. El parámetro *AGWRC* presentó mayor valor de γ^2, lo cual indica que los resultados del modelo presentan gran sensibilidad a la interacción del flujo base con el acuífero. Los demás parámetros que presentaron alta sensibilidad son los relacionados con el flujo en el perfil del suelo, es decir, los involucrados en los procesos de infiltración, percolación y flujo a través del perfil del suelo (interflujo). El modelo presentó también sensibilidad para la capacidad de retención en la superficie impermeable simulado con el parámetro *RETSC*.

Análisis de sensibilidad de **HSPF** llevado a cabo por Díaz-Ramírez (2004) en la cuenca del Río Caonillas en Puerto Rico, mostraron sensibilidad de **HSPF** para *INFILT*, *AGWRC*, *CESPSC*, *INTFW* y *RETSC*. Senior y Koerkle (2003) realizaron análisis de sensibilidad para **HSPF** en cuencas de Penssylvania, Maryland y Delaware en Estados Unidos, encontrando que el modelo presentaba mayor sensibilidad para los parámetros *LZSN*, *UZSN* y *AGWRC*, los cuales afectan los volúmenes de escorrentía. Por otro lado, indican que los flujos pico presentaron sensibilidad a los parámetros *INFILT* e *INTFW*. Así mismo Fontaine y Jacomino (1997) encontraron que los parámetros *AGWRC*, *LZSN* y *UZSN* presentaban gran sensibilidad en el modelo para la cuenca de la quebrada Whiteoak, ubicada a 20 millas al oeste de Knosville, Tennessee, en Los Estados Unidos.

La Tabla 5.2 presenta los resultados obtenidos de la matriz de información para los parámetros de transporte de sedimentos, los resultados indicaron que los parámetros *COVER*, *JSER*, *KGER*, *JGER*, *KSAND*, *EXPSND*, *TAUCS* y *M*, presentan alta sensibilidad para **HSPF** en el área de estudio. Los parámetros *COVER*, *JSER*, *KGER* y *JGER* se encuentran relacionados con el arrastre de sedimentos debido a las condiciones de superficie del suelo. Los demás parámetros *KSAND*, *EXPSND*, *TAUCS* y *M* se encuentran relacionados con el arrastre de arenas, limos y arcillas en el río.

Tabla 5.2. Resultados del análisis de sensibilidad para parámetros de transporte de sedimentos.

Parámetro	Delta^2	γ^2
SMPF	0.01	0.14
KRER	0.0002	0.14
JRER	0.04	0.26
AFFIX	0.0	0.01
COVER	0.0077	6.68
KSER	0.0001	0.06
JSER	0.04	2.62
KGER	0.0	1.07
JGER	0.01	5.55
KEIM	0.0001	0.24
JEIM	0.04	0.67
ACCSDP	0.0	0.08
REMSDP	0.0	0.01
KSAND	0.0001	73.32
EXPSND	0.1537	19,644.09
Limos		
TAUCD	0.04	0.01
TAUCS	0.0625	129.64
M	0.0001	5.87
Arcillas		
TAUCD	0.04	0.01
TAUCS	0.0625	129.64
M	0.0001	5.87

Senior y Koerkle (2003) encontraron sensibilidad en los parámetros que afectan los procesos de disgregación del suelo y lavado en la superficie en el suelo *KRER*, *JRER*, *KSER*, *JSER* y los parámetros *KEIM*, *JEIM* para la superficie impermeable. Para el proceso en el río los parámetros más sensibles fueron *TAUD* y *TAUS*. Díaz-Ramírez (2004) encontró sensibilidad para los parámetros *COVER*, *JSER*, *KGER*, *JGER*, *JEIM*, *EXPSND* y *TAUCS*. Por su parte Fontaine y Jacomino (1997) encontraron que los parámetros *KGER* y *JGER* resultaron críticos para la calibración del modelo.

5.1.2 Análisis de Incertidumbre

En total se seleccionaron 15 parámetros para el análisis de sensibilidad global, los cuales fueron seleccionados con base al análisis de sensibilidad preliminar realizado. Estos parámetros coinciden con

los reportados en la literatura y trabajos previos. Los parámetros hidrológicos seleccionados fueron en total nueve (9) *LZSN*, *INFILT*, *AGWRC*, *INFEXP*, *INFILD*, *UZSN*, *INTFW, IRC* y *RETSC*. El parámetro *KVARY* no fue seleccionado, pues este deber ser cero (0) cuando se varía el valor de *AGWRC* (USEPA, 2000). Los parámetros de transporte de sedimentos seleccionados para el ASG fueron en total seis (6) *JSER*, *KGER*, *JGER*, *KSAND*, *EXPSND* y *M*. Los parámetros *COVER* y *TAUCS*, dependen de las condiciones de cobertura, y la forma de la sección transversal del río, respectivamente por lo cual los valores de estos parámetros pueden considerarse que se encuentran en un rango de valores aceptables para el modelo.

Utilizando el rango de valores de cada parámetro (Tabla 5.3), y presumiendo distribución normal (Benaman y Shoemaker, 2004) se generó una muestra aleatoria utilizando SimLab en la que se variaron todos los parámetros. En total se llevaron a cabo cien (100) corridas del modelo con el fin realizar el análisis de incertidumbre. La muestra utilizada es presentada en el Apéndice 3.

Tabla 5.3. Rango de valores y distribución utilizada para los parámetros hidrológicos y de transporte de sedimentos.

	Valores Posibles		
	MIN	**MAX**	**Distribución**
LZSN	2.00	15.00	Uniforme
INFILT	0.001	0.5	Uniforme
AGWRC	0.85	0.999	Uniforme
INFEXP	0.00	3.00	Uniforme
INFILD	0.00	2.00	Uniforme
UZSN	0.05	2.00	Uniforme
INTFW	1.00	10.00	Uniforme
IRC	0.30	0.85	Uniforme
RETSC	0.01	0.30	Uniforme
JSER	1.00	3.00	Uniforme
KGER	0.00	10.00	Uniforme
JGER	1.00	5.00	Uniforme
KSAND	5.00	3.00	Uniforme
EXPSND	0.00	5.00	Uniforme
M	0.00	1.00	Uniforme

El análisis de incertidumbre fue realizado utilizando SimLab. Se determinaron las probabilidades de distribución de flujo y concentración de sedimentos suspendidos medios anuales, utilizando los valores obtenidos de las cien (100) corridas del modelo para la muestra aleatoria. Estos resultados se presentan en el Apéndice 4. Los resultados obtenidos en el análisis de incertidumbre, se presentan en el Apéndice 5. Los datos fueron generados para el periodo de Octubre de 2001 a Septiembre de 2002 en el Río Yunes.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos en el análisis de incertidumbre, se utilizaron los datos observados en la cuenca reportados por el USGS para el periodo de simulación y datos simulados por un modelo previamente establecido y calibrado para la cuenca.

La Tabla 5.4 presenta los valores de los parámetros calibrados para el modelo preestablecido. Este modelo presentó coeficientes de correlación de 0.86 y 0.93, coeficientes de determinación de 0.75 y 0.87, y NSE de 0.69 y 0.68 para flujos promedios diarios y mensuales, respectivamente. Para concentración promedia de sedimentos suspendidos se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.84 y 0.89, coeficientes de determinación de 0.7 y 0.78, y NSE de 0.68 y 0.67 para valores diarios y mensuales respectivamente. Los coeficientes son considerados apropiados para la simulación. Por lo cual el modelo preestablecido resultó adecuado para las condiciones de la cuenca, de acuerdo a los criterios establecidos por Donigian (2000).

La Figura 5.1 presenta la distribución de flujos obtenida del análisis de incertidumbre. El valor de flujo medio anual observado en la cuenca evaluada por la estación del USGS correspondió a 38.83 pies^3/seg, el valor de flujo medio anual simulado por el modelo preestablecido y calibrado fue de 69.48 pies^3/seg, estos valores están representados por puntos en la gráfica.

Tabla 5.4. Parámetros utilizados en la simulación del Río Yunes para comparar los resultados del análisis de incertidumbre (Modelo preestablecido).

Parámetro	Valor
LZSN (pulg)	6
INFILT (pulg/hr)	0.16
AGWRC	0.98
INFEXP	2
INFILD	2
UZSN (pulg)	1.0152
INTFW	1
IRC	0.5
RETSC (pulg)	0.1
JSER	2
KGER	0.01
JGER	1
KSAND	0.1
EXPSND	3.92
M (lb/pie^2.d)	0.1

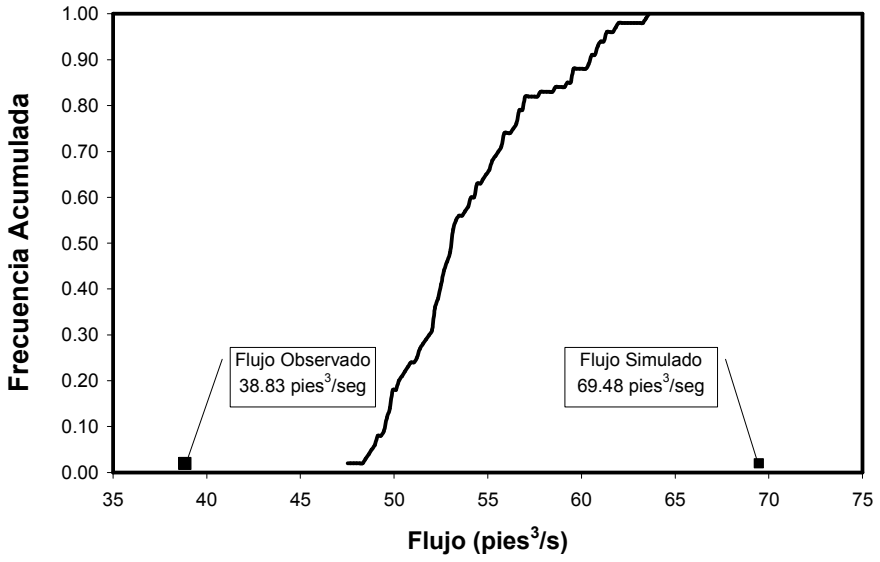


Figura 5.1. Distribución de los flujos simulados por el modelo HSPF para la cuenca del Río Yunes de Octubre de 2001 a septiembre de 2002.

El análisis visual de la Figura 5.1 indica que de acuerdo al rango de valores establecidos para los diferentes parámetros evaluados en el análisis de incertidumbre, el modelo está sobrestimando los flujos en comparación con el flujo medido. Además se encuentra subestimando el flujo simulado por el modelo preestablecido. El valor medio de flujo para los valores obtenidos en el análisis de incertidumbre resultado de las 100 corridas del modelo, es de 54.1 pies^3/seg. Esto representó un error 39.3 % en comparación con el flujo observado, y -22.1.2 % comparado con el flujo simulado por el modelo preestablecido.

La Figura 5.2 presenta la distribución obtenida del análisis de incertidumbre para concentración de sedimentos suspendidos. El valor medio anual observado reportado por el USGS fue de 66.58 mg/l, y el valor medio anual simulado por el modelo preestablecido fue de 52.18 mg/l. El valor medio para el análisis de incertidumbre resultado de las 100 corridas, fue de 629 mg/l. Esto representa un error de -1,105 % comparado con los datos observados y -844.8 % para los datos simulados por el modelo preestablecido. Estos resultados indican que el modelo **HSPF**, está sobrestimando la concentración de sedimentos suspendidos y que el rango de valores establecidos para los parámetros de simulación evaluados, no es adecuado para el área de estudio, por lo cual resulta en valores simulados altos.

Para determinar los efectos del cambio del cada uno de los parámetros sobre los datos simulados por **HSPF** y establecer cual ó cuales de los parámetros están sesgando los resultados, se llevó a cabo análisis de sensibilidad para el rango de valores de cada parámetro. Cada uno de los 15 parámetros evaluados, fue variado de su valor mínimo a su valor máximo, en total se establecieron diez (10) intervalos para cada parámetro resultando un total de ciento cincuenta (150) corridas del modelo.

Para determinar la sensibilidad de los parámetros se realizaron gráficas para comparar el cambio porcentual de cada parámetro con los cambios porcentuales en los datos simulados que se obtienen del análisis de sensibilidad del rango, con los simulados por el modelo preestablecido y los datos observados.

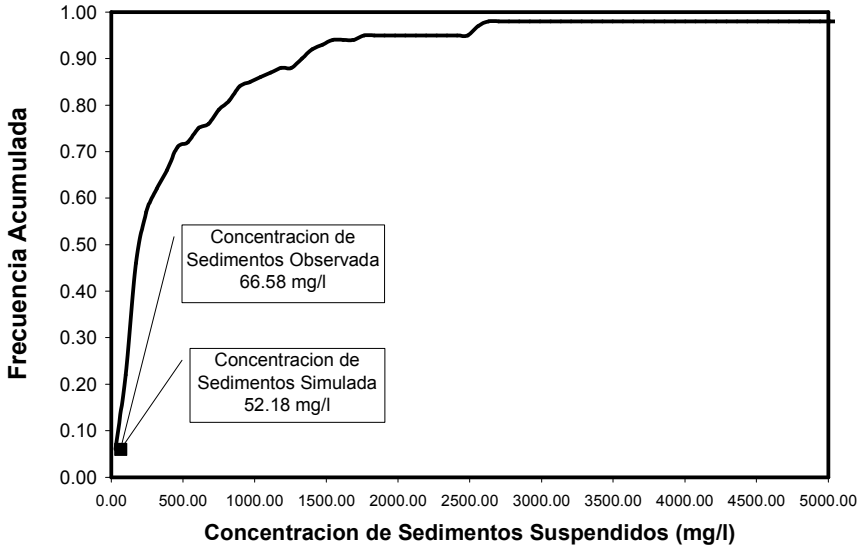


Figura 5.2. Distribución de las concentraciones de sedimentos simulados por el modelo HSPF para el Río Yunes de octubre de 2001 y septiembre de 2002.

Las Figura 5.3 y 5.4 presentan las gráficas utilizadas para comparar los efectos del rango de los parámetros evaluados, sobre los flujos simulados por el modelo preestablecido y los flujos observados, respectivamente. Observando las gráficas se puede concluir que el parámetro que presenta mayor sensibilidad al rango, es *LZSN*, sin embargo los porcentajes de variación se encuentran dentro de los rangos aceptables, para ambos casos, de acuerdo con Benaman y Shoemaker (2004), los cuales indican que cambios menores de 114% entre los datos, pueden ser aceptables y el rango de valores puede ser aceptado. Las gráficas también muestran que los parámetros *INFILT*, *INTFW* y *RETSC* no presentaron mayores diferencias al rango presentando líneas casi paralelas al eje de las abscisas, indicando que los valores de estos son adecuados para el modelo evaluado.

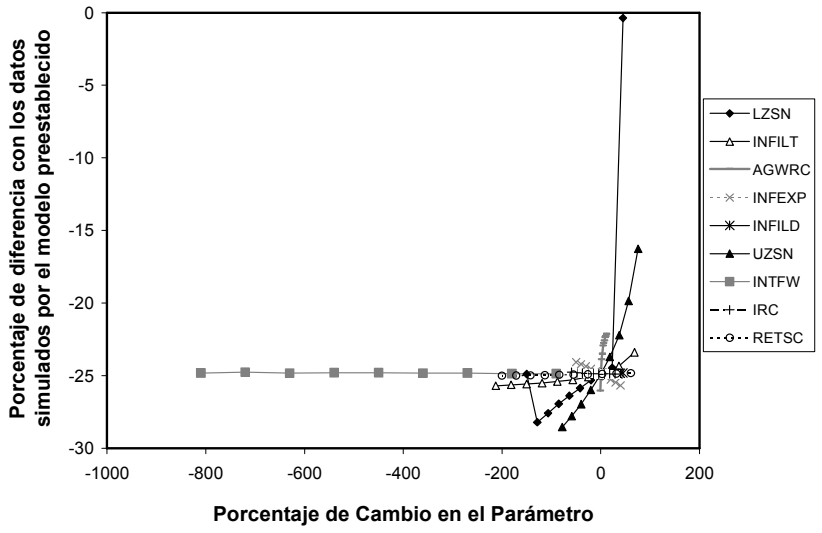


Figura 5.3. Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para flujos simulados por el modelo preestablecido.

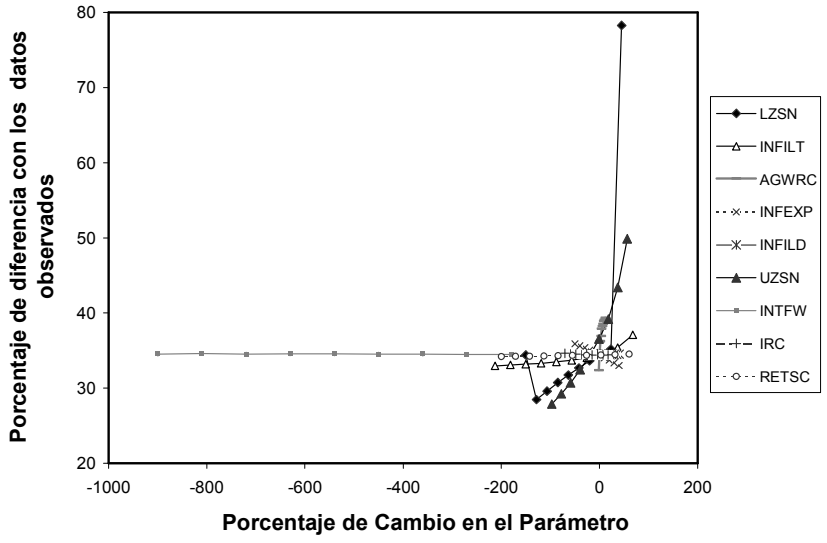


Figura 5.4. Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para flujos observados.

El análisis realizado para los parámetros de transporte de sedimentos (Figuras 5.5 y 5.6), indicó que los parámetros *KGER* y *KSAND* producen valores extremadamente altos para el rango establecido. El parámetro *KGER* que es el coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelo, presenta un rango de 0 a 10. Este parámetro es usado cuando existen evidencias de cárcavas en el área de estudio, dependiendo de los diferentes usos de terreno. El parámetro *KSAND* es el exponente de la ecuación de transporte de arenas en el río. El rango de este varía entre 0 y 5. Los resultados indicaron que existen diferencias muy altas para este rango de valores. Estos resultados indican que los valores de parámetros *KGER* y *KSAND* deben ser evaluados cuidadosamente durante el proceso de calibración de sedimentos.

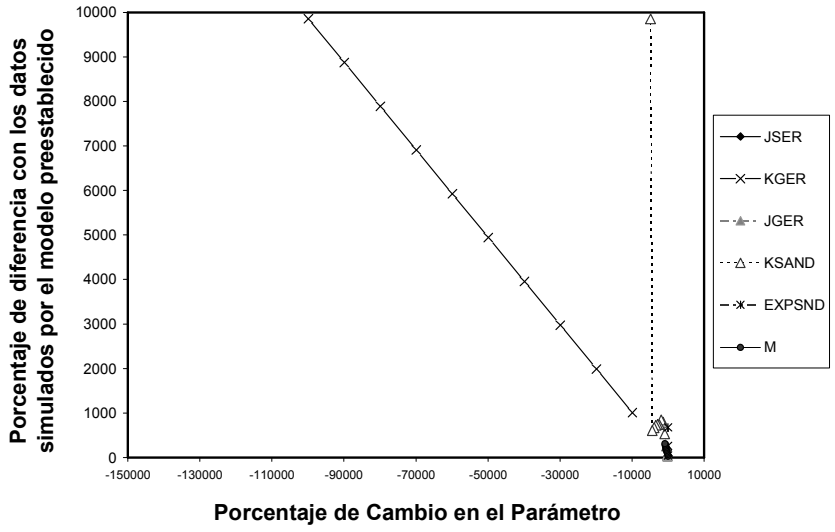


Figura 5.5. Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para concentración de sedimentos suspendidos simulados por el modelo preestablecido.

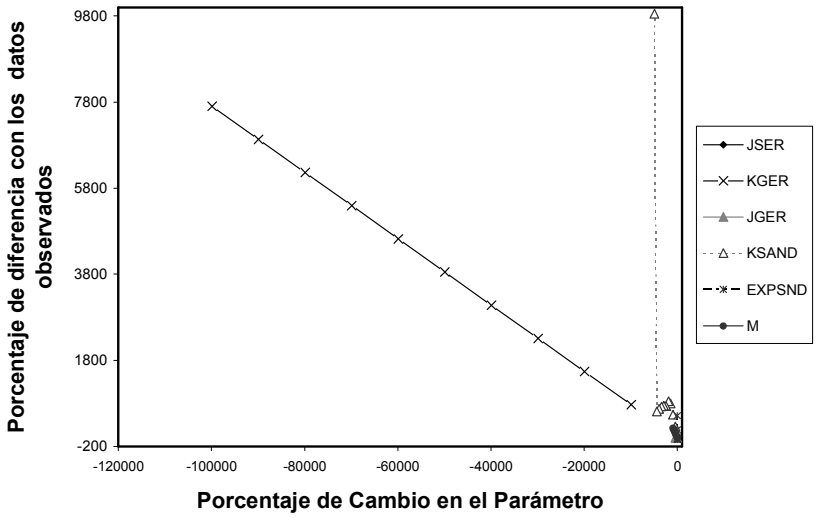


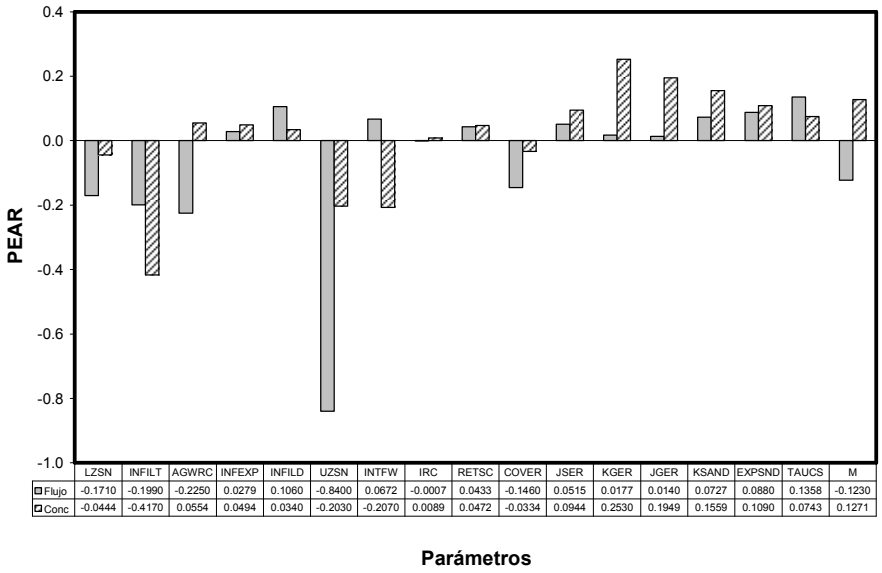
Figura 5.6. Análisis de sensibilidad del rango de los parámetros analizados, para concentración de sedimentos suspendidos observados.

5.1.3 Análisis de Sensibilidad en SimLab

Las Figuras 5.7 a 5.12, presentan los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad realizado utilizando SimLab. Las gráficas presentan los valores de los parámetros estadísticos evaluados para cada uno de los parámetros utilizados en el análisis de sensibilidad global. Los valores de estos establecen las relaciones entre los datos de salida del modelo (Flujo y concentración de sedimentos suspendidos) y la variación del parámetro obtenida de la muestra aleatoria generada.

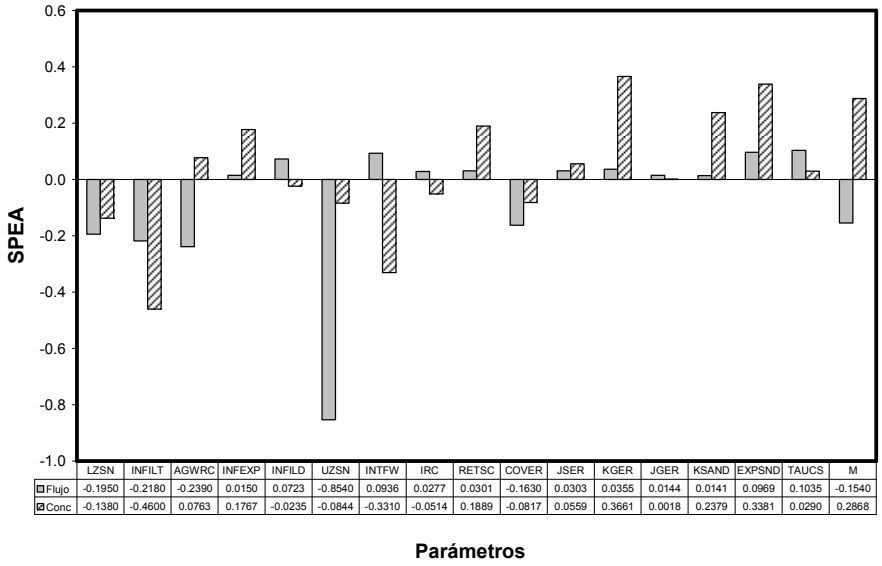
Los resultados indicaron que el parámetro *UZSN* presentó relación inversa, fuertemente marcada con los flujos simulados. Como se observa en las gráficas, al aumentar los valores de *UZSN* los valores de flujo disminuyen. Los parámetros *INFILT*, *LZSN* y *AGWRC* también presentaron relaciones inversamente proporcionales al flujo. Por el contrario los parámetros *INFEXP* e *INFD* presentan relaciones directamente proporcionales con el flujo simulado.

Todos los parámetros de remoción y transporte de sedimentos presentaron relación directa con las concentraciones de sedimentos suspendidos simulados. Los parámetros *KGER* y *EXPSND* mostraron marcada influencia como lo indicaron los valores de *PEAR*, *SPEA*, *PRCC* y *SRRC*. Los parámetros hidrológicos presentaron también notable influencia sobre las concentraciones de sedimentos suspendidos simulados. Las gráficas muestran que parámetros como *INFILT* e *INTFW* presentan relaciones inversamente proporcionales, indicando que el aumento de estos parámetros disminuye las concentraciones de sedimentos suspendidos. Esto se explica, pues al aumentar la infiltración y el flujo subsuperficial, disminuye la escorrentía superficial y por lo tanto la oportunidad de que los sedimentos sean arrastrados del suelo. Por el contrario, el parámetro *INFEXP*, exponente de la ecuación de infiltración presentó relación directa con los sedimentos simulados al aumentar los valores de este, como se observa en las gráficas.



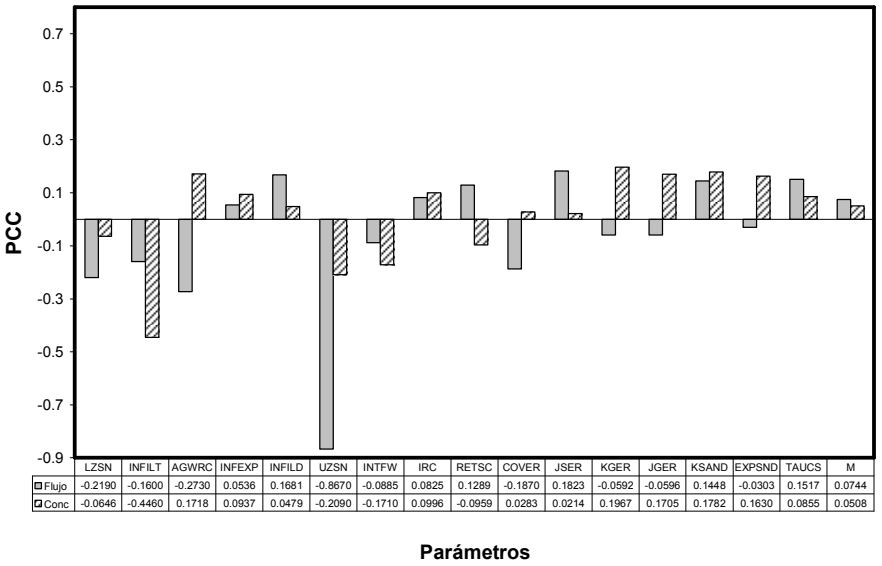
	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.1710	-0.1990	-0.2250	0.0279	0.1060	-0.8400	0.0672	-0.0007	0.0433	-0.1460	0.0515	0.0177	0.0140	0.0727	0.0880	0.1358	-0.1230
Conc	-0.0444	-0.4170	0.0554	0.0494	0.0340	-0.2030	-0.2070	0.0089	0.0472	-0.0334	0.0944	0.2530	0.1949	0.1559	0.1090	0.0743	0.1271

Figura 5.7. Coeficiente de correlación producto-momento (PEAR).



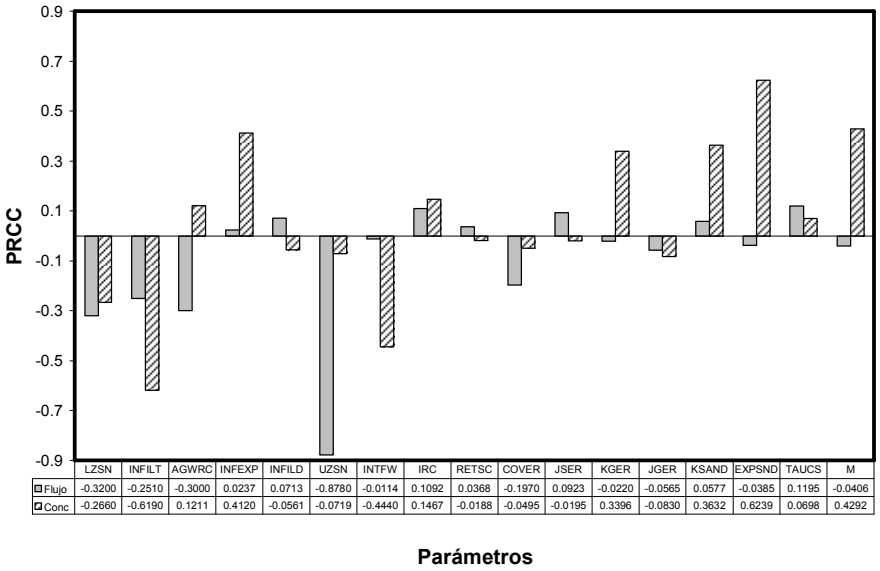
	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.1950	-0.2180	-0.2390	0.0150	0.0723	-0.8540	0.0936	0.0277	0.0301	-0.1630	0.0303	0.0355	0.0144	0.0141	0.0969	0.1035	-0.1540
Conc	-0.1380	-0.4600	0.0763	0.1767	-0.0235	-0.0844	-0.3310	-0.0514	0.1889	-0.0817	0.0559	0.3661	0.0018	0.2379	0.3381	0.0290	0.2868

Figura 5.8. Coeficiente de correlación de Spearman (SPEA).



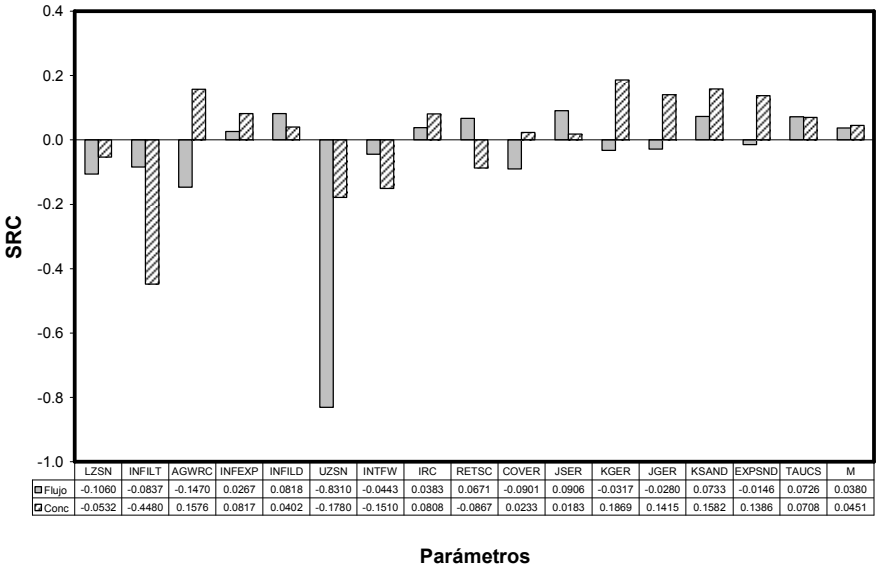
	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.2190	-0.1600	-0.2730	0.0536	0.1681	-0.8670	-0.0885	0.0825	0.1289	-0.1870	0.1823	-0.0592	-0.0596	0.1448	-0.0303	0.1517	0.0744
Conc	-0.0646	-0.4460	0.1718	0.0937	0.0479	-0.2090	-0.1710	0.0996	-0.0959	0.0283	0.0214	0.1967	0.1705	0.1782	0.1630	0.0855	0.0508

Figura 5.9. Coeficiente de correlación parcial (PCC).



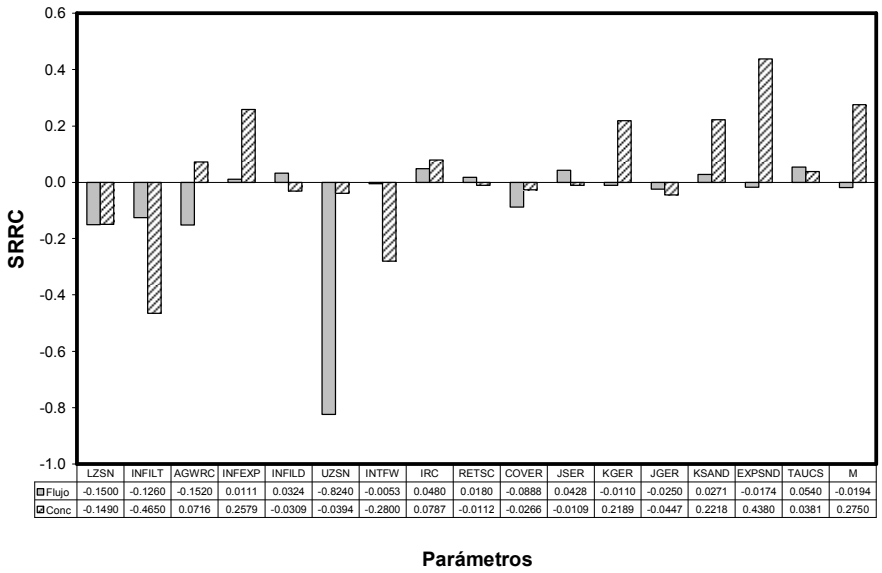
	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.3200	-0.2510	-0.3000	0.0237	0.0713	-0.8780	-0.0114	0.1092	0.0368	-0.1970	0.0923	-0.0220	-0.0565	0.0577	-0.0385	0.1195	-0.0406
Conc	-0.2660	-0.6190	0.1211	0.4120	-0.0561	-0.0719	-0.4440	0.1467	-0.0188	-0.0495	-0.0195	0.3396	-0.0830	0.3632	0.6239	0.0698	0.4292

Figura 5.10. Coeficiente de correlación parcial del rango (PRCC).



	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.1060	-0.0837	-0.1470	0.0267	0.0818	-0.8310	-0.0443	0.0383	0.0671	-0.0901	0.0906	-0.0317	-0.0280	0.0733	-0.0146	0.0726	0.0380
Conc	-0.0532	-0.4480	0.1576	0.0817	0.0402	-0.1780	-0.1510	0.0808	-0.0867	0.0233	0.0183	0.1869	0.1415	0.1582	0.1386	0.0708	0.0451

Figura 5.11. Coeficiente de regresión estandarizado (SRC).



	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
Flujo	-0.1500	-0.1260	-0.1520	0.0111	0.0324	-0.8240	-0.0053	0.0480	0.0180	-0.0888	0.0428	-0.0110	-0.0250	0.0271	-0.0174	0.0540	-0.0194
Conc	-0.1490	-0.4650	0.0716	0.2579	-0.0309	-0.0394	-0.2800	0.0787	-0.0112	-0.0266	-0.0109	0.2189	-0.0447	0.2218	0.4380	0.0381	0.2750

Figura 5.12. Coeficiente de Regresión Estandarizado del Rango (SRRC).

5.2 Calibración Hidrológica

Para la calibración hidrológica se evaluaron dieciocho (18) parámetros para cada uno de los diferentes usos de terreno en las dieciocho (18) subcuencas del modelo. Los valores de los parámetros calibrados para cada una de las subcuencas, se presentan en el Apéndice 6.

El procedimiento de calibración fue descrito en la metodología. Los valores para cada uno de los parámetros fueron variados de acuerdo a los valores recomendados por los desarrolladores del modelo USEPA (2000) y los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad. Los valores de los parámetros *LSUR* que representa la longitud del flujo en la superficie y *SLSUR*, la pendiente de este mismo, fueron previamente establecidos y calculados usando **WMS**. *LSUR* tuvo un valor de 150 pies para todas las cuencas y la pendiente de este flujo, varió entre 0.2831 y 0.4943 pies/pies. La cuenca del Río Caonillas presentó los valores más altos de *SLSUR*, mientras que los valores menores estaban en la cuenca del Río

Grande de Arecibo. Estos se debe a que la cuenca del Caonillas se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Grande de Arecibo presentando pendientes más pronunciadas (0.35 a 0.49 pies/pies), entretanto el Río Grande de Arecibo se encuentra en la zona baja de la cuenca, la cual presenta terreno menos escarpado con pendientes de 0.28 a 0.31 pies/pies.

Los parámetros relacionados con la escorrentía directa presentaron gran influencia en los flujos del modelo, como lo indicó el análisis se sensibilidad. Las observaciones realizadas durante el análisis de sensibilidad y la calibración mostraron que tanto el parámetro *LZSN*, como *UZSN* presentan marcada influencia en los flujos. Los valores para *LZSN* variaron entre 2 y 8.5 pulgadas. Los bosques presentaron un mayor valor para este parámetro. Los valores altos se encontraron en las subcuencas de la parte norte de la cuenca en la zona baja del Río Grande de Arecibo, la cual cuenta con suelos mas profundos (USDA, 1979) y en el Río Limón. Por otro lado los valores de *UZSN* variaron entre 0.1 y 2.5 pulgadas. Las cuencas del Río Limón y Río Grande de Arecibo presentaron igualmente los mayores valores. En las otras cuencas las valores estuvieron entre 0.1 y 0.3 pulgadas.

La infiltración del suelo *INFILT* como lo indicó el análisis de sensibilidad, afecta de manera significativa los resultados del modelo. Los valores calibrados variaron desde 0.08 a 0.35 pulgadas por hora, lo cual indica valores moderados a moderado alto, lo cual es consistente con los grupos hidrológicos de suelos, mas abundantes en el área (USEPA, 2000). Los mayores valores fueron encontrados para áreas de bosques (0.2 – 0.35 pulgadas/hora), y los menores para terrenos sin cobertura (0.1 pulgadas/hora). Los valores de *INFEXP*, el exponente de la ecuación de infiltración, variaron entre 1 y 2. El valor de 1 se obtuvo solo para las subcuencas 1 y 13. Finalmente, el parámetro *INFILD* o relación de infiltración máxima y media, presentó valor de 2 para todas las subcuencas con excepción de las subcuenca 1 y 13.

En general, el proceso de evapotranspiración no presentó marcada variabilidad en el modelo. El parámetro *LZETP* presentó valores entre 0.1 y 0.3 en todas las subcuencas. Sin embargo, los valores de

BASETP, parámetro que simula la influencia de la vegetación en la orilla del río, presentó gran variabilidad. La cuenca del Río Limón presentó valores altos (0.2) evidenciando fuerte influencia de la vegetación en los flujos bases, las demás cuencas no presentaron influencia marcada y presentaron valores bajos de *BASETP* (0.001-0.002). Los valores del parámetro *AGWETP* fueron calibrados a cero, pues no se encontraron áreas de humedales considerables que pudieran estar evaporando agua directamente del acuífero.

Los procesos de interacción entre el flujo y el agua subterránea resultaron relevantes en el modelo. El parámetro de recesión de agua subterránea *AGWRC*, presentó considerable influencia en los flujos y su valor fue calibrado a 0.98. Los resultados mostraron además marcada variabilidad de una subcuenca a otra para el parámetro *DEEPFR*, el cual simula el aporte del río al acuífero, la subcuenca del Río Caonillas presento valores entre 0.001 y 0.002, el Río Limón entre 0.2 y 0.25 y Río Grande de Arecibo entre 0.001 y 0.9. Estos resultados muestran que existe aporte considerable del río al acuífero en la subcuenca del Río Limón y en algunas subcuencas del Río Grande de Arecibo. Esto contrasta con la subcuenca del Río Caonillas presentó menor aporte al acuífero. La cuenca del Río Limón ubicada en la parte norte de la cuenca del Río Grande de Arecibo presenta influencia de la zona kársica, lo cual puede explicar el mayor aporte de agua al acuífero.

Los resultados indicaron que la cantidad de agua entrando de la superficie hacia el interflujo presenta valores variados. Este proceso es simulado por los parámetros *INTFW* e *IRC*. Los valores de *INTFW* variaron de 0.75 a 10, presentando la cuenca Río Grande de Arecibo valores altos en el área norte. Esto coincide con la presencia de suelos profundos en los cuales existe mayor percolación. Por otra parte, las subcuencas de la parte alta de la cuenca con menores valores de *INTFW* coinciden con pendientes más pronunciadas en las cuales el flujo en la superficie es mayor y más rápido, por lo tanto, aumentan los valores de los flujos picos, y el flujo subsuperficial es menor, es decir el interflujo es menor. La recesión del interflujo presentó valores de 0.3 a 0.5 en el modelo.

La comparación de los datos simulados por **HSPF** y los observados se presentan en las Tablas 5.5 y 5.6. Estas presentan la comparación de los flujos para promedios diarios y promedios mensuales, respectivamente.

Para flujo promedio diario, el porcentaje de error (E) resulto ser menor de 15 % para la mayoría de estaciones con excepción de Saliente (USGS 50025155), con un valor de 53.4%. De acuerdo con Donigian (2000), valores menores o iguales a 15 % resultan aceptables para flujo, por lo cual los resultados son aceptables para todas cuencas menos Saliente.

La simulación de flujos promedios diarios presentó coeficientes de correlación (R) entre 0.64 y 0.95. Las estaciones de los ríos Saliente (USGS 50025155) y Viví (USGS 50022810) presentaron los valores más bajos de este parámetros 0.41 y 0.42, respectivamente. El coeficiente de determinación (R^2) presentó valores aceptables (>0.70) de acuerdo con las los valores establecidos como aceptables por Donigian (2000) para las estaciones de Río Grande de Arecibo en Adjuntas (USGS 50020500), Río Caonillas (USGS 50026025) y Río Grande de Arecibo abajo de Utuado (USGS 50024950). Para las otras estaciones, los valores de R^2 se encontraron por debajo del límite.

Las Figuras 5.13 a 5.28 presentan los hidrogramas y curvas Duración-Frecuencia desarrolladas para las diferentes subcuencas y sus respectivos periodos de calibración. Las curvas de Duración-Frecuencia para las subcuencas 1, 17, y 5 (Figuras 5.14, 5.20, y 5.26) presentaron leves diferencias para flujos bajos, debido a que el modelo subestimo los flujos bajos. En el caso de la subcuenca 3 (Figura 5.24) esta diferencia surge como influencia del Lago Adjuntas y los valores fueron sobrestimados. Para las subcuencas 1, 3, 7 y 10 (Figuras 5.14, 5.24, 5.28 y 5.18) se observa que los valores de flujo intermedio fueron subestimados por el modelo. En referencia a flujos altos las subcuencas 3, 5, 16 (Figuras 5.24, 5.26 5.32) presentaron valores sobreestimados.

Las diferencias observadas en los flujos simulados por el modelo y los observados pueden ser el resultado de la distribución espacial de la lluvia. Las estaciones pluviométricas escogidas para la simulación, registran los datos en un punto dado, el cual en la mayoría de los casos es el punto de salida de la cuenca. Sin embargo la mayoría de los eventos de lluvia en las cuencas ocurren en las zonas altas de de estas. Estos eventos que no son registrados producen aumentos en el flujo del río y por lo tanto pueden causar diferencias en la simulación.

Tabla 5.5. Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio diario durante el periodo de calibración.

Número de identificación y nombre de la estación*	Flujo promedio diario observado (pies^3/s)	Flujo promedio diario simulado (pies^3/s)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (pies^3/s)	MAE (pies^3/s)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	41.33	36.67	-12.71	0.87	0.75	0.72	40.24	16.44
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	98.36	93.93	-4.72	0.95	0.91	0.90	161.00	44.42
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	43.01	28.04	-53.40	0.64	0.41	0.10	145.99	26.04
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	46.65	47.56	1.91	0.82	0.67	0.67	37.11	16.37
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	19.32	21.83	11.50	0.76	0.57	0.57	21.64	8.44
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	73.60	64.78	-13.62	0.79	0.62	0.62	108.01	42.42
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	150.37	136.60	-10.08	0.94	0.89	0.70	268.93	75.74
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	8.17	7.21	-13.25	0.65	0.42	-0.09	7.57	2.30

(*) Los periodos de calibración aparecen en la Tabla 4.7

Para los promedios de flujo mensual (Tabla 5.6), los valores de E resultaron aceptables (<15%) con excepción de la estación del Río Saliente (USGS 50025155) que presentó valor de 34.75 %. Los valores de R resultaron altos para todas las estaciones calibradas. El coeficiente R^2 presentó valores mayores a 0.75, rango recomendado como óptimo por Donigian (2000). La excepción fue la estación de Río Grande de Arecibo arriba de Utuado (USGS 50021700), la cual presentó valor de 0.51.

Tabla 5.6. Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio mensual durante el periodo de calibración.

Número de identificación y nombre de la estación*	Flujo promedio mensual observado (pies^3/s)	Flujo promedio mensual simulado (pies^3/s)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (pies^3/s)	MAE (pies^3/s)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	41.15	36.41	-13.02	0.89	0.80	0.75	15.44	11.58
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	94.45	98.65	4.26	0.94	0.88	0.87	49.07	30.04
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	28.18	43.19	34.75	0.88	0.78	0.67	38.44	16.49
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	46.53	47.43	1.90	0.99	0.98	0.89	11.23	9.07
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	21.77	19.25	-13.09	0.93	0.86	0.55	7.07	7.77
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	73.39	64.39	-13.98	0.72	0.51	0.26	51.34	35.60
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	150.43	136.57	-10.15	0.93	0.86	0.67	91.29	48.85
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	8.16	7.21	-13.18	0.90	0.81	0.44	2.67	1.71

(*) Los periodos de calibración aparecen en la Tabla 4.7

La raíz cuadrada del promedio de los errores, RMSE y el error promedio absoluto MAE resultaron altos para la simulación de flujos promedios diarios (Tabla 5.5), el valor de RMSE disminuye entre 52% y 73 % para la simulación de flujos mensuales, por su parte se ve reducido en 7% y 44 % (Tabla 5.6). Esto indica que los errores ocurridos principalmente al subestimar o sobrestimar flujos picos, se ven disminuidos para la simulación mensual, debido a que los errores son distribuidos en un intervalo más largo aumentando la precisión del modelo.

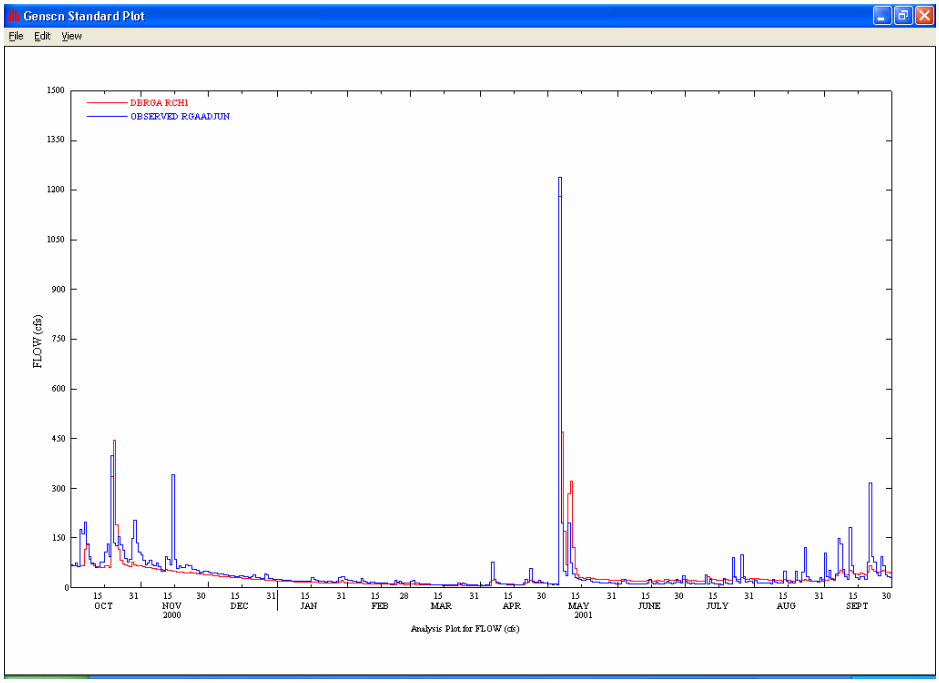


Figura 5.13. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

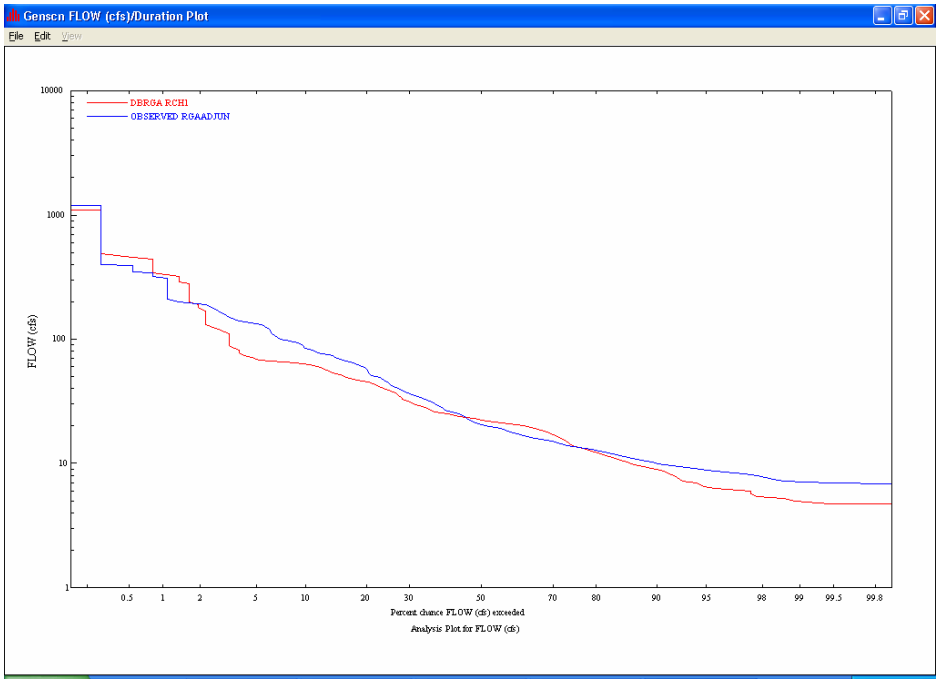


Figura 5.14. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

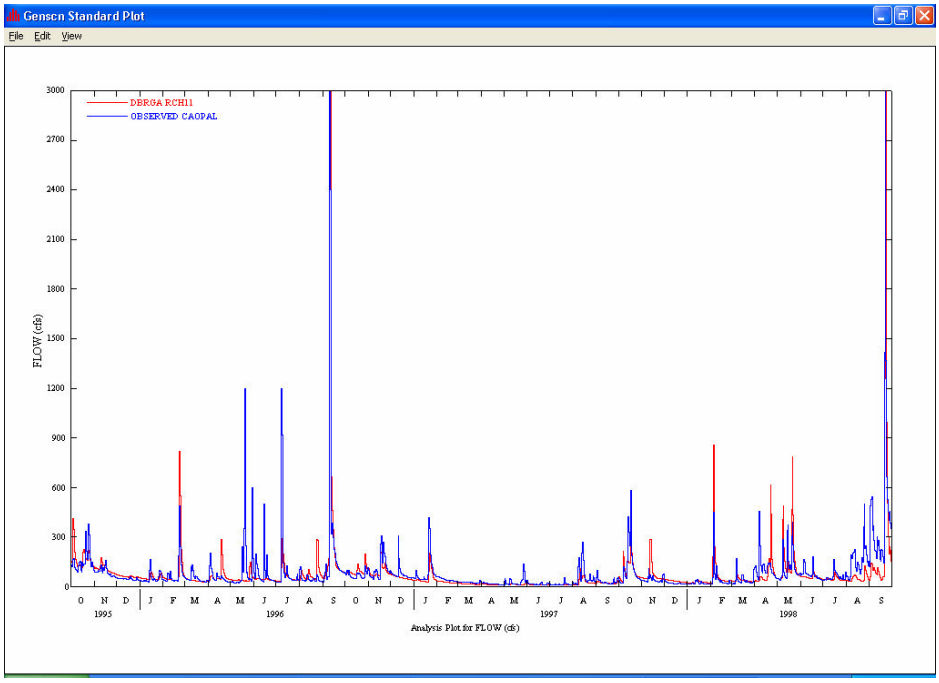


Figura 5.15. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998).

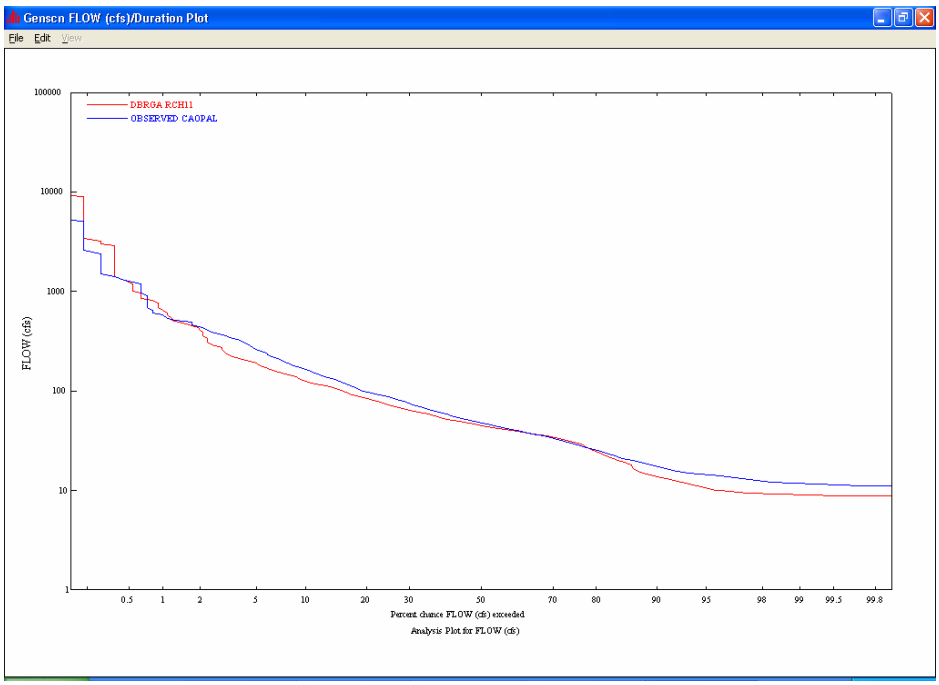


Figura 5.16. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998).

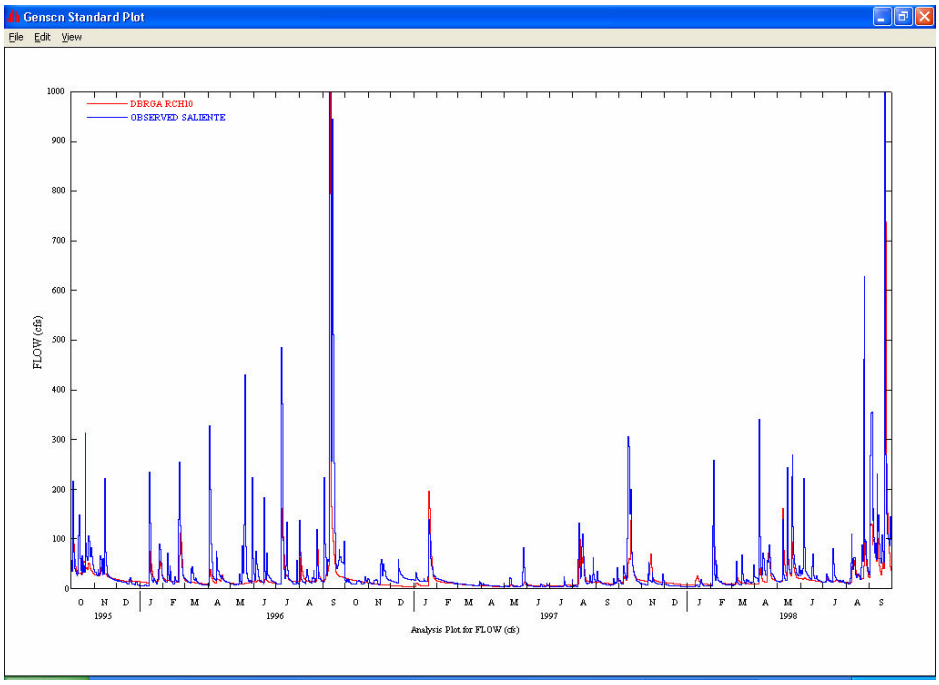


Figura 5.17. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998).

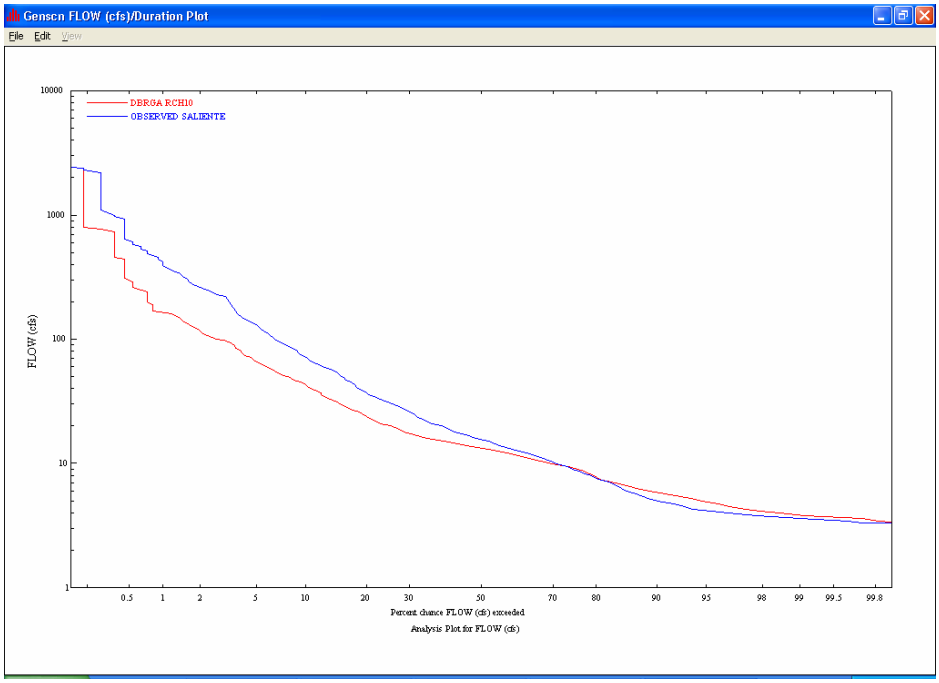


Figura 5.18. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de calibración (Octubre de 1995 a Septiembre de 1998).

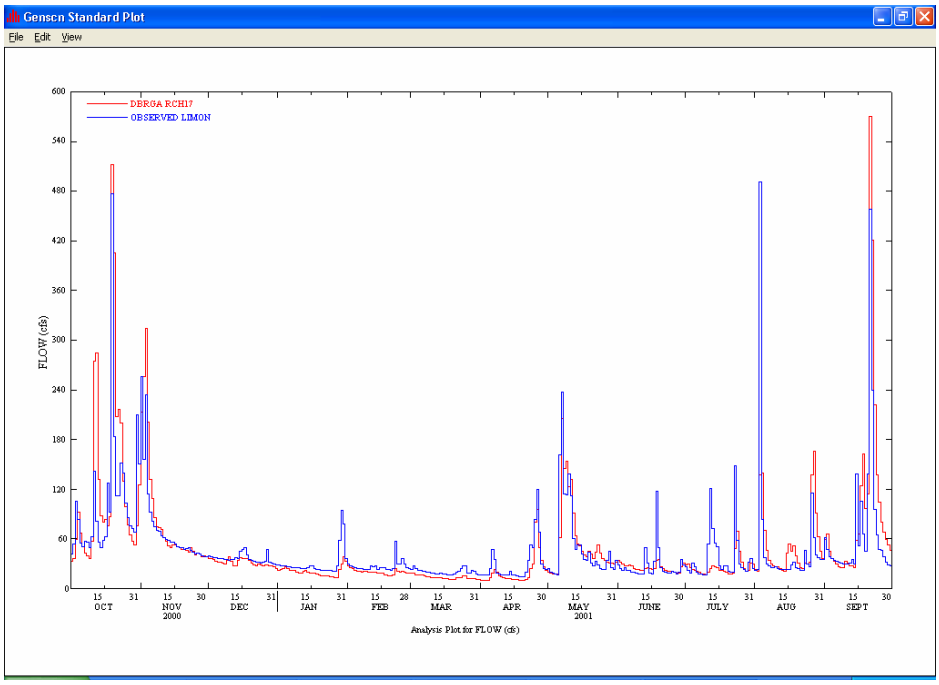


Figura 5.19. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

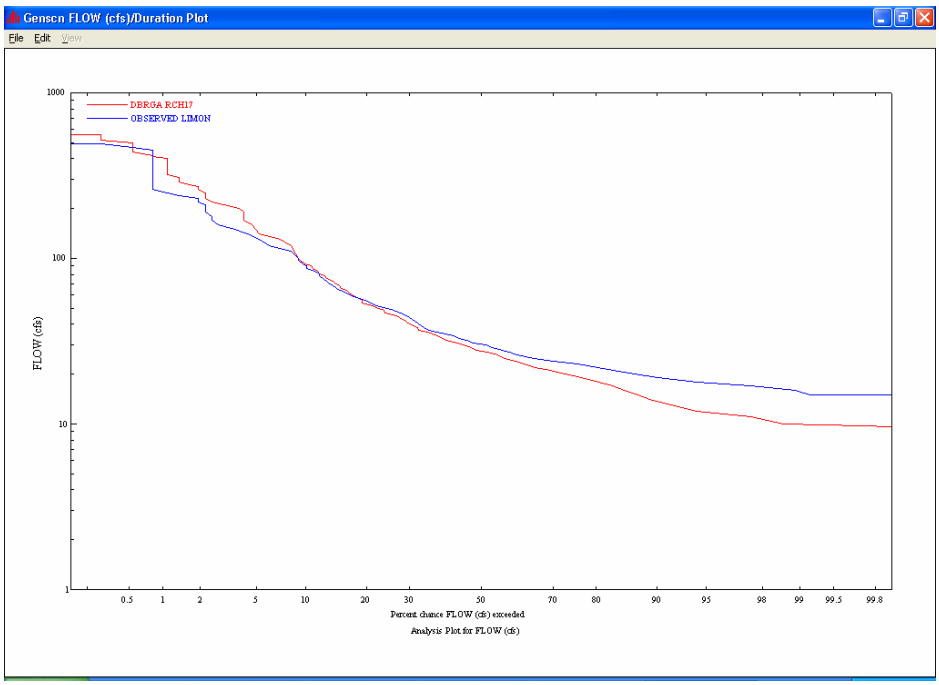


Figura 5.20. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

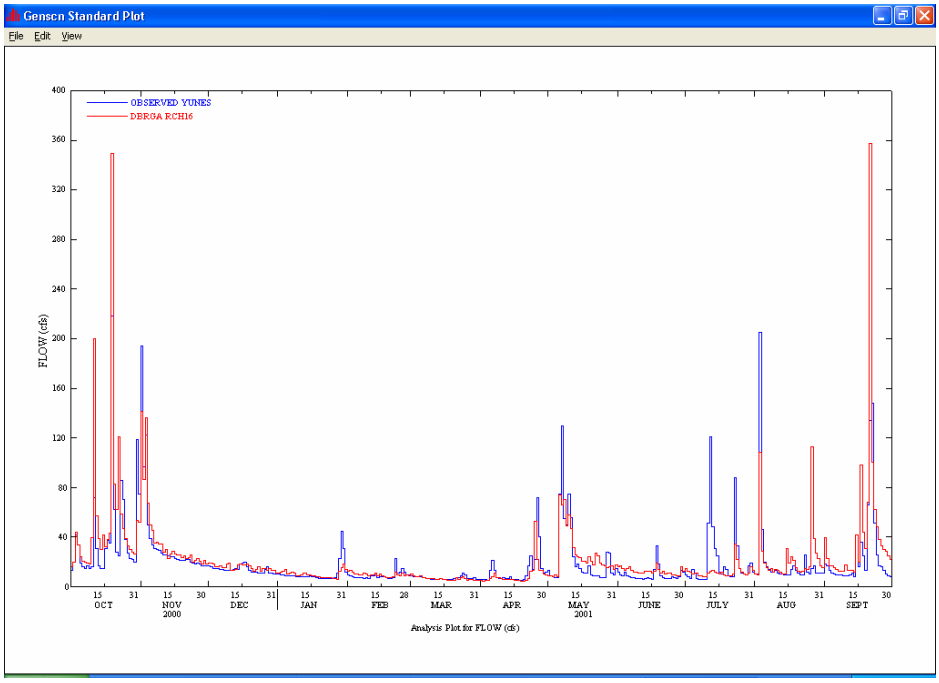


Figura 5.21. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

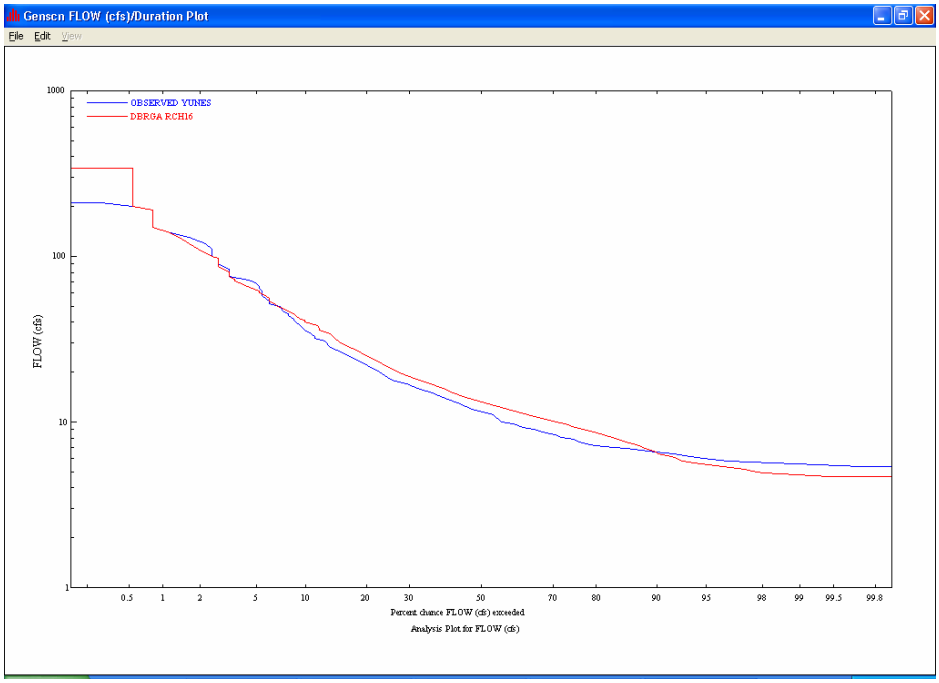


Figura 5.22. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, Subcuenca 16. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

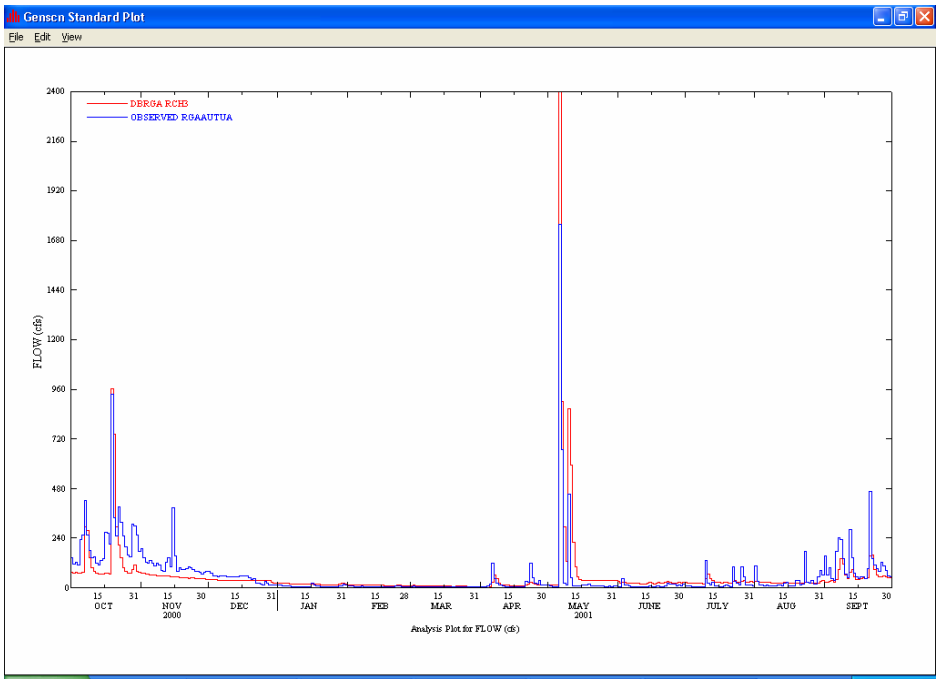


Figura 5.23. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

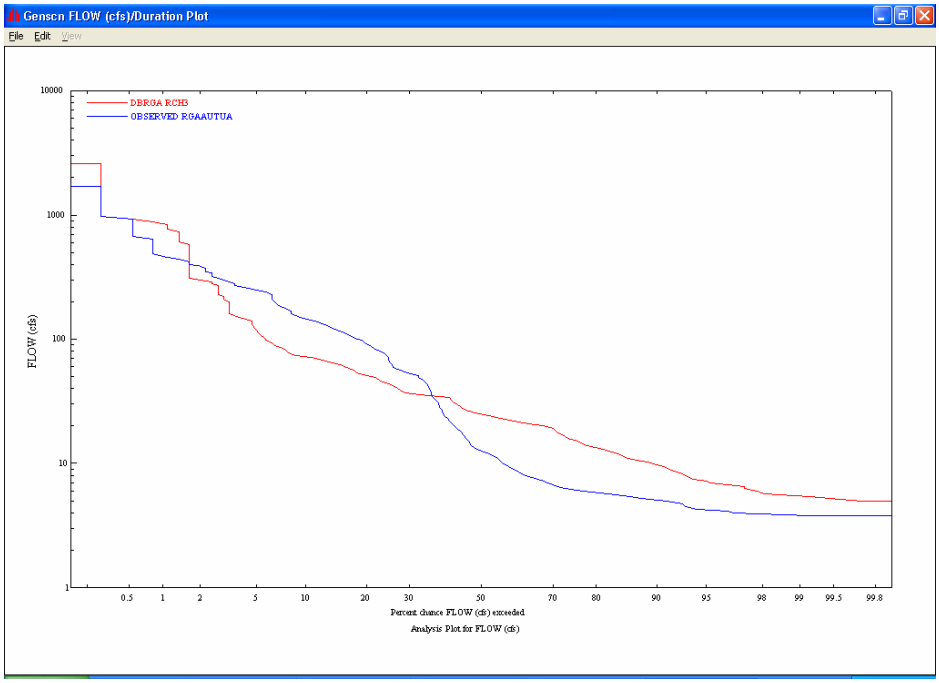


Figura 5.24. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

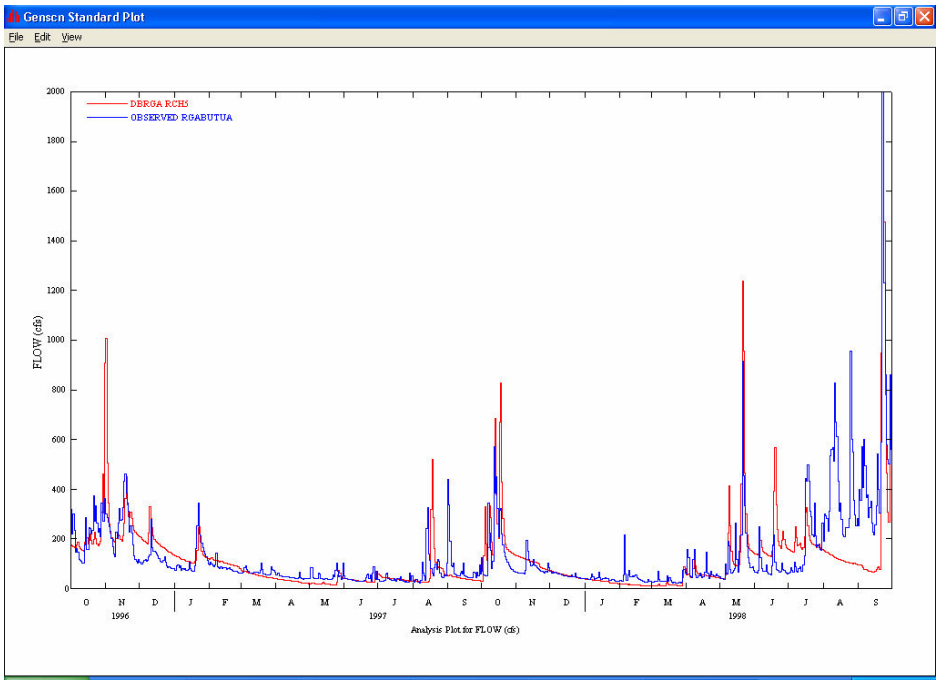


Figura 5.25. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de calibración (Octubre de 1996 a Septiembre de 1998).

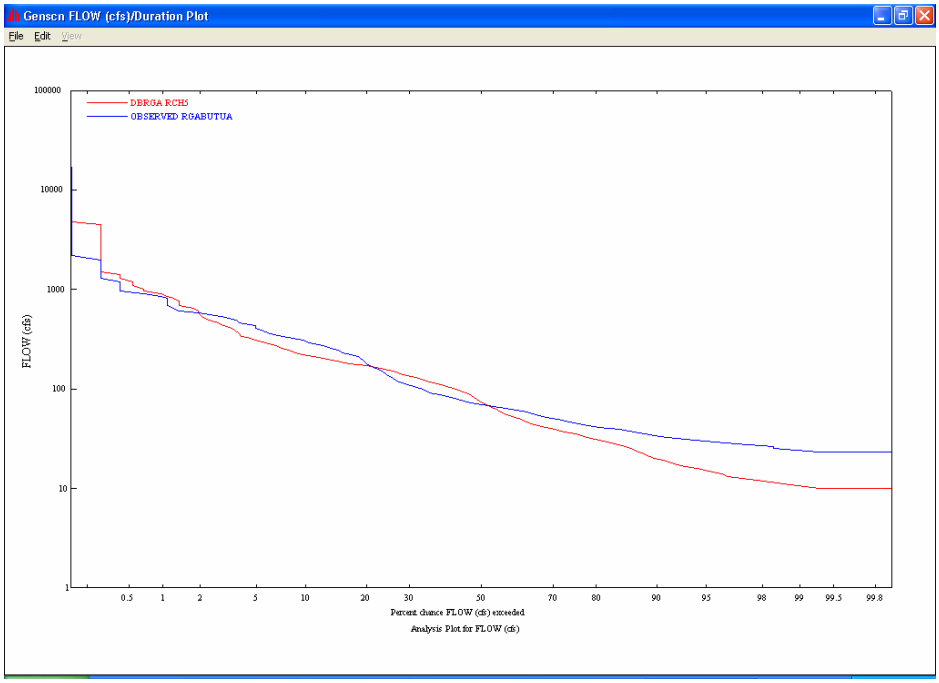


Figura 5.26. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, Subcuenca 5. Periodo de calibración (Octubre de 1996 a Septiembre de 1998).

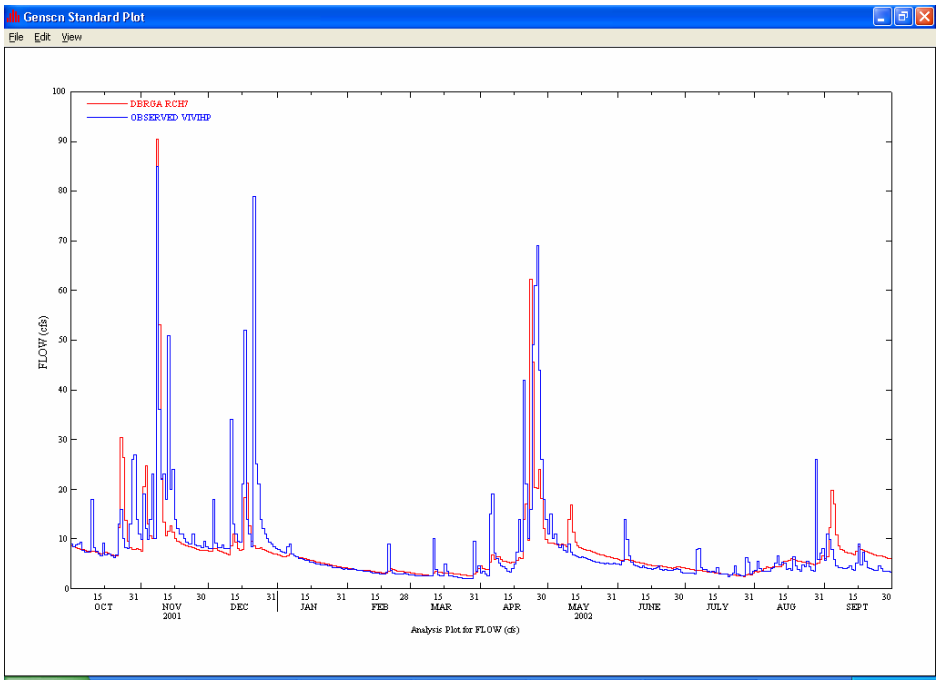


Figura 5.27. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50022810 Río Viví, subcuenca 7. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

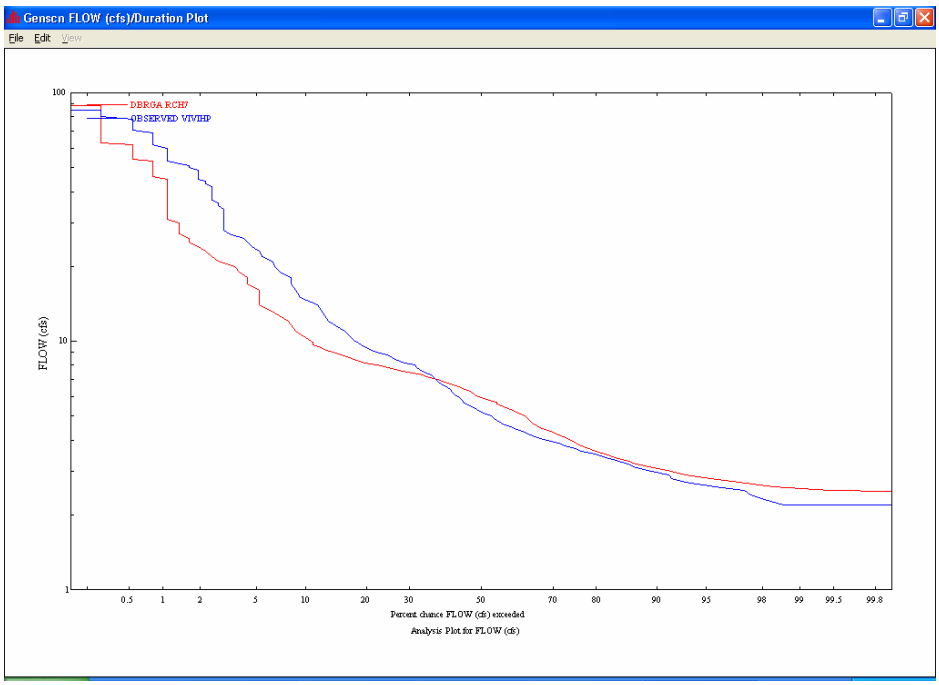


Figura 5.28. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50022810 Río Viví, subcuenca 7. Periodo de calibración (Octubre de 2000 a Septiembre de 2001).

5.3 Validación Hidrológica

Los coeficientes de correlación encontrados para flujos medios diarios, variaron entre 0.57 y 0.87. La subcuenca del Río Yunes presentó el mayor valor de este coeficiente (0.87), seguida por Río Limón (0.82), Río Grande de Arecibo arriba de Utuado (0.81) y Río Caonillas (0.79). Los valores de coeficiente de determinación presentaron valores por debajo del rango aceptable, excepto en la cuenca del Río Yunes que presentó valor de 0.76. Igualmente los valores de NSE solo fueron aceptables para esta subcuenca (véase Tabla 5.7).

Tabla 5.7. Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio diario durante el periodo de validación.

Número de identificación y nombre de la estación*	Flujo promedio diario observado (pies^3/s)	Flujo promedio diario simulado (pies^3/s)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (pies^3/s)	MAE (pies^3/s)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	39.46	33.20	-18.86	0.52	0.27	0.26	41.26	19.18
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	95.66	82.16	-16.43	0.79	0.62	0.58	77.11	39.28
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	29.51	30.51	3.28	0.75	0.56	0.32	12.12	31.71
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	99.93	96.76	-3.28	0.82	0.67	0.45	130.05	44.02
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	38.83	43.99	11.73	0.87	0.76	0.72	46.68	16.39
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	57.50	46.93	-22.52	0.81	0.66	0.36	52.84	24.14
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	173.46	149.52	-16.01	0.62	0.39	0.12	187.56	81.87

(*) Los periodos de validación aparecen en la Tabla 4.10

La Tabla 5.8 presenta los indicadores estadísticos obtenidos para flujos promedios mensuales durante el periodo de validación. De acuerdo con el criterio de evaluación establecido, la cuenca de Río Caonillas, Río Limón, Río Yunes y Río Grande de Arecibo arriba de Utuado, presentaron valores adecuados.

Las Figuras 5.29 a 5.42 presentan los hidrogramas y las curvas de Duración – Frecuencia, encontradas para los diferentes periodos de validación y las diferentes subcuencas en el área de estudio. Las Tablas 5.7 y 5.8 presentan los indicadores estadísticos encontrados para los flujos promedios diarios y los promedios mensuales.

Tabla 5.8. Indicadores estadísticos para simulación de flujo promedio mensual durante el periodo de validación.

Número de identificación y nombre de la estación*	Flujo promedio mensual observado (pies^3/s)	Flujo promedio mensual simulado (pies^3/s)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (pies^3/s)	MAE (pies^3/s)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	39.46	33.20	-18.86	0.57	0.32	-1.60	40.01	18.42
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	110.28	105.18	-4.85	0.94	0.88	0.85	29.16	43.00
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	29.51	30.52	3.31	0.70	0.50	0.46	9.95	17.66
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	99.93	96.76	-3.28	0.93	0.87	0.85	27.41	18.43
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	38.83	43.99	11.73	0.94	0.88	0.79	12.64	9.43
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	57.50	46.93	-22.52	0.87	0.76	0.17	26.26	15.06
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	173.46	149.52	-16.01	0.63	0.40	0.37	116.52	59.36

(*) Los periodos de validación aparecen en la Tabla 4.10

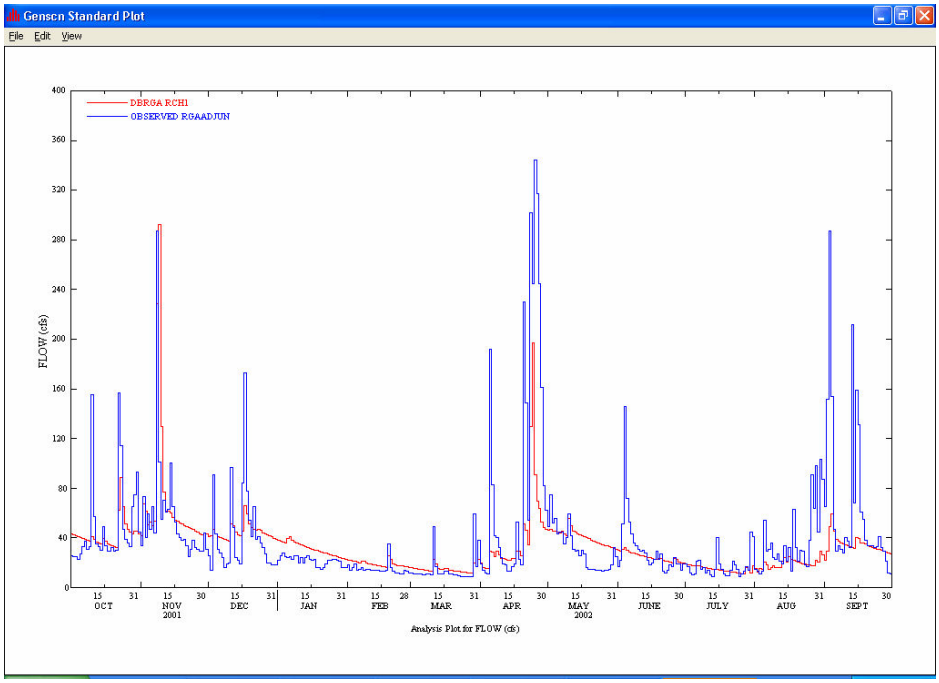


Figura 5.29. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

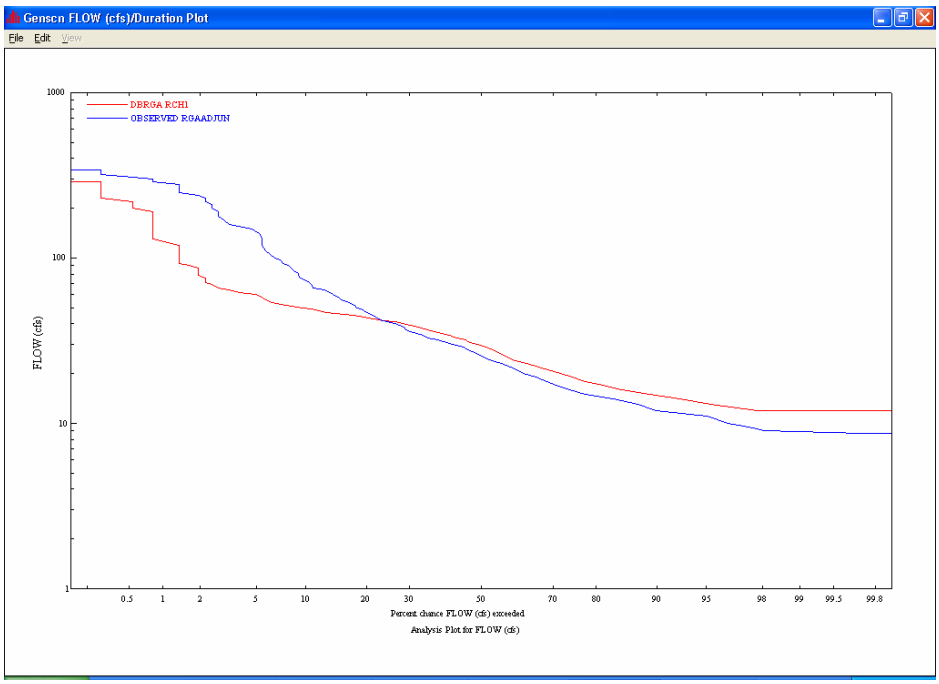


Figura 5.30. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50020500 Río Grande de Arecibo Adjuntas, subcuenca 1. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

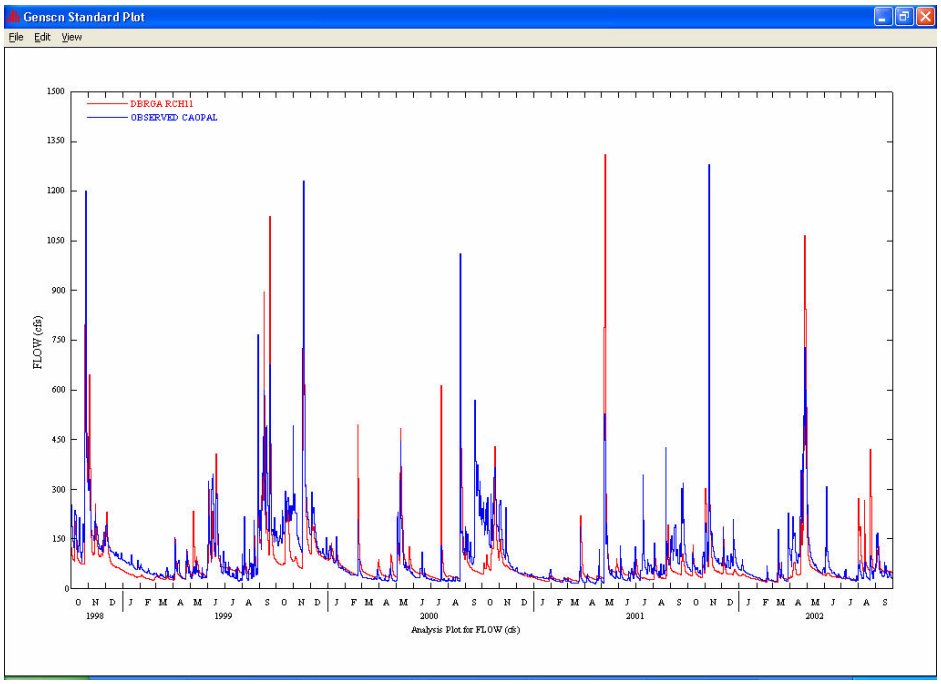


Figura 5.31. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas, subcuenca 11. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002).

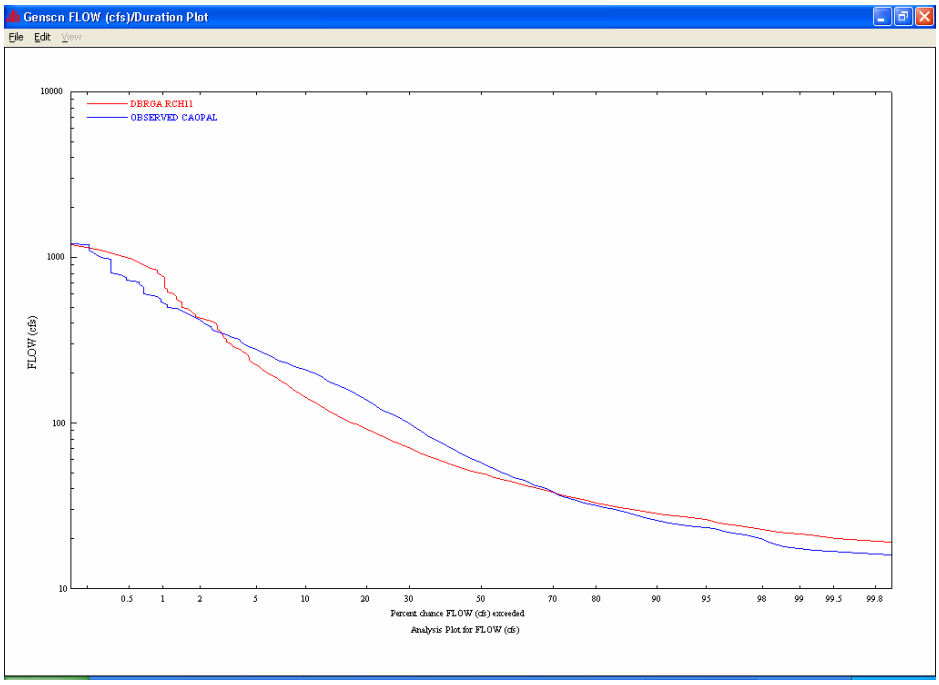


Figura 5.32. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026025 Río Caonillas Subcuenca 11. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002).

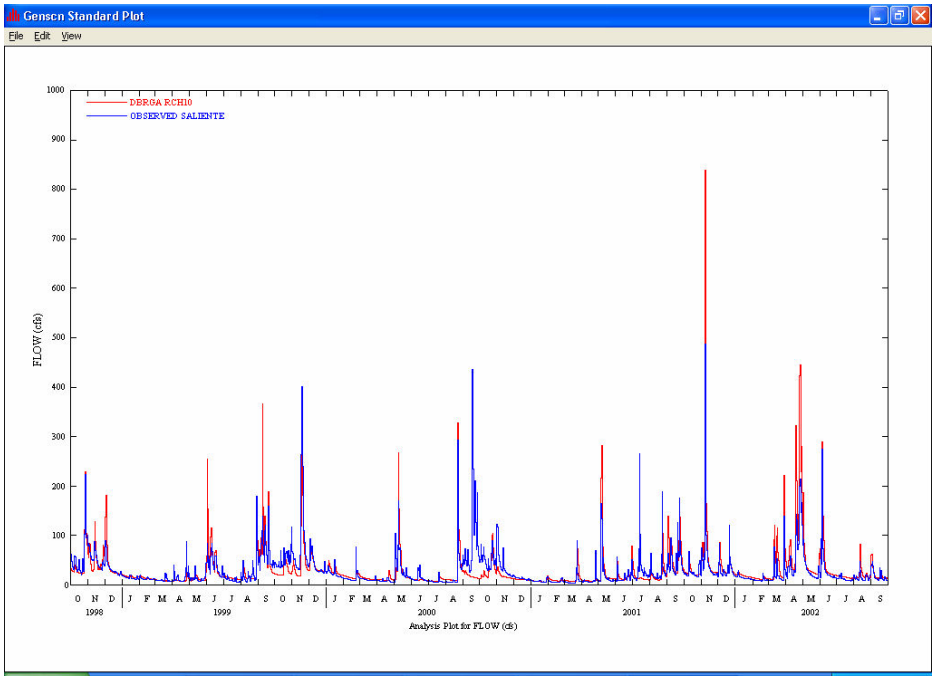


Figura 5.33. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, Subcuenca 10. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002).

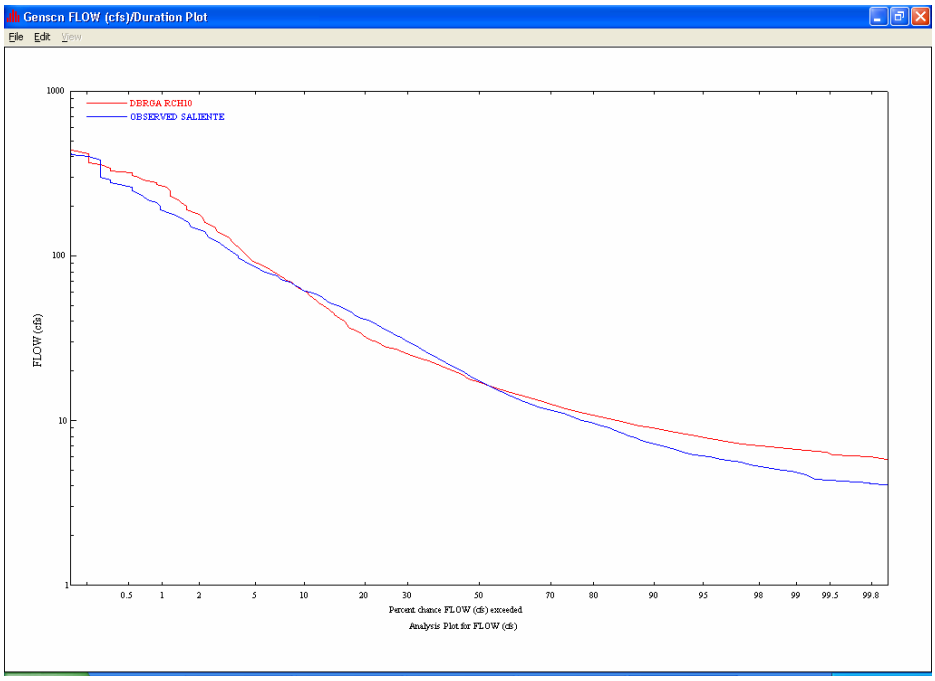


Figura 5.34. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50025155 Río Saliente, subcuenca 10. Periodo de validación (Octubre de 1998 a Septiembre de 2002).

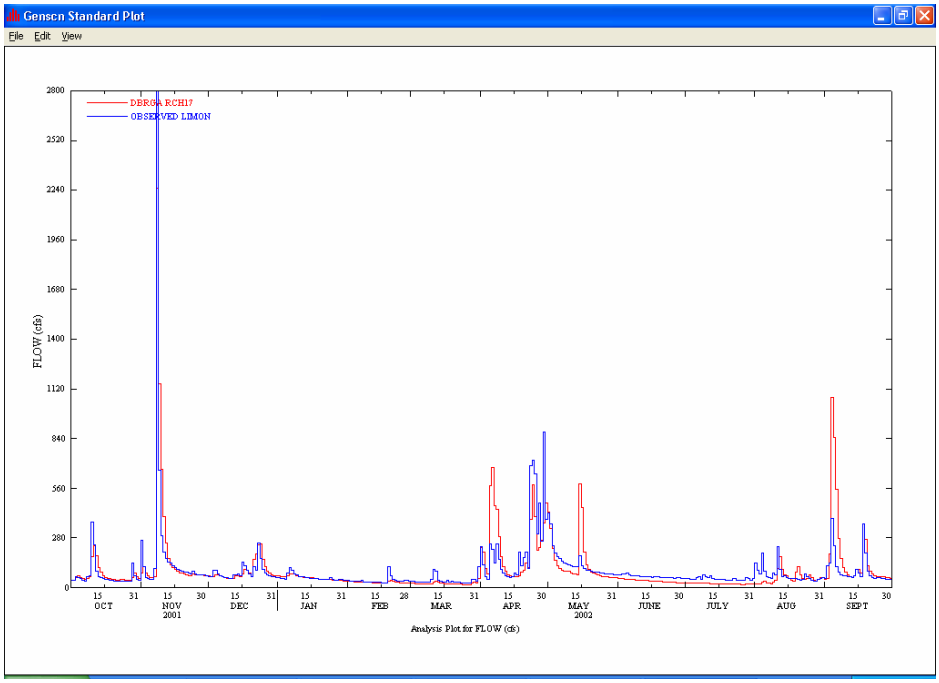


Figura 5.35. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

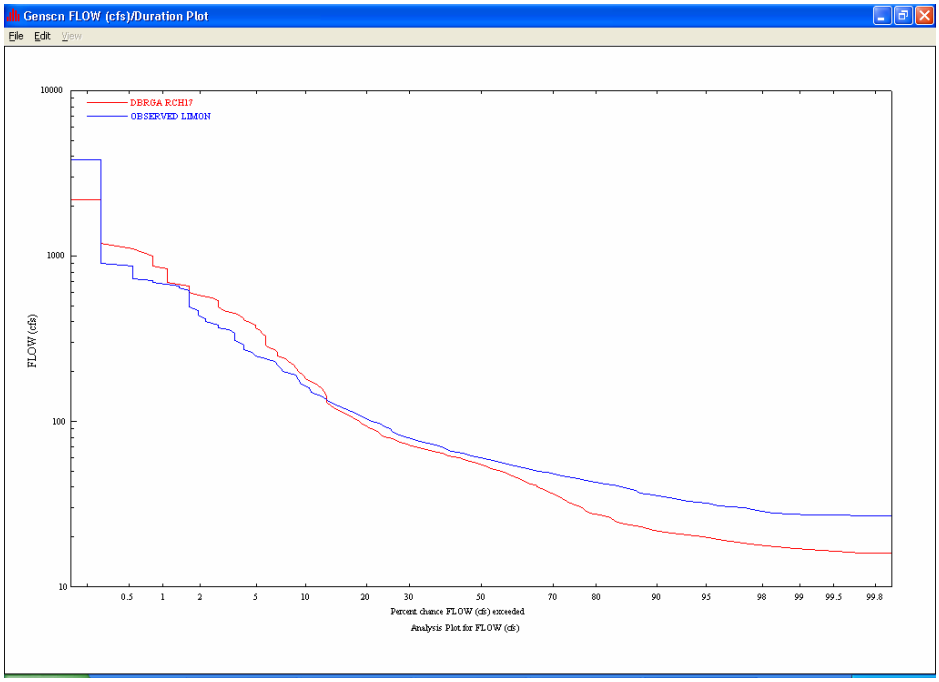


Figura 5.36. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50027000 Río Limón, subcuenca 17. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

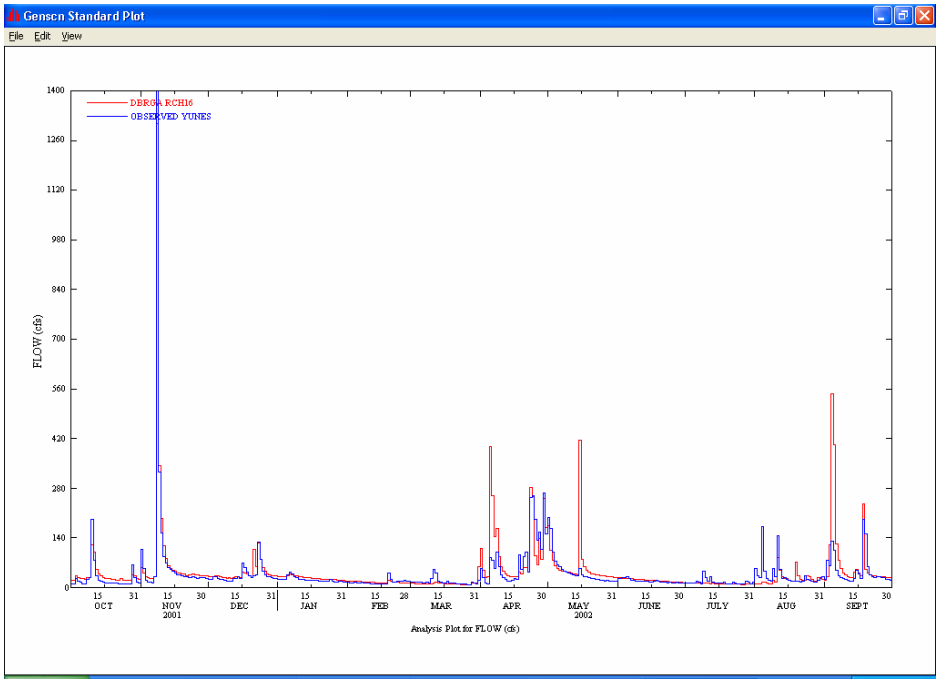


Figura 5.37. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

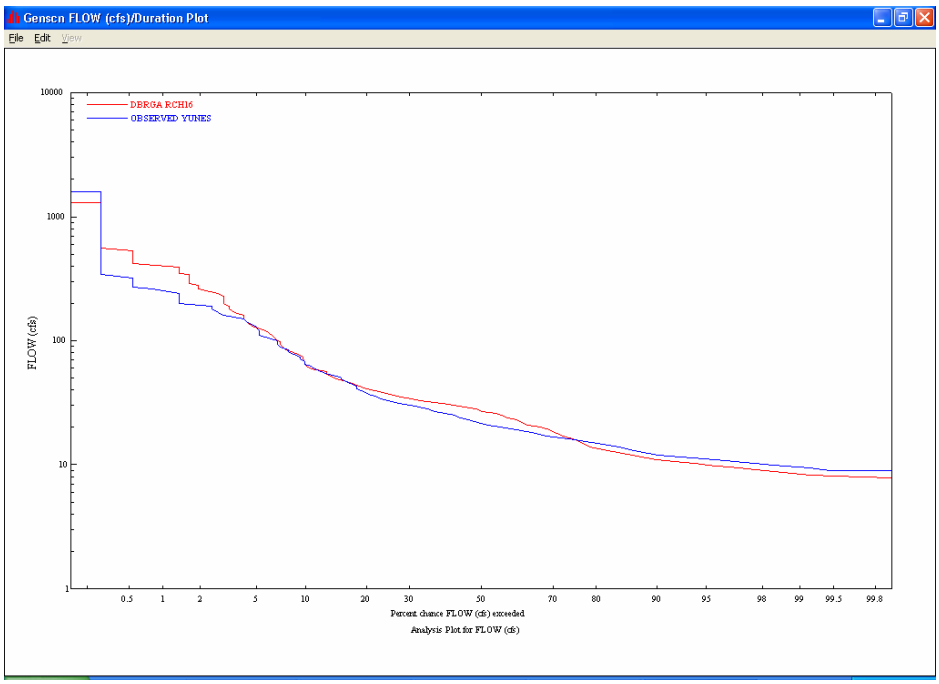


Figura 5.38. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50026400 Río Yunes, subcuenca 16. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

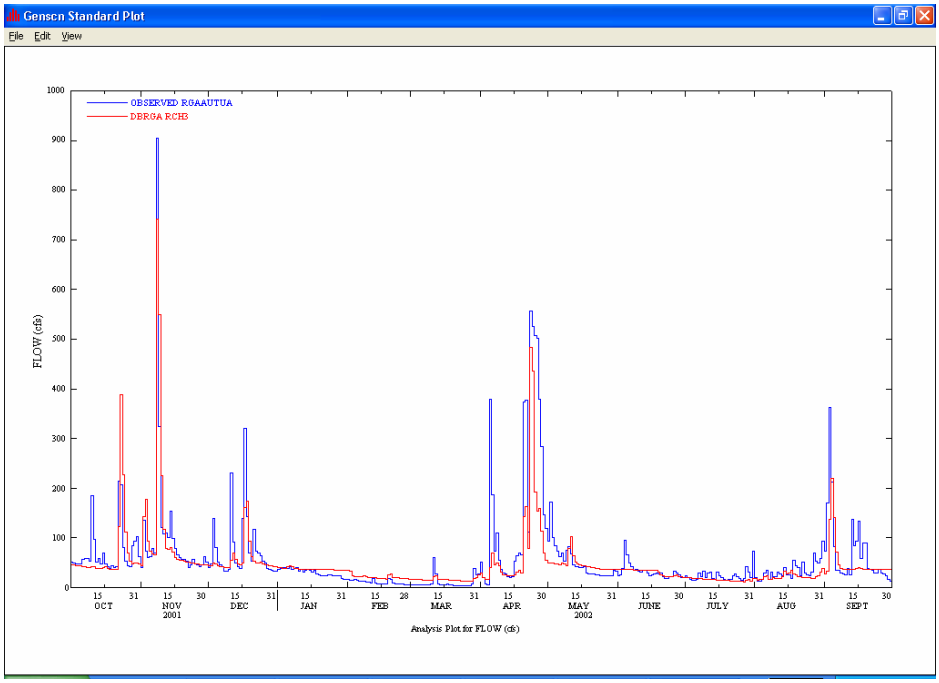


Figura 5.39. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo, subcuenca 3. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

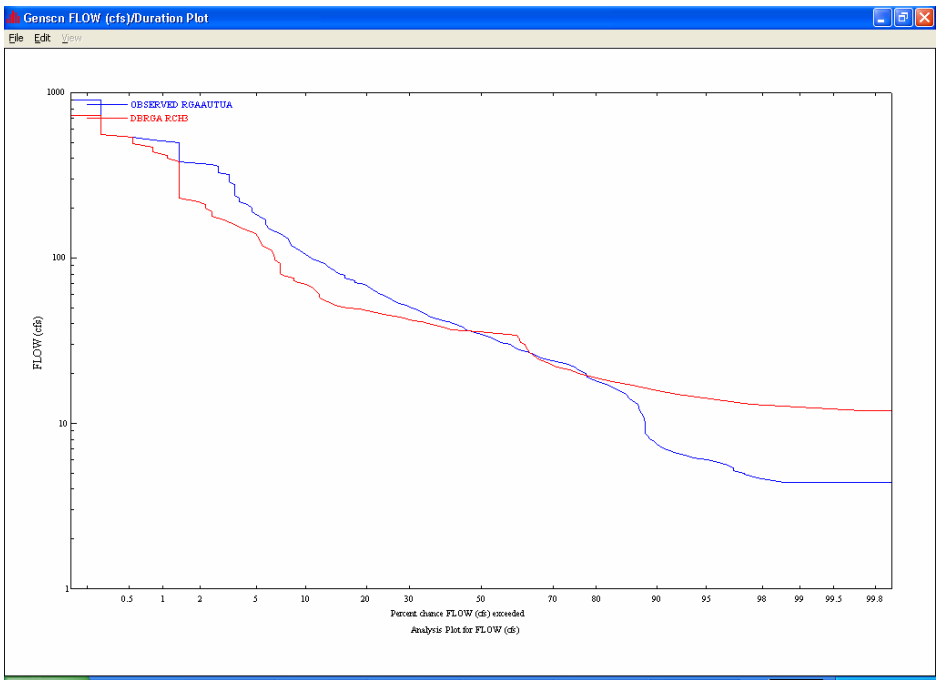


Figura 5.40. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50021700 Río Grande de Arecibo Subcuenca 3. Periodo de validación (Octubre de 2001 a Septiembre de 2002).

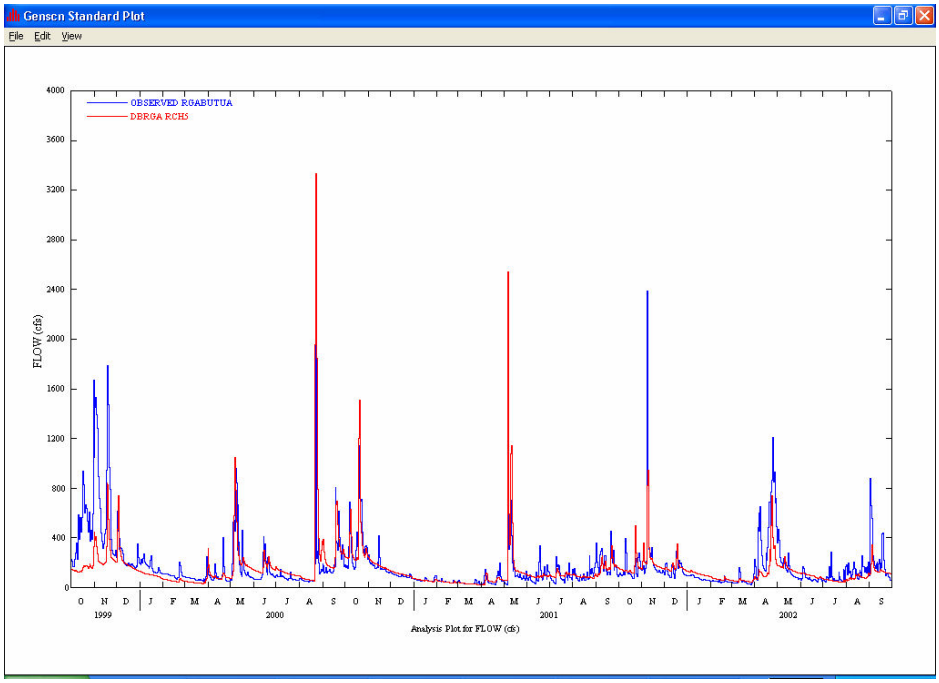


Figura 5.41. Flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo, subcuenca 5. Periodo de validación (Octubre de 1999 a Septiembre de 2002).

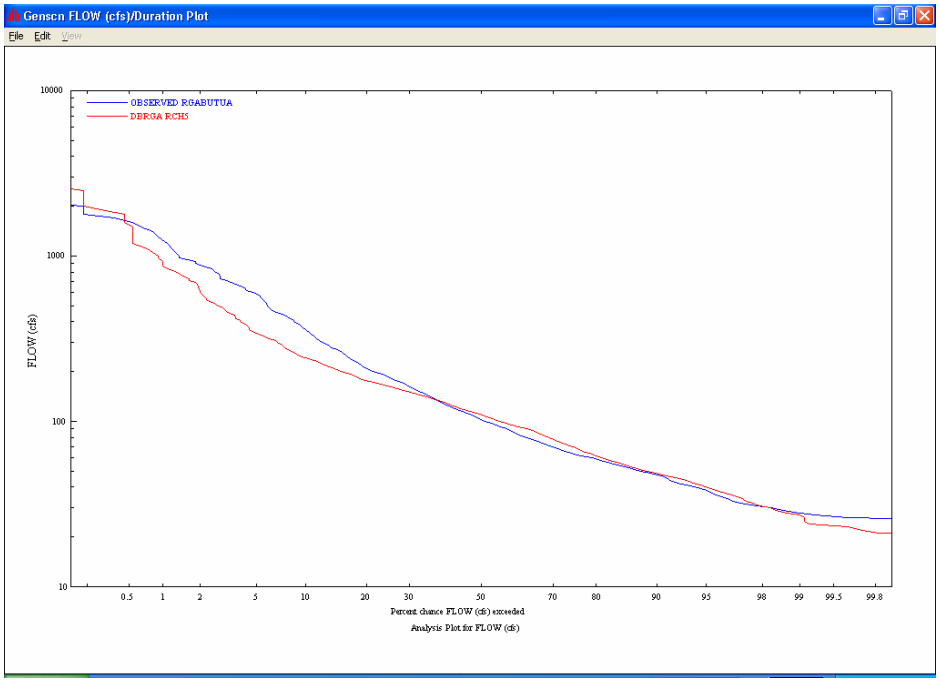


Figura 5.42. Curva de duración – frecuencia para flujo observado y simulado en la estación USGS 50024950 Río Grande de Arecibo Subcuenca 5. Periodo de validación (Octubre de 1999 a Septiembre de 2002).

5.4 Calibración de Transporte de Sedimentos

La calibración de sedimentos involucró un total de treinta y cinco parámetros (35) de los cuales veinticuatro (24) fueron utilizados en las iteraciones durante el proceso de calibración en las dieciocho (18) subcuencas. Los parámetros restantes once, (11) en total, no fueron ajustados durante las diferentes corridas en la calibración, debido a que estos son parámetros que determinan características propias de los materiales del lecho del río y su sección transversal. Los valores de los parámetros calibrados para las diferentes cuencas se presentan en el Apéndice 7.

Los cinco parámetros que se establecieron previos a la calibración y que corresponden a características propias del río y material del lecho, son *BEDWID*, *POR*, *D*, *W*, y *RHO*. El parámetro *BEDWID* corresponde al ancho de la sección transversal del río, fue determinado utilizando mediciones en campo. Las secciones transversales medidas aparecen en el Apéndice 8. Para la porosidad (*POR*) del material del lecho se utilizó un valor de 0.5 (Morris y Fan, 1997). Los diámetros efectivos (*D*) utilizados fueron 0.014, 0.0006 y 0.000055 pulgadas, para arenas, limos y arcillas respectivamente. Estos valores resultan representativos para estas fracciones (Rojas *et al,* 2003). Los valores de densidad de partículas (*RHO*) variaron entre 2.65 a 2.2 gramos por centímetro cúbico, el valor de 2.65 fue utilizado en la fracción de arenas, pues es representativo para estas (Vanoni, 1977). Para los limos y las arcillas se utilizaron valores de 2.4 a 2.2 gramos por centímetro cúbico. Las velocidades de caída en agua (*W*) (ley de Stokes) utilizadas fueron 1.42, 0.007 y 0.0004 pulgadas por segundo para las arenas, limos y arcillas respectivamente. Estas velocidades son representativas de cada fracción teniendo en cuenta que esta depende del tamaño de las partículas y su gravedad específica (Rojas *et al*, 2003).

De los veinticuatro parámetros usados para la calibración, once (11) corresponden a simulación de procesos de transporte y remoción en el segmento impermeable del suelo (*PERLND*), cinco (5)

parámetros simulan procesos en el segmento impermeable (*IMPLND*) y los ocho (8) restantes corresponden a la simulación de transporte y arrastre de sedimentos en el río.

Los parámetros relacionados con los procesos de transporte y remoción de sedimentos en el suelo, presentaron gran influencia en los valores generados, como lo mostró el análisis de sensibilidad, principalmente el parámetro *KGER*, coeficiente de la ecuación de lavado del suelo, cuyos valores en la calibración, variaron de 0.1 en bosques a 50 en terrenos sin cobertura. El exponente de esta misma ecuación varió entre 1 y 5. El valor del factor de prácticas de manejo *SMPF* en todas la subcuencas simuladas fue presumido como 1, pues no existen adecuadas prácticas de conservación en el área de estudio. Los valores del coeficiente de disgregación del suelo *KRER* variaron de 0.01 en bosques hasta 0.75 en terrenos sin cobertura en algunas subcuencas. Los exponentes de la ecuación de disgregación del suelo *JRER*, variaron entre 1 y 3. Los valores de reducción diaria de sedimentos debido a la compactación *AFFIX*, fue de 0.03 por día. La cobertura del suelo *COVER*, varió de 0.9 a 0.98 en Bosques, 0.8 a 0.95 en Arbustos, 0.4 0.5 para Agricultura, 0.7 a 0.8 en Pastos y 0 en terrenos sin coberturas.

Los parámetros relacionados con el proceso de erosión y arrastre de sedimentos en el río, como lo indicó el análisis de sensibilidad, presentan gran influencia en el proceso de simulación, principalmente el parámetro *KSAND*, coeficiente de arrastre de arenas, el esfuerzo cortante crítico *TAUCS* y *M*, coeficiente de erodabilidad. Los esfuerzos críticos cortante y de deposición, fueron determinados utilizando la metodología propuesta por Donigian y Love (2003). **HSPF** determina el esfuerzo en el río y los esfuerzos críticos son determinados mediante inspección visual de la gráfica de esfuerzos en **GenScn**.

Los resultados de la calibración de sedimentos son presentados en las Tablas 5.9 y 5.10 para concentraciones medias diarias y medias mensual. Los coeficientes de correlación para concentraciones promedias diarias, variaron de 0.77 a 0.35 y los coeficientes de determinación de 0.59 a 0.14. Estos valores son considerados bajos de acuerdo a Donigian (2000).

Tabla 5.9. Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio diario durante el periodo de calibración.

Número de identificación y nombre de la estación*	Concentración de sedimentos promedio diario observado (mg/l)	Concentración de sedimentos promedio diario simulado (mg/l)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	36.74	33.19	-10.70	0.46	0.21	-0.19	103.06	38.58
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	229.07	241.55	5.17	0.71	0.50	0.50	1157.91	232.20
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	25.90	21.51	-20.41	0.29	0.08	-1.54	64.62	24.70
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	46.27	49.99	7.44	0.35	0.12	-2.41	153.97	54.96
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	29.94	34.65	13.59	0.38	0.14	-0.20	91.01	33.41
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	91.60	69.59	-31.63	0.77	0.59	0.55	140.52	66.97
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	187.73	193.79	3.13	0.73	0.53	0.48	392.71	160.13
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	45.00	48.23	6.70	0.33	0.11	-0.57	193.93	57.42

(*) Los periodos de calibración aparecen en la Tabla 4.7

La Tabla 5.10 presenta los resultados obtenidos en la calibración de sedimentos, para concentraciones promedias mensuales. Los resultados mostraron valores bajos de los coeficientes de correlación y determinación para las subcuencas de Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas, Río Saliente

en Coabey cerca de Jayuya, y Río Yunes en carretera 140 cerca a Florida. Las restantes cuencas que presentaron valores satisfactorios se obtuvieron coeficientes de correlación entre 0.94 y 0.79 y coeficientes de determinación entre 0.62 y 0.88.

Tabla 5.10. Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio mensual durante el periodo de calibración.

Número de identificación y nombre de la estación	Concentración de sedimentos promedio mensual observado (mg/l)	Concentración de sedimentos promedio mensual simulado (mg/l)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	36.54	32.83	-11.30	0.50	0.25	0.23	41.15	28.79
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	230.10	242.41	5.08	0.94	0.88	0.70	196.80	104.85
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	25.79	21.36	-20.74	0.21	0.05	-1.15	21.22	15.35
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	46.01	49.83	7.67	0.84	0.70	0.55	25.07	15.82
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	29.75	34.58	13.97	0.47	0.22	0.13	24.92	17.94
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	91.18	69.00	-32.14	0.79	0.62	0.46	61.61	45.40
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	186.23	192.39	3.20	0.92	0.85	0.85	74.68	54.15
USGS 50022810 Río Viví abajo de la Hacienda El Progreso	48.27	45.11	-7.01	0.79	0.63	0.54	33.91	21.58

(*) Los periodos de calibración aparecen en la Tabla 4.7

Igual a lo que se observó en la calibración hidrológica, la precisión del modelo aumenta para promedios mensuales. Esto ocurre debido a que la distribución de los errores se hace en un intervalo de tiempo más grande. Las medidas de concentraciones promedias diarias de sedimentos suspendidos medidas por el USGS son realizadas una vez al día, lo cual provoca que eventos de descarga de sedimentos ocurridos a lo largo de día, no sean tenidos en cuenta o por el contrario que la medida sea sobrestimada al ser la muestra tomada durante un evento de descarga considerable.

En las subcuencas 12 y 6 ubicadas en los puntos de salida de los Lagos Caonillas y Dos Bocas respectivamente, se utilizaron los estudios de batimetría realizados por el USGS (Soler-López, 2001a y 2001b) con el fin de establecer el total de sedimentos exportados a estos lagos. El programa de simulación **HSPF** determina la cantidad de sedimentos en el lecho del lago en unidades de masa (toneladas). Sin embargo los datos de batimetría establecen la cantidad de sedimentos en unidades de volumen (Tablas 4.9 y 4.10). Con el fin de determinar la cantidad sedimentos exportados a los lagos en unidades de masa resultado del estudio de batimetría, se estableció un valor de densidad aparente de sedimentos del lecho de 1.0 gramo por centímetro cúbico, Morris y Fan (1997) mencionan que 0.96 gramos por centímetro cúbico es el valor promedio de la densidad de sedimentos en los lagos de los Estados Unidos. Lara y Pemberton (1963) citados por Morris y Fan (1997) publicaron datos para 101 lagos en Estados Unidos encontrando valores de densidad entre 0.3 y 1.88 gramos por centímetro cúbico. Para lagos en Puerto Rico, el USGS utiliza valores 1.0 gramo por centímetro cúbico[1], Soler-López *et al.* (1999) encontraron valores de densidad aparente 0.66 gramos por centímetro cúbico, en el Lago Garzas en la parte sur de la cuenca del Río Grande de Arecibo. Las Tablas 5.11 y 5.12 presentan la acumulación de sedimentos en unidades de masa calculadas para los Lagos Caonillas y Dos Bocas, respectivamente.

---

[1] Comunicación personal con Luís Soler-López, USGS, Puerto Rico

Tabla 5.11. Acumulación de sedimentos en el Lago Caonillas (Soler-López, 2001b).

Año	1990	1995	2000
Tiempo desde la construcción (Años)	42	47	52
Acumulación de sedimentos en pies cúbicos	226,367,014	242,258,614	472,863,387
Acumulación de sedimentos en toneladas	6,407,195	6,856,998	13,384,140

Tabla 5.12. Acumulación de sedimentos en el Lago Dos Bocas (Soler-López, 2001a).

Año	1994	1997	1999
Tiempo desde la construcción (Años)	52	55	57
Acumulación de sedimentos en de pies cúbicos	571,744,454	609,884,294	687,223,414
Acumulación de sedimentos en toneladas	16,182,915	17,262,442	19,451,484

Para el periodo de calibración, en el Lago Caonillas de Octubre 1 de 1995 a Febrero 29 de 2000 y el Lago Dos Bocas de Octubre 1 de 1995 a Septiembre 30 de 1999; el total de sedimentos acumulados fue de 13,384,140 y 19,451,484 toneladas, respectivamente. Los resultados obtenidos por el modelo arrojaron acumulación de sedimentos de 10,700,000 toneladas en el Lago Caonillas y 17,600,000 toneladas en el Lago Dos Bocas. Estos resultados indican diferencias relativas de de 9.5% y 20.1 % a los datos reportados por Soler-López (2001a y 2001b) lo cual resulta aceptable para sedimentos. La simulación mostró que la mayor cantidad de sedimentos exportados a los lagos, ocurrió durante los huracanes Hortensia (Septiembre de 1996) y Georges (Septiembre de 1998).

La Figura 5.43 presenta la acumulación de sedimentos en el lecho de los Lagos Caonillas (línea verde) y Dos Bocas (línea azul). Se observa el impacto de los huracanes en la acumulación de sedimentos en el lecho. Gellis (1993) evaluó los efectos del Huracán Hugo (septiembre de 1989) sobre la cuenca del Lago Loíza en el área noreste de Puerto Rico. El encontró que durante este evento de 48 horas de duración, el lago recibió el equivalente al 32 % de la carga anual solo para sedimentos suspendidos, sin tener en cuenta la carga aportada por el fondo del lecho. Gross *et al*. (1978) citados por este mismo autor, encontraron que los Huracanes Agnes (Junio de 1972) y Eloisa (Septiembre de 1975) aportaron cerca del 80 % de la descarga de sedimentos generada durante el periodo de 1966 a 1976 en la cuenca del río Susquehanna en Maryland, Estados Unidos.

En la Figura 5.43 se observa que el efecto de los huracanes es mayor en el Lago Caonillas, que en el Lago Dos Bocas. Esto puede ser causado por el efecto de los lagos aguas arriba de la cuenca, los cuales actúan como trampas para los sedimentos reduciendo las descargas de estos aguas abajo. Gellis (1993) encontró eficiencias de atrapamiento para sedimentos suspendidos de 74 % durante el huracán Hugo para la cuenca del Lago Loíza. Soler-López (2001 b) reporta valores de eficiencias de atrapamiento de 93 % para el lago Caonillas en la cuenca del Río Grande de Arecibo durante los años 1990 al 2000. Estos valores altos de eficiencia de atrapamiento han generado que la vida útil de los lagos en la cuenca del Río Grande de Arecibo, disminuya notablemente. Algunos lagos como Adjuntas se encuentran llenos de sedimentos en su capacidad[2].

La carga de sedimentos en los lagos provenientes de la carga del lecho correspondieron a 94.71 % para el Lago Dos Bocas y 95.1% para el Lago Caonillas. Vanoni (1977) menciona porcentajes para carga del lecho que varían entre 2% y 150 % de la carga total de sedimentos. Díaz-Ramírez (2004) reportó valores de 98 % de la carga de sedimentos provenientes del lecho para la cuenca el Lago Caonillas.

---

[2] Observaciones realizadas durante viajes al área de estudio (2004).

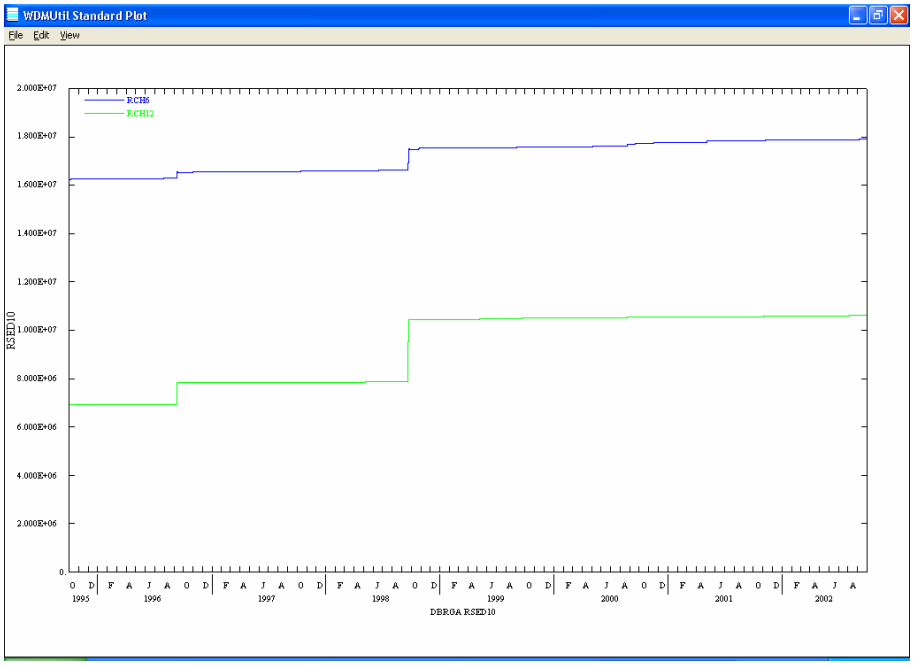


Figura 5.43. Acumulación de sedimentos en el fondo del lecho de los Lagos Caonillas y Dos Bocas.

5.5 Validación de Transporte de Sedimentos

Los periodos de validación utilizados en cada una de las subcuencas, fueron descritos en la metodología presentada en la Tabla 4.11. Los resultados obtenidos para simulación de sedimentos durante el periodo de validación, son presentados en las Tablas 5.13 y 5.14, para concentraciones de sedimentos y medias diarias y promedias mensuales.

Los coeficientes de correlación y determinación obtenidos para concentraciones promedias diarias fueron bajos para todas las subcuencas (Tabla 5.13). En contraste para concentraciones promedias mensuales, se encontraron coeficientes altos para las subcuencas de Río Grande de Arecibo arriba de Utuado y Río Grande de Arecibo abajo de Utuado con coeficientes de correlación de 0.95 y de determinación de 0.91, los valores de NSE encontrados resultaron de 0.9 y 0.82 respectivamente. Las restantes subcuencas presentaron bajas relaciones entre los datos simulados y observados.

Tabla 5.13. Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio diario durante el periodo de validación.

Número de identificación y nombre de la estación	Concentración de sedimentos promedio diario observado (mg/l)	Concentración de sedimentos promedio diario simulado (mg/l)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	74.23	17.32	-328.58	0.42	0.18	-14.52	171.39	67.73
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	98.49	193.49	49.10	0.45	0.21	-0.47	170.56	299.54
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	26.21	41.63	37.04	0.46	0.21	0.03	31.02	83.34
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	59.94	79.09	24.21	0.24	0.06	-0.70	227.25	86.74
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	57.15	45.37	-25.96	0.24	0.06	-0.38	197.15	59.60
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	66.11	63.61	-3.93	0.76	0.58	0.57	107.43	52.41
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	167.03	172.03	2.91	0.75	0.56	0.30	283.08	125.87

(*) Los periodos de validación aparecen en la Tabla 4.10

Tabla 5.14. Indicadores estadísticos para simulación de sedimentos suspendidos promedio mensual durante el periodo de validación.

Número de identificación y nombre de la estación	Concentración de sedimentos promedio mensual observado (mg/l)	Concentración de sedimentos promedio mensual simulado (mg/l)	E (%)	R	R^2	NSE	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)
USGS 50020500 Río Grande de Arecibo cerca Adjuntas	74.37	17.40	-327.41	0.36	0.13	-34.64	86.46	56.97
USGS 50026025 Río Caonillas en Paso Palma	98.39	192.67	48.93	0.69	0.48	-0.18	108.71	136.26
USGS 50025155 Río Saliente en Coabey cerca de Jayuya	26.26	41.50	36.72	0.68	0.46	0.30	19.70	32.11
USGS 50027000 Río Limón arriba del Lago Dos Bocas	60.11	79.24	24.14	0.47	0.22	-0.11	71.81	45.31
USGS 50026400 Río Yunes en carretera140 cerca a Florida	57.28	45.57	-25.70	0.41	0.17	-0.35	62.16	40.70
USGS 50021700 Río Grande de Arecibo arriba de Utuado	66.25	63.77	-3.89	0.95	0.91	0.90	19.41	16.26
USGS 50024950 Río Grande de Arecibo abajo de Utuado	167.66	172.26	2.67	0.95	0.91	0.82	61.08	45.14

(*) Los periodos de validación aparecen en la Tabla 4.10

5.6 Coeficientes de Exportación de Sedimentos, para los Diferentes Usos de Terreno en la Cuenca del Río Grande de Arecibo

5.6.1 Coeficientes de Exportación de Sedimentos Obtenidos para la Cuenca del Río Grande de Arecibo

Los coeficientes de exportación para los diferentes usos de terreno, fueron determinados a partir de los resultados de la simulación realizada en **HSPF**, el modelo calcula las cantidades totales de sedimentos producidas por cada segmento de uso de terreno. Los coeficientes de exportación de sedimentos, fueron determinados para siete (7) de las subcuencas calibradas y validadas en el presente trabajo. Los valores obtenidos tienen unidades de ton/acre/año y son presentados en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Valores de coeficientes de exportación de sedimentos encontrados para la cuenca del Río Grande de Arecibo.

Uso de terreno	Coeficiente de exportación de sedimentos (ton/acre/año)						
	USGS 50020500 Subcuenca 1	USGS 50021700 Subcuenca 3	USGS 50024950 Subcuenca 5	USGS 50025155 Subcuenca 10	USGS 50026025 Subcuenca 11	USGS 50026400 Subcuenca 16	USGS 50027000 Subcuenca 17
Urbano	0.0230	0.0126	0.3119	0.0233	0.0173	0.0201	0.0172
Agricultura	0.1215	0.4198	0.5587	0.5384	0.4040	0.2535	0.0950
Bosques	0.0051	0.0193	0.0049	0.0052	0.0040	0.0059	0.0030
Arbustos y pastos abandonados	0.0068	0.0219	0.0057	0.0104	0.0090	0.0118	0.0060
Terreno sin Cobertura	0.3370	1.3764	14.0000	3.2026	6.2510	2.3430	0.7380
Pastos	0.0152	-	-	0.0347	0.0260	0.0632	0.0350

(-) No hay este uso de terreno en esa subcuenca

Los resultados mostraron que los usos de terreno con menor aporte de sedimentos hacia el río son en orden los bosques, arbustos y pastos abandonados y los pastos. El aporte de los bosques varió entre 0.0030 ton/acre/año, en la cuenca del Río Limón, hasta 0.0052 ton/acre/año, en el Río Saliente. Por otra parte, el aporte de áreas con arbustos y pastos abandonados, varió entre 0.0219 a 0.0057 ton/acre/año en la cuenca del Río Grande de Arecibo. Los aportes de los pastos, fueron de 0.0152 ton/acre/año en la cuenca del Río Grande de Arecibo Adjuntas hasta 0.0632 ton/acre/año en El Río Yunes.

Gellis *et al.* (1999) reportaron valores de coeficientes de exportación de sedimentos para bosques en la cuenca del Lago Loíza en Puerto Rico, de 0.0236 ton/acre/año. Díaz-Ramírez (2004) encontró valores de 0.03 y 0.31 ton/acre/año para bosques y arbustos y pastos abandonados respectivamente, para la cuenca del río Caonillas en Puerto Rico. Igualmente USEPA (2003) reporta valores de 0.0018 ton/acre/año para las cuencas de las quebradas Red Oak, Spring, y Chickasawhatchee en el Estado de Georgia, Estados Unidos (USEPA, 2003). En estudios llevados a acabo en la cuenca del Río South Fork Coeur d'Alene en Idaho reportaron valores de 0.004 a 0.023 ton/acre/año para áreas con cobertura boscosa (Idaho Department of Environmental Quality, 2002). En el oeste de Sydney, Australia, Wayne *et al.* (2003) hallaron coeficientes de exportación que variaron entre 0.85 y 1.17 ton/acre/año en bosques.

Smith y Abruña (1955) reportan valores coeficiente de exportación de sedimentos en pastos de 1.05 ton/acre/año para Puerto Rico. Sin embargo Gellis *et al.* (1999) reporta valores de 0.013 ton/acre/año, valor que resulta menor al reportado para bosques por estos mismos autores. Por su parte Díaz-Ramírez (2004) reporta valores de 0.31 ton/acre/año para pastos.

Los terrenos descubiertos que representan el terreno sin ningún tipo de cobertura vegetal, y las áreas dedicadas a actividades agrícolas, presentaron los mayores valores de aporte de sedimentos en el presente estudio. Para agricultura se encontraron valores entre 0.0950 y 0.5587 ton/acre/año en la cuenca del Río Grande de Arecibo abajo de Utuado. Sin embargo los terrenos sin cobertura llegaron a 14.00 ton/acre/año

en esta misma cuenca. Gellis *et al.* (1999) encontraron valores de 0.207 ton/acre/año en la cuenca del Lago Loíza, por su parte Smith y Abruña (1955) indican valores de hasta 0.207 a 16 ton/acre/año en zonas agrícolas, de Puerto Rico. Otro estudio realizado por Mar López *et al.* (1998) en la cuenca del Río Guadiana en Puerto Rico, reporta valores de coeficientes de exportación de sedimentos de 10.6 ton/acre/año para bosques, 8.9 ton/acre/año para agricultura, 6.8 ton/acre/año para pastos y 4.8 ton/acre/año para áreas urbanas.

La Tabla 5.16 presenta los coeficientes de exportación de sedimentos obtenidos en otros estudios para los diferentes usos de terreno y el rango obtenido en el presente estudio. Los coeficientes de exportación de sedimentos obtenidos en este estudio resultaron cercanos a los reportados por Gellis *et al*. (1999) para pastos y agricultura en el Lago Loiza, Puerto Rico. Para bosque los coeficientes de exportación de sedimentos obtenidos se encuentran cercanos a los reportados por USEPA (2003) e Idaho Department of Environmental Quality (2002) en Estados Unidos.

Tabla 5.16. Comparación de los coeficientes de exportación de sedimentos reportados en otros estudios y este estudio.

	Coeficientes de exportación de sedimentos (ton/acre/año)							
Usos de terreno	Gellis et al (1999)	Díaz-Ramírez (2004)	USEPA (2003)	Idaho Department of Environmental Quality (2002)	Wayne et al (2003)	Smith y Abruña (1955)	Molinelli (1982)	Este Estudio
Urbano	-	1.59	-	-	-	-	-	0.012 - 0.31
Agricultura	0.207	4.49	-	-	3.64	16	31.4	0.09 - 0.55
Bosques	0.0236	0.03	0.0018	0.004	0.85	-	7.89	0.0030 - 0.0059
Arbustos y pastos abandonados	-	0.31	-	-	-	-	-	0.0057 - 0.011
Terreno sin Cobertura	1.65	70.14	-	-	-	-	-	0.33 - 14.0
Pastos	0.013	0.31	-	-	1.82	1.05	10.07	0.015 - 0.035

(-) No aplica en ese estudio

5.6.2 Relación entre los Coeficientes de Exportación de Sedimentos Obtenidos y las Características de las Subcuencas del Río Grande de Arecibo

La Tabla 5.17 presenta las características hidrogeomorfológicas de las diferentes subcuencas en la cuenca del Río Grande de Arecibo. Las subcuencas 5 y 10 presentaron valores de coeficientes de exportación de sedimentos altos para áreas urbanas, agrícolas y terrenos sin cobertura (Tabla 5.15). La subcuenca 10 como se observa en la Tabla 5.17 presenta los mayores valores para pendiente promedio con 44.66 %. Esta característica puede contribuir a aumentar los valores de coeficientes de exportación de sedimentos al igual que las altas elevaciones presentes en esta subcuenca con elevación promedio de 2,988 pies. Igualmente la pendiente máxima de flujo de escorrentía sobre el terreno es 8.03 % este valor resulta ser alto comparado con las demás subcuencas contribuyendo a un mayor arrastre de sedimentos por escorrentía.

Tabla 5.17. Características hidrogeomorfólogicas de las subcuencas.

	Características de las subcuencas						
	USGS 50020500 Subcuenca 1	USGS 50021700 Subcuenca 3	USGS 50024950 Subcuenca 5	USGS 50025155 Subcuenca 10	USGS 50026025 Subcuenca 11	USGS 50026400 Subcuenca 16	USGS 50027000 Subcuenca 17
Área total (acres)	12,053	9,939	4,452	5,947	18,323	10,143	13,059
Pendiente promedio (%)	33.23	38.9	28.31	44.65	35.19	35.44	34.26
Elevación promedio (pies)	2,399	1,659	1,064	2,988	2,084	1,456	1,498
Longitud máxima de recorrido del flujo en el terreno y el canal* (pies)	36,323	50,540	30,261	31,898	63,033	52,634	54,901
Pendiente máxima de flujo sobre el terreno y el canal (%)	5.76	4.68	4.93	8.03	5.31	4.93	5.13
Suelos predominantes	HmF2, MkF2, LuF	HmF2, PeF, HmF2	LcF2, PeF, CrC	LME, MaF2, LcF2	PeF, LcF2, LgF	HmF, LgF, RtF	HmF, RtF, LgF,

*Suma acumulativa de las longitudes del flujo sobre el terreno y todos los canales en la subcuenca, determinados en WMS.

Las longitudes máximas de recorrido de flujo sobre el terreno y el canal, podrían indicar que la escorrentía generada sobre el terreno tiene una distancia menor de recorrido, lo cual provocaría que los sedimentos lleguen de forma más rápida al río provocando mayores pérdidas de suelo al disminuir la oportunidad de los sedimentos de ser almacenados sobre el terreno.

En la subcuenca 5, donde se encontraron los mayores valores de coeficientes de exportación de sedimentos para agricultura, terreno sin cobertura y arbustos y pastos abandonados, la pendiente promedia resultó ser pequeña comparada con las demás subcuencas. Tanto en esta subcuenca, como en la subcuenca 10, hay predominancia de series de suelos que presentan problemas de erosión. La serie de suelos Lirios Arcilloso (LcF2) predominante en la subcuenca 5 con 24.7% del área total de esta y con 13.5% del área total en la subcuenca 10, presenta problemas de erosión, rápida escorrentía y pendientes que varían de 40 a 60% (USDA, 1982). En la subcuenca 10, un 28.9% del área de la cuenca presenta suelos de la serie Maraguez Limo Arcillosos (MaF2). De acuerdo con el USDA (1982) estos suelos, al igual que la serie LcF2, presentan problemas de erosión, rápida escorrentía y pendientes entre 40 a 60%.

Las serie de suelos predominante en la cuenca del Río Grande de Arecibo corresponde a Humatas la cual presenta textura superficial gruesa, condición que hace que este suelo sea susceptible a la erosión (USDA, 1995). Los suelos gruesos presentan poca cohesividad. Es decir las fuerzas intermoleculares que actúan en partículas finas como las arcillas y que ayudan a crear resistencia a la disgregación del suelo, son muy pequeñas en estos. Esto hace que las partículas del suelo sean fácilmente desprendidas y arrastradas, aumentando la erosión. Las pendientes pronunciadas que varían entre 40-60% contribuyen a aumentar los posibles problemas de erosión lo que lleva a coeficientes de exportación de sedimentos más altos.

5.6.3 Coeficientes de Exportación de Sedimentos y Tolerancia de Pérdidas de Suelo en la Cuenca del Río Grande de Arecibo

El nivel de tolerancia de pérdidas de suelo, es definido como el promedio de erosión que puede ocurrir sin que exista degradación del suelo (USDA-NRCS, 1995). Para la región del Caribe, el NRCS ha establecido el nivel de tolerancia de erosión de los suelos entre 1 y 5 ton/acre/año; para suelos más susceptibles a la erosión, el valor de tolerancia no debe ser mayor de 1 ton/acre/año.

Los coeficientes de exportación de sedimentos encontrados en el presente trabajo, resultaron en su mayoría con valores menores al nivel de tolerancia establecido por el NRCS. Las áreas que presentaron mayores valores de coeficientes de exportación de sedimentos fueron áreas con terrenos sin cobertura donde se obtuvieron valores máximos de 14 ton/acre/año. Esto indica que en estas áreas hay degradación del suelo. Para los otros usos de terreno, los valores encontrados pueden ser considerados como sostenibles, debido a que están por debajo del nivel de tolerancia establecido por el NRCS.

5.6.4 Impacto del Uso de Terreno en la Cantidad Erosión del Suelo y la Carga de Sedimentos en los Ríos en la Cuenca del Río Grande de Arecibo

La Tabla 5.18 presenta la distribución porcentual de usos de terreno en las diferentes subcuencas. Los coeficientes de exportación de sedimentos determinan la cantidad de erosión que cada uso de terreno aporta a la erosión total en un área dada. Los resultados indicaron aportes anuales de erosión para terrenos dedicados a la agricultura y terrenos sin cobertura, entre 100.1 y 1,336.6 toneladas, en el punto de salida de las subcuencas del Río Grande de Arecibo en Adjuntas y abajo de Utuado, respectivamente. Esto indica que la mayor cantidad de aporte de sedimentos proviene principalmente de estos dos usos de terreno.

El aporte de sedimentos de terrenos agrícolas varió entre 84.3 y 559.3 toneladas anuales. Este aporte resulta ser considerable teniendo en cuenta que la mayoría de las actividades agrícolas se desarrollan a orillas de los cuerpos de agua. Sin embargo los mayores aportes a la erosión del suelo provienen de áreas sin coberturas, donde los aportes totales a la erosión anual variaron entre 15.8 y 806.3 toneladas. Estos valores resultan considerablemente altos teniendo en cuenta que las áreas correspondientes a este uso de terreno corresponden a 0.1 y 0.55 % del área total en las diferentes subcuencas.

Tabla 5.18. Distribución porcentual de usos de terreno en las subcuencas.

	Porcentajes de distribución de usos de terreno en las subcuencas						
Usos de terreno	USGS 50020500 Subcuenca 1	USGS 50021700 Subcuenca 3	USGS 50024950 Subcuenca 5	USGS 50025155 Subcuenca 10	USGS 50026025 Subcuenca 11	USGS 50026400 Subcuenca 16	USGS 50027000 Subcuenca 17
Urbano	2.93	0.58	5.72	0.59	1.66	0.66	1.05
Agricultura	5.96	10.87	0.47	4.43	6.23	5.07	9.56
Bosques	85.22	84.05	63.96	84.58	60.17	87.20	77.88
Arbustos y pastos abandonados	5.26	4.35	29.38	9.43	29.10	5.92	10.06
Terreno sin Cobertura	0.40	0.15	0.47	0.51	0.55	0.10	0.17
Pastos	0.23	-	-	0.46	2.29	1.05	1.28
Total	100	100	100	100	100	100	100

(-) No hay este uso de terreno en esa subcuenca

Con el fin de evaluar el impacto del uso de terreno sobre la carga de sedimentos en los ríos, se establecieron dos situaciones hipotéticas para la subcuenca del Río Caonillas. En la primera situación hipotética, se aumentaron las áreas agrícolas 5 y 10 veces con relación al nivel existente. El aumento en áreas agrícolas se produjo reemplazando áreas de bosques por agricultura. En la segunda situación

hipotética, se redujeron primeramente las áreas agrícolas a la mitad, y luego se eliminaron estas totalmente, siendo reemplazadas por bosques.

La Figura 5.44 presenta los resultados obtenidos al aumentar las áreas de uso agrícola en la cuenca del Río Caonillas. Como se observa en la Figura 5.44, los aumentos de estas áreas incrementaron la carga promedia diaria de sedimentos en el río, principalmente durante eventos de gran precipitación. La Figura 5.44 presenta dos meses de simulación correspondientes a Julio a Septiembre de 2002, esto con el fin de tener mejor apreciación de los resultados.

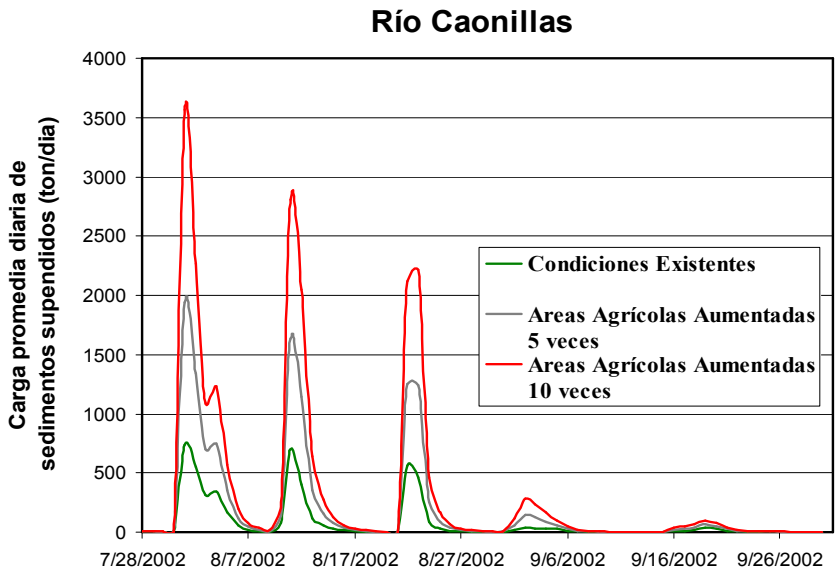


Figura 5.44. Impacto del aumento de usos de terreno agrícola sobre la carga de sedimentos en el Río Caonillas.

La Figura 5.45 muestra los resultados obtenidos al disminuir las áreas de uso agrícola. Como se puede observar, la carga promedio diaria de sedimentos en el río disminuye al ser reemplazadas las áreas agrícolas por áreas dedicadas a bosques. Aunque el impacto del aumento de áreas de usos agrícola es significativo, los coeficientes de exportación de sedimentos, calculados se encuentran dentro del nivel de

tolerancia establecido por el NRCS para el Caribe. Las áreas con terrenos sin cobertura tienen mayor impacto sobre la carga de sedimentos pues los valores de coeficientes de exportación de sedimentos son mayores en estos terrenos.

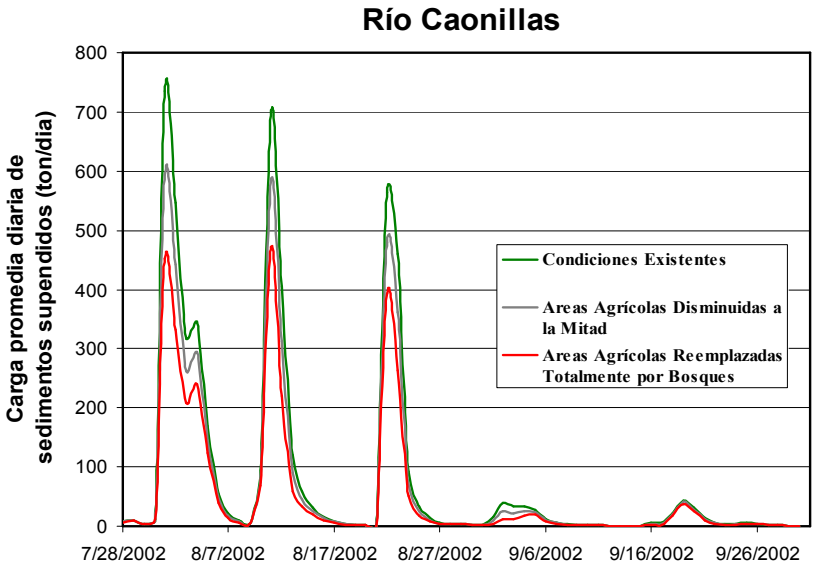


Figura 5.45. Impacto de la reducción de usos de terreno agrícola sobre la carga de sedimentos en el Río Caonillas.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Con base en los análisis y los resultados obtenidos en el presente trabajo, las siguientes conclusiones pueden obtenerse:

- Los resultados del análisis de sensibilidad llevado a cabo en el área de estudio, indicaron que los parámetros involucrados en los procesos de infiltración, percolación e interflujo, presentaron gran sensibilidad para la calibración hidrológica. Estos parámetros fueron, LZSN, INFILT, INFFEXP, INFILD, UZSN, INTFW, e IRC.

- El análisis de sensibilidad indicó además que el parámetro AGWRC, el cual simula los procesos de interacción de flujos base con el agua subterránea, presenta gran sensibilidad para el modelo.

- El análisis de sensibilidad indicó también que los parámetros de simulación de sedimentos que presentan mayor sensibilidad en el modelo, son los encargados de calcular los procesos de erosión por lavado del suelo y lavado por presencia de cárcavas, *JSER*, *KGER*, *JGER*. También los parámetros *KSAND*, *EXPSND*, *TAUCS* y *M*, que simulan procesos de erosión en el canal presentaron sensibilidad para el modelo.

- El análisis de incertidumbre llevado a cabo mediante el Análisis de sensibilidad Global, permitió evaluar los rangos de los parámetros hidrológicos involucrados en el proceso de simulación hidrológica en **HSPF**. Este análisis indicó que el rango recomendado por los desarrolladores de HSPF para estos parámetros, presenta valores adecuados para el área de

estudio, debido a que el análisis de sensibilidad al rango, presentó resultados que pueden ser considerados como aceptables.

- El análisis de sensibilidad del rango, para sedimentos suspendidos, indicó que los parámetros *KGER* y *KSAND*, pueden provocar valores exagerados e irreales, llegando a obtenerse valores de más de 7,000 % por encima de los datos observados.

- Los resultados de la calibración hidrológica resultaron aceptables para en la mayoría de las subcuencas simuladas. Se encontraron valores de coeficiente de determinación entre 0.78 y 0.98, y NSE de 0.55 a 0.89. La subcuenca ubicada en Río Grande de Arecibo arriba de Utuado presento bajos coeficientes de correlación (0.55) y NSE (0.26). Esta cuenca se encuentra aguas abajo del Lago Adjuntas, por lo cual el hidrograma se encuentra influenciado por el almacenamiento en este, afectando los flujos en esta subcuenca.

- La calibración para transporte de sedimentos, presentó buenos resultados para las cuencas de los Ríos Caonillas, Limón, y Río Grande de Arecibo abajo de Utuado. Se obtuvieron coeficientes de determinación de 0.88 a 0.76 y valores de NSE de 0.85 a 0.17. Las cuencas de los Ríos Saliente, Yunes y Río Grande de Arecibo en Adjuntas presentaron valores bajos de coeficientes de correlación y NSE.

- La calibración de los sedimentos depositados en el fondo de los Lagos Caonillas y Dos Bocas, presentaron una desviación relativa de 20.1 y 9.5 % a los datos reportados por otros estudios. Los eventos extremos provocados por huracanes mostraron gran influencia sobre la vida útil de los lagos, gran cantidad de sedimentos son llevados a los lagos durante estos eventos.

- Los coeficientes de exportación de sedimentos encontrados para las diferentes subcuencas, indicaron que las áreas agrícolas y las áreas con terreno sin cobertura, aportan la mayor cantidad de la carga anual de erosión, estas cantidades variaron 100.1 y 1336.6 toneladas. Los valores obtenidos para coeficientes de exportación de sedimentos resultaron adecuados de acuerdo a los resultados reportados por otros estudios.

- El Análisis de Sensibilidad Global resulta ser una herramienta útil para el análisis de los parámetros de los modelos de simulación, debido a que permite establecer cuales parámetros pueden causar valores inconsistentes en el modelo de simulación, obteniendo mejor ajuste de la calibración del modelo evaluado.

- El Modelo calibrado y validado desarrollado en este estudio para la cuenca del Río Grande de Arecibo, permitirá desarrollar y cuantificar el impacto de planes de manejo de los terrenos en la cuenca. Un análisis hipotético de sustitución de bosques por agricultura, demostró que el modelo responde a estos cambios de usos de terreno.

Las recomendaciones del presente trabajo son:

- Desarrollar una interfase que permita acoplar SimLab a HSPF con el fin de realizar análisis de sensibilidad global utilizando simulación Monte Carlo. Esta herramienta sería de gran utilidad para futuros desarrolladores de modelos de simulación en **HSPF.**

- Establecer una metodología que permita cuantificar la carga de sedimentos aportada por el lecho del río, en los puntos de muestreo. Estos datos permitirán mejorar la calibración y validación del modelo HSPF.

Referencias

Aqua Terra Consultants, 2004a. WDM versión 2.27. Weather Data Management Software.

Aqua Terra Consultants, 2004b. WDM versión 2.27. WinHSPF Software.

Aqua Terra Consultants, 2004c. WDM versión 2.27. GenScn Software.

Aqua Terra Consultants, 2004d. BASINS Training: Lecture 7 – "Hydrologic Processes, Parameters, and Calibration". http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm

Aqua Terra Consultants, 2004e. BASINS Training: Exercise 5- "WinHSPF Hydrology Calibration". http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm

Aqua Terra Consultants, 2004f. BASINS Training: Exercise 8b – "Sediment Transport Calibration". http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm

ArcView GIS Versión 3.3 para Windows, 2002. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. Main REF G70.2 .A723.

Beasley, D.B., Huggins, L.F., and Monke, E.J., 1980. "ANSWERS: A Model for Watershed Planning". ASAE Vol 23, No. 4, p.938-944.

Bedient, P.B., y Huber, W.C., 1992. *Hydrology and Floodplain Analysis*. 2nd edición New York: Addison-Wesley Publishing Company.

Benaman, J., y Shoemaker, C., 2004. "Methodology for Analyzing Ranges of Uncertain Model parameters and Their Impact on Total Maximum Daily Load Process (2004)". Journal of Environmental Engineering, June 2004, p 648-656.

Bicknell, B. R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, A. S. Donigian, y Johanson, R. C., 1996. Hydrological Simulation Program - FORTRAN Users Manual for Release 11, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

Bicknell, B. R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, A. S. Donigian, y Johanson, R. C., 2001. Hydrological Simulation Program - FORTRAN Users Manual For Release 12, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

Brigham Young University, 2004. Watershed Modeling System WMS Software versión 7.0.

Camacho, L.A, Díaz-Granados, M.A., y Giraldo, E., 2002. Contribución al Desarrollo de un Modelo de Calidad del Agua Apropiado para Evaluar Alternativas de Saneamiento del Río Bogota. Tesis Universidad de los Andes. http://www.cirf.org/kyoto/colombia2.pdf

Cook, H.L., 1936. "The Nature and Controlling Variables of the Water Erosion Process". Soil Science Society of America Proceedings. Proc: 60-64.

Crawford, N. H., y Linsley, R. K., 1966. "Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV". *Technical Report*, Vol. 39, Civil Engineering Department, University of Stanford, Palo Alto, CA.

CSA Group, 2000. Land Use Map of the Río Grande de Arecibo Watershed. Datos no publicados.

Díaz-Ramírez, J.N., 2004. Modeling Sediment Export Potential of the Río Caonillas Watershed. Thesis M.Sc. University of Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico. 169 p.

Donigian, A.S., Jr., y Crawford, N.H., 1976. Modeling Pesticides and Nutrients on Agricultural Lands, Environmental Research Laboratory, Athens, GA, EPA 600/2-7-76-043, 317 p.

Donigian, A.S., 2000. HSPF Training Workshop Handbook and CD. Lecture #7. Calibration and Verification Issues. EPA Headquarters, Washington Information Center, 10-14 January, 2000. Presented and Prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, D.C.

Donigian, A.S., 1995. "Modeling Watershed Water Quality". In: *Environmental Hydrology*. Vijay P. Singh, Editor. University of Louisiana. Ed. Kluwer Academic Publishers, p. 377-426.

Donigian, A.S., y J.T. Love, 2003. *Sediment Calibration Procedures and Guidelines for Watershed Modeling*. WEF TMDL 2003, November 16-19, 2003. Chicago, Illinois. WEF Specialty Conference Proceedings on CD-ROM

Duda, P.B, Kittle, J.L, Gray, M.H., Hummel, P.R., Kinerson, R.S., Cocca, P., Wells, D., Wellman, M., Parnington, E., y McWilliams, L., 2005. BASINS 4.0 – Flexible Integration of Components and Data for Watershed Assessment and TMDL Development. Aqua Terra Consultants. http://hspf.com/pdf/BASINS4.pdf

Ellison W.D., 1947. "Soil Erosion Studies - Part I". Agric. Eng. Vol 28, p. 145-146.

Elwell H.A., 1981. *A Soil Loss Estimation Technique for Southern Africa. In: Soil Conservation: Problems and Prospects*. R.P.C. Morgan ed., John Wiley, Chichester, UK. p. 281-292.

Fedak, R., 1999. Effect of Spatial Scale on Hydrologic Modeling in a Headwater Catchment. Thesis M.Sc. University of Virginia. Blacksburg, Virginia.

Fontaine, T.A., and Jacomino, V.M.F., 1997. "Sensitivity Analysis of Simulated Contaminated Sediment Transport", Journal of the American Water Resources Association, Vol. 33, No. 2, p. 313-326.

Foster, G. R., 1982. "Modeling the Erosion Process". en: *Hydrologic Modeling of Small Watershed*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan 297-380 p.

Foster, G.R., Lane, L.J., Nowlin J.D., Laflen J.M., and Young, R.A., 1981. "Estimating Erosion and Sediment Yield on Field-Sized Areas". Trans. Am. Soc. Agr. Eng. Vol 24, p. 1253-1262.

Gellis, A. C., Webb, R., Wolfe, W.J. y McIntyre, S., 1999. "Effects of Land Use and Upland Erosion, Sediment Transport, and Reservoir Sedimentation, Lago Loíza Basin, Puerto Rico". U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 99-4010. 60 p.

Gellis, A. C., 1993. "The Effects of Hurricane on Suspended Sediment Loads, Lago Loíza Basin, Puerto Rico". Earth Surfaces Processes and Landforms. Vol. 18. p 505-517.

Gnagey R.A., 1991. "Calculating Erosion Reduction with Inderosi". In: The International Workshop on Conservation Policies for Sustainable Hillslope Farming. 11-15 March 1991, Solo, Indonesia.

Gross, M.G., Karweit, M., Cronin, W.B., y Schubel, J.R., 1978. "Suspended Sediments Discharge of the Susquehanna River to Northern Chesapeake Bay, 1966 to 1976", Estuaries, Vol 1, No. 2, p 106-110.

Haan, C.T, Johnson, H.P., Brakensiek, D.L., 1982. *Hydrologic Modeling of Small Watershed*. American Society of Agricultural Engineers. St Joseph Michigan.

Hantush, M.M., Kalin, L., 2003. "Modeling Uncertainty of Runoff and Sediment Yield Using a Distributed Hydrologic Model". http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Hantush.pdf

Hummel, P.R, Kittle, J.L., and Duda, P., 2004. "Calibration of a Watershed Model for Metropolitan Atlanta". Aqua Terra Consultants. http://hspf.com/pdf/MetropolitanAtlanta.pdf

Idaho Department of Environmental Quality, 2002. "South Fork Coeur d'Alene River Sediment Subbasin Assessment and Total Maximum Daily Load".

Johnson, M.S., Coon, W.F., Mehta, V. K., Steenhuis, T. S., Brooks, E. S., y Bollc, J., 2003. "Application of Two Hydrologic Models with Different Runoff Mechanisms to a Hillslope Dominated Watershed in the Northeastern US: A Comparison of HSPF and SMR 2003". Journal of Hydrology 284 (2003) 57–76.

Junta de Planificación de Puerto Rico, 1977. Sistemas de Información: Cobertura de Usos de Terreno. Datos sin Publicar.

Krone, R.B., 1962. *Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes*. Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, CA.

Lara, J.M., y Pemberton, E.L., 1963. "Initial Unit Weight of the Deposited Sediments", Proc. Federal Interagency Sedimentation Conf., USDA-ARS. p 818-845.

Leigh, J.L., 1997. Development and Evaluation of a GIS-Based Spatially Distributed Unit Hydrograph Model. Thesis M.Sc. University of Virginia. Blacksburg, Virginia.

Maidment, D.R., 1993. "GIS and Hydrologic Modeling". En: *Environmental Modeling with GIS*. Ed. Goodchild, M.F., Parks, B.O., Steyaert, L. New York: Oxford University Press.

Mar López, T., Mitchell, T. and Scatena, F.N. "The Effect of Land Use on Soil Erosion in the Guadiana Watershed in Puerto Rico". Caribbean Journal of Science, Vol 34, No. 3-4, p. 296-307.

McDonnell, R. A., 1996. "Including the Spatial Dimension: Using geographical information systems in hydrology". Prog. Physical Geography, Vol 20, No 2, pp 159-177.

Meyer, L.D., and Wischmeier, W.H., 1969. "*Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water*". Trans. Am. Soc. Agr. Eng.Vol 12, p 754-758.

Molina-Rivera, W., 2005. Estimated Water Use in Puerto, 2002. U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations. Datos no publicados.

Morris, G.L., y Fan, J., 1997. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw Hill. New York.

Musgrave, G.W., 1947. "The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion: A First Approximation". J. Soil Water Conserv. Vol 2, p. 133-138.

Nash, J.E y Sutcliffe, J.V., 1970. "River Flow Forecasting through Conceptual Models". J. Hydrol. Vol 10, p.282-290.

Negev, M., 1967. A Sediment Model on a Digital Computer. Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA. Technical Report No. 76. 109 p.

Onishi, Y. y Wise, S.E., 1979. Mathematical Model, SERATRA, for Sediment-Contaminant Transport in Rivers and its Application to Pesticide Transport in Four Mile and Wolf Creeks in Iowa. Battelle. Pacific Northwest Laboratories, Richland, WA.

Onstad, C.A., y Foster, G.R., 1975. "Erosion Modeling on a Watershed". Trans. de ASAE, Vol 18, No. 2, p.288-292.

Partheniades, E., 1962. A Study of Erosion and Deposition of Cohesive Soils in Salt Water. Thesis Ph.D., University of California, Berkeley, CA.

Philips, J. R., 1957. "The Theory of Infiltration: The Infiltration Equation and its Solution", Soil Science. Vol 83. p 345-357

PRASA, 1995. Puerto Rico Aqueduct And Sewer Authority: North Coast Superaqueduct Project: Environmental Impact statement. May 24.

Reckhow, K.H., Beaulac M.N. y Simpson, J.T., 1980. Modeling Phosphorus Loading and Lake Response Under Uncertainty: A Manual and Compilation of Export Coefficients. U. S. Environmental Protection Agency. 213p.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., y Yoder, D. C., 1996. "Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation". US Department of Agriculture, Agricultural Research Services, Agricultural Handbook 703.

Rivera-Santos, J., 1988. A Methodology for Parameter Estimation in Conceptual Precipitation-Runoff Models with Emphasis on Error Analysis. Thesis Ph.D University of Colorado. Boulder, Colorado.

Rojas, R., Julien, P. y Johnson, B., 2003. *CASC2D v 1.0*: *A Two Dimensional Rainfall-Runoff and Sediment Model, Reference Manual*. University of Colorado.

Rosewell, C.J., 1993. "Soiloss: A Program to Assist in the Selection of Management Practices to Reduce Erosion". 2da ed. Soil Conservation Service of NSW, Sydney.

Senior, L. A. y Koerkle, E. H., 2003. Simulation of Stream Flow And Water Quality in The Christina River Subbasin and Overview of Simulations in other Subbasins of the Christina River Basin, Pennsylvania, Maryland, and Delaware, 1994-98: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4193.156 p.

SimLab, 2004. Software for Uncertain and Sensitivity Analysis. Version 2.2 Joint Research Centre - European Commission.

Singh, V.P, 1988a. *Hydrologic Systems: Rainfall-Runoff Modeling*, Vol. 1. Prentice Hall.

Smith, D.D., 1941. "Interpretation of Soil Conservation Data for Field Use". Agric. Eng. Vol 22, p.173-175.

Smith, R.M., y Abruña, F., 1955. Soil and Water Conservartion Research in Puerto Rico, 1938 to 1947: University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station Bulletin. 127. 51 p.

Soler-López, L.R., 2001a. Sedimentation Survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, October 1999. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 00-4234, 18 p.

Soler-López, L.R., 2001b. Sedimentation Survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 2000. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 01-4043, 25 p.

Todini, E., 1988. "Rainfall-Runoff Modeling Past, Present and Future". Journal of Hydrology. Vol 100. p 341- 352 p.

US Army Corps of Engineers, 1998. HEC-FDA Flood Damage Reduction Analysis: User Manual. Hydrologic Engineering Center. Davis, California.

USDA, 1979. Soil Survey of Ponce Area of Southern Puerto Rico. U.S Department of Agriculture.

USDA, 1982. Soil Survey of Arecibo Area of Northern Puerto Rico Soil. U.S Department of Agriculture.

USDA-NRCS 1995. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE): Caibbean Area. U.S Department of Agriculture.

USDA-NRCS, 2002. Soil Survey Geographic Database SSURGO. http://www.ncgc.nrcs.usda.gov/products/datasets/ssurgo/index.html

USEPA, 1999. Protocol to Developing Sediments TMDLs. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA, 2000. BASINS Technical Note 6: Estimating Hydrology and Hydraulics Parameters for HSPF. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 34 p.

USEPA, 2003.Total Maximum Daily Load for Sediment in Flint River Basin, Red Oak Creek, Spring Creek, and Upper Chickasawhatchee Creek . Environmental Protection Agency, Region 4, Atlanta, Georgia. 55 p.

USEPA, 2004. Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources (BASINS). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. http://www.epa.gov/waterscience/basins/

USGS, 2001. "1:24,000-Scale Raster Profile Digital Elevation Model Readme File Version: 08/2001". http://data.geocomm.com/catalog/RQ/group4.html

USGS, 2004a. National Water Information System: NWISWeb Data for the Nation. http://water.usgs.gov/

USGS, 2004b. Water Resources Data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 2002. Water-Data Report PR-02-1. 672 p.

Vanoni, V.A., 1977. Sedimentation Engineering. ASCE Manual and Report of Engineering Practice, No. 54, prepared by ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation of the Sedimentation Committee of Hydraulics Division. 745 p.

Veach, E.,1997. Robust Monte Carlo Methods for Light Transport Simulation. Thesis Ph.D, University of Stanford. 432 p.

Veihe, A., Quintons, J., y Poesen, J., 2000. "Sensitivity analysis of EUROSEM using Monte Carlo Simulation: The Effect of Rills and Rock Fragments". Hydrol. Process. Vol 14, p. 927-939.

Wang, M., Duru, J.O., Hjelmfelt, A.T., Qui, Z., y Thompson, A., 1999. "Hydrological Simulation of a Claypan Watershed Using HSPF". http://www.fse.missouri.edu/home/hjelmfelta/Publications_files/PDF/seattleasce.pdf

Wayne, D.E., Mahmoudzadeh, A., Browning, C.M., y Myers, C., 2003. "Sediment Yields and Soil Loss Rates from Different Land Uses on Triassic Shales in Western Sidney, NWS". Australian Journal of Soils Research. Vol 41, p 127-140.

Wischmeier, W.H., 1959. "A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation". Soil Sci. SOC. Am. Proc. 23:246-249.

Wischmeier, W.H., y Smith, D.D., 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 282. 47p.

Wischmeier, W.H., y Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537.

Williams, J. R., 1983. Hydrology and Sediment Transport in Small Watersheds, in Agricultural Management and Water Quality. The Iowa State University Press, 141 – 151 p.

Zingg, A.W., 1940. "Degree and Length of Land Slope as it Effects Soils Loss in Runoff". Agric. Eng. Vol 21, p. 59-64.

Apéndices

Apéndice 1. Tabla de atributos para las coberturas

Tabla 1.A Tabla de atributos para la cobertura de subcuencas

Campo	Descripción
Id	Campo interno de ArcView
GridCode	Campo interno de ArcView
Subbasin	Número de subcuenca
Area	Área de la subcuenca [hectáreas]
Len1	Longitud del cauce del río [metros]
Slo1	Pendiente de la subcuenca [%]
Sll	Pendiente longitudinal [metros]
Csl	Pendiente del cauce del río [%]
Wid1	Ancho del cauce del rió [metros]
Dep1	Profundidad del cauce del río [metros]
Latitude	Latitud del centroide de la subcuenca [decimal]
Elev	Elevación del centroide de la subcuenca [metros]
Bname	Nombre

Tabla 1.B Tabla de atributos para la cobertura de ríos

Campo	Descripción
Arcid	Campo interno de ArcView
From_node	Campo interno de ArcView
To_node	Campo interno de ArcView
Subbasin	Número de subcuenca
Subbasinr	Número de subcuenca que recibe el flujo
Numin	Número de las subcuencas que entran
Areac	Área de drenaje [hectáreas]
Len2	Longitud del río [metros]
Slo2	Pendiente del río [%]
Wid2	Ancho del río [metros]
Dep2	Profundidad del río [metros]
MinEl	Elevación mínima del río [metros]
MaxEl	Elevación máxima del río [metros]
Sname	Nombre

Tabla 1.C Tabla de atributos para la cobertura de puntos de salida

Campo	Descripción
PointId	Campo interno de ArcView
Grid_Code	Campo interno de ArcView
Xpr	Coordenada X
Ypr	Coordenada Y
Lat	Latitud [decimal]
Long	Longitud [decimal d]
Type	Tipo de salida
Id	ID
Pcsid	ID único para el sistema

Tabla 1.D Tabla de atributos para la cobertura de lagos

Campo	Descripción
Subbasins	Numero de subcuenca
Xpr	Coordenada X
Ypr	Coordenada X
Lat	Latitud [decimal]
Long	Longitud [decimal]

Apéndice 2. Rango de valores para parámetros hidrológicos en HSPF[3]

Parámetro	Unidades	Descripción	Rango De Valores				Función de…
			Típico		Posibles		
			Min	Max	Min	Max	
LZSN	(pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	3.00	8.00	2.00	15.00	Suelo, Clima
INFILT	(pulg/hr)	Infiltración	0.01	0.25	0.001	0.5	Suelo y uso del terreno
LSUR	(pies)	Longitud del flujo en la superficie	200	500	100	700	Topografía
SLSUR	(pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	0.01	0.15	0.001	0.3	Topografía
KVARY	(1/pulg)	Secesión de agua subterránea	0.00	3.00	0.00	5.00	Variación de la recesión del flujo base
AGWRC	-	Base de recesión del agua subterránea	0.92	0.99	0.85	0.999	Recesión del flujo base
INFEXP	-	Exponente de la ecuación de infiltración	2.00	2.00	1.00	3.00	Variabilidad del suelo
INFILD	-	Relación entre max/med capacidad de infiltración	2.00	2.00	1.00	3.00	Variabilidad del suelo
DEEPFR	-	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	0.00	0.20	0.00	0.50	Geología y recarga del agua subterránea
BASETP	-	Fracción de ET del flujo base	0.00	0.05	0.00	0.20	Vegetación en el canal
AGWETP	-	Fracción de ET del agua subterránea	0.00	0.05	0.00	0.20	humedales
CEPSC	-	Capacidad de almacenamiento por intercepción	0.03	0.20	0.01	0.40	Densidad de la vegetación, usos de terreno
UZSN	(pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	0.10	1.00	0.05	2.00	Condiciones superficiales del suelo
NSUR	-	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	0.15	0.35	0.05	0.50	Condiciones superficiales del suelo
INTFW	-	Parámetro de entrada del interflujo	1.00	3.00	1.00	10.00	Suelos, topografía, uso del terreno
IRC	-	Recesión del interflujo	0.50	0.70	0.30	0.85	Suelos, topografía, uso del terreno
LZETP	-	Parámetro de ET para la zona baja	0.20	0.70	0.10	0.90	Densidad de la vegetación, profundidad radical
RETSC	(pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.03	0.10	0.01	0.30	Condiciones de la superficie

(-) adimensional

[3] Valores tomados de "BASINS Technical Note 6", EPA, 2000.

Apéndice 3. Matriz de parámetros aleatorios generados en simlab

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	10	12	13	14	15	16	17
	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
1	8.87	0.24	0.88	1.60	1.69	0.21	9.34	0.68	0.26	0.31	1.46	8.59	4.38	0.15	4.93	4.92	0.82
2	2.47	0.43	0.94	1.92	1.89	1.05	8.11	0.41	0.26	0.69	1.58	7.19	1.62	2.20	3.33	8.81	0.74
3	6.09	0.10	0.91	1.59	1.97	0.38	4.00	0.66	0.19	0.59	1.52	9.12	3.01	0.34	0.00	4.75	0.07
4	11.91	0.44	0.90	1.03	1.60	0.83	4.74	0.63	0.12	0.95	2.07	1.71	2.08	1.78	4.23	3.67	0.58
5	3.05	0.15	0.93	2.81	1.90	0.24	2.88	0.58	0.07	0.44	1.39	9.60	2.63	3.44	0.57	3.19	0.96
6	10.50	0.18	0.92	2.94	1.72	0.08	1.41	0.68	0.26	0.87	2.55	2.58	1.68	4.65	1.32	6.57	0.25
7	5.39	0.02	0.88	1.37	1.17	1.71	8.09	0.75	0.18	0.07	2.56	1.88	3.68	2.31	2.90	2.61	0.71
8	14.72	0.18	0.87	1.19	1.04	0.14	2.37	0.56	0.18	0.03	2.71	3.32	2.70	3.53	0.26	2.80	0.30
9	8.02	0.14	0.86	2.23	1.66	0.47	6.07	0.70	0.20	0.01	2.95	1.38	2.25	4.25	3.90	9.03	0.30
10	5.10	0.34	0.94	2.51	1.30	0.47	7.25	0.57	0.25	0.67	1.43	6.02	2.13	1.03	4.90	4.85	0.19
11	7.65	0.36	0.94	2.71	1.55	1.65	1.82	0.72	0.22	0.44	2.43	7.08	4.83	3.95	1.19	5.61	0.22
12	2.24	0.45	0.86	2.04	1.48	0.23	9.82	0.73	0.25	0.70	1.65	9.29	3.59	1.60	2.98	4.08	0.94
13	7.49	0.41	0.90	2.59	1.06	0.12	6.83	0.38	0.25	0.38	1.58	2.27	2.24	4.93	3.22	9.42	0.43
14	11.99	0.12	0.86	2.12	1.72	1.36	5.72	0.66	0.29	0.38	1.11	9.13	3.34	4.90	0.89	0.92	0.41
15	8.69	0.31	0.86	2.54	1.34	1.51	4.71	0.80	0.16	0.62	2.09	3.38	2.62	4.12	0.95	1.27	0.71
16	2.33	0.20	0.85	1.19	1.67	1.33	3.28	0.52	0.05	0.42	1.67	0.95	2.68	2.73	1.30	8.88	0.56
17	2.85	0.03	0.92	1.91	1.66	0.39	4.15	0.40	0.25	0.60	2.78	5.34	4.14	1.70	4.80	7.50	0.76
18	5.66	0.07	0.86	1.82	1.89	0.57	8.78	0.46	0.18	0.47	2.36	0.45	1.22	3.03	1.90	7.14	0.61
19	8.85	0.38	0.88	2.37	1.78	1.96	4.99	0.63	0.10	0.68	2.57	8.61	1.67	2.30	0.09	1.21	0.25
20	10.79	0.49	0.95	1.73	1.43	1.65	6.77	0.63	0.22	0.19	2.98	4.18	1.75	0.19	3.90	1.43	0.16
21	14.30	0.42	0.89	2.98	1.20	0.16	5.16	0.58	0.08	0.19	1.29	2.38	2.00	2.26	1.72	7.14	0.27
22	13.53	0.35	0.86	1.87	1.50	1.74	9.06	0.35	0.16	0.18	1.21	2.33	4.83	4.86	1.88	3.91	0.90
23	11.47	0.09	0.87	2.88	1.27	1.22	7.86	0.30	0.07	0.50	1.24	9.84	3.70	2.90	2.38	2.26	0.90
24	5.71	0.36	0.94	1.15	1.05	1.15	1.68	0.70	0.03	0.03	2.34	2.14	1.36	2.78	1.02	6.37	0.19
25	10.88	0.44	0.96	2.72	1.71	1.25	8.71	0.52	0.18	0.43	2.41	5.62	4.25	0.95	4.00	6.25	0.29
26	13.86	0.49	0.97	2.95	1.83	0.67	2.11	0.69	0.21	0.90	2.25	6.41	4.61	0.14	4.64	5.91	0.49
27	5.57	0.12	0.88	1.10	1.91	0.70	6.01	0.64	0.29	0.78	1.92	9.42	2.70	2.15	2.58	5.52	0.92
28	12.35	0.11	0.90	2.22	1.27	1.47	5.90	0.66	0.06	0.05	2.88	4.69	2.39	1.01	3.20	6.33	0.82
29	2.19	0.38	0.97	1.34	1.53	0.07	3.16	0.32	0.08	0.20	2.90	3.79	3.26	4.91	3.61	9.01	0.68
30	10.21	0.28	0.85	1.36	1.68	0.95	3.33	0.66	0.10	0.48	1.35	7.46	1.59	0.39	4.74	4.65	0.36
31	8.61	0.19	0.88	1.33	1.13	0.74	9.34	0.36	0.04	0.00	2.97	1.08	4.08	3.36	3.19	0.26	0.82
32	6.70	0.27	0.98	1.11	1.17	1.69	1.29	0.49	0.14	0.10	2.63	3.13	3.12	2.87	1.34	4.52	0.92
33	5.54	0.06	0.90	2.19	1.01	1.85	8.14	0.34	0.29	0.74	2.97	4.44	2.34	0.46	3.36	8.06	0.12
34	14.53	0.16	0.88	1.25	1.33	1.37	1.53	0.48	0.13	0.69	2.27	0.12	3.14	4.35	1.85	9.85	0.21
35	7.32	0.21	0.98	2.03	1.07	1.88	1.59	0.52	0.15	0.67	1.65	8.49	2.86	4.20	4.27	6.31	0.98
36	8.13	0.21	0.88	1.10	1.18	1.43	8.51	0.83	0.09	0.54	2.78	0.26	1.23	2.91	3.50	6.53	0.92
37	13.93	0.19	0.89	2.98	1.39	1.56	1.90	0.39	0.16	0.40	1.98	7.68	3.59	4.23	2.81	7.72	0.52
38	10.90	0.15	0.88	1.27	1.08	0.51	6.96	0.65	0.02	0.11	1.25	7.82	4.53	1.56	3.56	1.24	0.51
39	11.52	0.36	0.92	2.01	1.94	1.92	4.27	0.83	0.29	0.27	1.05	6.38	2.94	4.95	3.32	6.95	0.29
40	7.33	0.24	0.87	2.78	1.20	1.21	1.65	0.33	0.21	0.15	2.43	5.78	4.82	1.40	3.69	9.92	0.34
41	13.34	0.04	0.90	2.02	1.41	0.47	4.38	0.34	0.17	0.60	1.86	6.75	2.01	4.69	3.63	8.72	0.58
42	9.39	0.44	0.88	1.22	1.55	1.06	4.61	0.70	0.08	0.84	2.14	7.26	4.85	1.86	3.43	8.84	0.52
43	4.04	0.07	0.89	1.62	1.30	0.89	9.74	0.67	0.25	0.04	2.34	0.03	1.69	4.60	4.10	0.47	0.29
44	7.24	0.47	0.93	2.44	1.24	1.05	6.10	0.80	0.21	0.41	1.08	3.19	1.74	0.19	1.29	1.61	0.01
45	5.57	0.27	0.88	1.65	1.22	1.73	3.34	0.67	0.19	0.93	2.52	6.58	4.80	1.73	3.70	7.75	0.00
46	3.22	0.36	0.86	2.98	1.03	0.80	1.66	0.64	0.05	0.73	1.60	8.75	1.09	1.39	1.99	3.35	0.28
47	4.89	0.13	0.96	1.16	1.95	1.92	1.78	0.44	0.19	0.37	2.51	5.93	1.74	1.37	4.29	0.80	0.97
48	6.34	0.39	0.94	2.51	1.00	0.60	2.55	0.39	0.18	0.50	1.32	8.51	2.81	3.34	4.94	2.52	0.39
49	13.79	0.35	0.97	2.06	1.16	1.74	3.10	0.43	0.25	0.83	1.24	7.48	3.10	4.29	2.47	5.63	0.90

Apéndice 3. Matriz de parámetros aleatorios generados en simlab (continuación)

	LZSN	INFILT	AGWRC	INFEXP	INFILD	UZSN	INTFW	IRC	RETSC	COVER	JSER	KGER	JGER	KSAND	EXPSND	TAUCS	M
50	9.88	0.03	0.88	1.68	1.35	0.22	1.91	0.53	0.15	0.81	1.99	7.29	4.57	3.21	3.31	5.46	0.68
51	10.19	0.40	0.95	2.79	1.05	0.43	7.11	0.31	0.13	0.21	1.09	2.04	2.42	3.64	4.71	8.20	0.37
52	9.33	0.22	0.97	1.55	1.14	1.43	2.33	0.43	0.26	0.83	1.64	7.57	1.85	1.83	2.83	6.41	0.94
53	6.84	0.07	0.91	1.33	1.90	0.77	8.35	0.60	0.21	0.85	1.94	1.17	3.41	0.11	1.61	5.98	0.62
54	12.44	0.10	0.94	2.46	1.75	0.07	5.23	0.30	0.23	0.18	2.55	4.84	1.17	0.59	4.84	9.40	0.74
55	11.12	0.20	0.94	2.70	1.77	1.72	6.89	0.31	0.27	0.97	2.78	5.41	2.62	4.39	2.02	3.83	0.66
56	11.92	0.18	0.90	2.87	1.88	1.61	9.26	0.55	0.03	0.12	2.03	0.93	1.96	0.91	1.21	9.37	0.85
57	3.52	0.02	0.89	2.01	1.75	0.28	9.23	0.57	0.21	0.32	2.81	3.98	4.82	4.28	4.91	0.87	0.01
58	7.44	0.04	0.89	1.42	1.52	1.42	1.83	0.67	0.28	0.71	2.42	9.68	2.98	0.90	4.30	4.36	0.75
59	9.50	0.13	0.94	1.36	1.50	0.88	2.10	0.80	0.25	0.63	2.05	5.74	1.58	0.72	4.31	2.86	0.59
60	14.58	0.20	0.96	2.47	1.26	1.15	2.75	0.44	0.05	0.76	2.12	9.90	3.33	1.74	2.81	4.86	0.90
61	10.75	0.08	0.93	2.21	1.67	0.48	4.61	0.54	0.15	0.58	1.97	0.93	3.09	0.55	2.66	6.91	0.34
62	3.43	0.47	0.94	2.62	1.77	0.21	4.10	0.72	0.23	0.28	1.27	8.88	3.48	0.83	0.68	6.21	0.70
63	12.96	0.30	0.94	2.37	1.91	0.78	6.41	0.35	0.16	0.69	1.84	9.10	2.50	1.79	2.11	0.28	0.20
64	13.92	0.24	0.94	1.31	1.55	1.67	4.03	0.54	0.02	0.13	1.77	1.36	3.00	0.24	1.58	7.00	0.84
65	11.36	0.12	0.95	2.34	1.04	0.80	6.66	0.84	0.14	0.34	2.80	8.69	4.77	1.78	2.28	9.21	0.98
66	9.49	0.41	0.92	1.42	1.20	0.43	2.66	0.33	0.20	0.45	2.47	7.14	4.50	0.53	4.91	0.23	0.95
67	10.74	0.15	0.85	1.55	1.61	1.68	8.40	0.41	0.14	0.85	1.79	1.02	3.80	2.90	0.53	8.04	0.97
68	7.09	0.17	0.95	1.22	1.20	0.99	7.68	0.80	0.11	0.47	2.75	6.31	3.06	0.76	2.94	0.01	0.98
69	10.39	0.32	0.97	2.20	1.13	1.43	3.72	0.78	0.17	0.71	2.93	3.74	1.28	4.48	3.79	3.06	0.79
70	7.97	0.23	0.88	1.10	1.34	1.89	1.77	0.67	0.11	0.73	1.39	3.20	3.75	4.73	0.83	6.97	0.78
71	9.13	0.37	0.87	2.48	1.21	0.85	9.42	0.31	0.16	0.60	2.76	8.70	2.16	2.62	2.58	0.49	0.24
72	4.47	0.22	0.98	2.25	1.63	0.70	6.48	0.62	0.11	1.00	2.47	2.44	3.66	1.85	1.92	1.24	0.79
73	10.25	0.08	0.88	1.25	1.43	0.16	7.64	0.37	0.18	0.44	2.26	6.60	3.30	0.23	3.75	1.23	0.22
74	2.14	0.09	0.93	1.03	1.28	1.52	1.74	0.43	0.19	0.01	1.42	7.11	1.98	4.11	0.52	0.70	0.77
75	12.32	0.45	0.89	1.30	1.26	0.29	8.09	0.79	0.08	0.98	1.12	7.52	3.78	0.41	4.87	4.23	0.27
76	9.11	0.10	0.90	1.37	1.28	1.10	9.29	0.51	0.29	0.88	1.45	0.58	3.93	3.73	0.54	1.57	0.61
77	11.67	0.48	0.94	2.58	1.87	1.70	3.80	0.34	0.12	0.85	1.12	1.39	1.35	2.17	4.24	6.88	0.54
78	6.30	0.30	0.89	2.25	1.92	1.32	7.43	0.52	0.12	0.75	1.38	1.71	1.45	1.69	3.93	9.56	0.17
79	13.88	0.22	0.87	1.11	1.87	1.70	4.93	0.53	0.06	0.61	2.59	1.04	4.63	1.77	3.50	2.16	0.48
80	13.01	0.14	0.86	2.67	1.87	0.27	5.97	0.74	0.01	0.98	1.81	1.26	3.73	3.52	2.62	7.14	0.82
81	10.61	0.45	0.97	1.85	1.03	0.59	7.37	0.52	0.13	0.78	2.76	2.58	4.49	0.21	0.52	5.69	0.16
82	2.43	0.41	0.88	2.96	1.07	0.54	4.25	0.55	0.19	0.80	1.33	6.63	4.30	3.19	0.23	4.03	0.23
83	7.63	0.22	0.99	1.28	1.49	0.70	5.85	0.54	0.04	0.56	1.68	2.73	4.19	0.78	2.89	7.73	0.31
84	3.86	0.47	0.94	1.53	1.01	1.27	4.28	0.40	0.15	0.28	2.71	8.85	4.04	2.87	0.01	9.61	0.90
85	10.30	0.33	0.88	1.30	1.42	0.35	2.50	0.44	0.26	0.42	2.14	6.84	2.64	2.65	0.47	5.31	0.06
86	12.03	0.47	0.96	1.16	1.57	0.41	8.23	0.77	0.06	0.28	2.59	4.18	2.50	0.76	4.07	5.12	0.32
87	13.28	0.20	0.90	1.71	1.25	0.98	7.06	0.60	0.22	0.61	2.25	8.02	1.20	3.96	3.88	8.40	0.17
88	12.18	0.50	0.97	2.89	1.85	1.33	4.59	0.58	0.11	0.45	1.70	2.85	2.09	1.13	3.18	3.31	0.49
89	10.83	0.33	0.88	1.27	1.42	0.92	9.63	0.50	0.02	0.89	1.37	0.09	1.98	1.37	1.83	8.31	0.62
90	12.34	0.30	0.86	1.52	1.46	0.12	3.69	0.49	0.13	0.18	1.44	3.03	2.80	4.92	3.06	6.06	0.37
91	11.85	0.22	0.90	2.17	1.28	0.36	2.16	0.62	0.08	0.57	2.69	8.77	3.43	4.37	4.90	9.48	0.11
92	12.38	0.01	0.99	1.95	1.73	0.21	6.87	0.76	0.11	0.17	2.48	7.34	4.32	4.38	0.58	9.40	0.82
93	11.03	0.28	0.98	2.41	1.52	1.60	9.03	0.68	0.27	0.51	2.64	4.56	2.77	4.82	0.14	1.41	0.67
94	10.28	0.45	0.88	1.18	1.84	1.08	7.88	0.62	0.12	0.52	1.35	6.79	2.95	2.13	4.04	9.09	0.65
95	2.85	0.45	0.99	2.12	1.37	1.51	9.11	0.84	0.17	0.53	1.76	4.81	3.71	1.78	0.99	6.83	0.96
96	7.66	0.11	0.87	1.79	1.62	0.69	5.85	0.63	0.20	0.13	1.60	9.13	4.19	3.82	4.42	5.46	0.46
97	8.00	0.19	0.95	1.31	1.03	0.72	2.24	0.58	0.10	0.06	1.87	4.65	2.04	0.62	4.72	4.62	0.44
98	3.32	0.05	0.89	2.94	1.78	0.71	8.45	0.37	0.20	0.47	2.02	4.40	1.88	3.94	0.11	5.69	0.79
99	12.45	0.13	0.87	2.73	1.95	1.15	5.56	0.40	0.29	0.91	1.17	7.95	2.70	3.65	4.03	3.27	0.04
100	7.31	0.48	0.91	1.24	1.84	0.15	6.50	0.60	0.08	0.91	1.95	2.67	1.63	2.64	3.91	9.26	0.69

Apéndice 4. Datos de salida del modelo, para la muestra de parámetros aleatorios.

Corrida	Flujo (pies^3/s)	Concentración (mg/l)
1	59.59	226.54
2	53.43	255.91
3	57.91	836.45
4	52.97	243.02
5	60.63	1435.57
6	63.45	616.50
7	52.54	546.21
8	59.72	216.95
9	57.09	508.73
10	56.52	408.66
11	50.90	786.47
12	60.92	251.06
13	61.90	235.56
14	51.46	426.22
15	51.89	219.11
16	53.17	141.47
17	59.33	2632.56
18	56.82	164.33
19	50.08	161.44
20	49.26	70.59
21	59.63	106.09
22	49.25	214.53
23	52.51	683.57
24	52.48	133.99
25	50.80	130.86
26	52.20	513.04
27	55.33	354.92
28	54.19	397.80
29	62.00	426.70
30	53.22	321.58
31	54.54	239.08
32	54.54	239.08
33	51.67	281.74
34	50.06	86.80
35	48.90	1586.25
36	51.80	284.74
37	50.34	868.47
38	55.47	191.69
39	55.09	244.28
40	53.18	1362.29
41	56.02	1499.43
42	52.75	178.16
43	55.07	648.28
44	53.33	32.01
45	51.26	178.25
46	55.75	1786.19
47	49.94	1334.87
48	47.52	326.08
49	47.52	326.08
50	61.01	7254.58

Corrida	Flujo (pies^3/s)	Concentración (mg/l)
51	55.59	1123.70
52	49.75	515.06
53	54.80	166.22
54	63.60	1064.35
55	49.89	222.60
56	50.70	189.80
57	61.45	2628.97
58	52.38	2573.37
59	53.11	1214.99
60	50.31	751.34
61	55.98	186.39
62	53.28	28.23
63	52.71	106.99
64	48.51	211.80
65	53.55	941.20
66	55.96	517.09
67	50.43	188.77
68	52.98	261.36
69	49.89	479.63
70	50.04	294.85
71	54.18	88.87
72	53.98	215.57
73	61.03	231.79
74	52.30	964.15
75	57.06	131.73
76	52.65	132.18
77	49.51	381.43
78	52.67	171.05
79	48.99	157.07
80	58.69	302.24
81	53.28	69.13
82	57.13	207.16
83	51.41	104.88
84	52.25	233.28
85	56.73	103.19
86	54.51	145.42
87	52.08	279.03
88	49.75	184.09
89	53.07	156.21
90	60.68	204.38
91	56.69	934.93
92	61.41	6366.77
93	48.66	189.82
94	52.27	249.30
95	49.67	293.46
96	55.34	1465.35
97	53.80	795.46
98	56.64	606.97
99	52.22	980.93
100	60.53	306.98

Apéndice 5. Resultados del análisis de incertidumbre

Tabla 5.A Resultados del análisis de incertidumbre para Flujo

X (pies^3/ s)	Frecuencia	Incremento	Acumulado	Inv. Acumulado
47.52	2.00	0.00	0.02	0.98
47.68	0.00	0.00	0.02	0.98
47.84	0.00	0.00	0.02	0.98
48.00	0.00	0.00	0.02	0.98
48.16	0.00	0.00	0.02	0.98
48.32	0.00	0.00	0.02	0.98
48.48	1.00	0.01	0.03	0.97
48.65	1.00	0.01	0.04	0.96
48.81	1.00	0.01	0.05	0.95
48.97	1.00	0.01	0.06	0.94
49.13	2.00	0.02	0.08	0.92
49.29	0.00	0.00	0.08	0.92
49.45	1.00	0.01	0.09	0.91
49.61	3.00	0.03	0.12	0.88
49.77	2.00	0.02	0.14	0.86
49.93	4.00	0.04	0.18	0.82
50.09	0.00	0.00	0.18	0.82
50.25	2.00	0.02	0.20	0.80
50.41	1.00	0.01	0.21	0.79
50.58	1.00	0.01	0.22	0.78
50.74	1.00	0.01	0.23	0.77
50.90	1.00	0.01	0.24	0.76
51.06	0.00	0.00	0.24	0.76
51.22	1.00	0.01	0.25	0.75
51.38	2.00	0.02	0.27	0.73
51.54	1.00	0.01	0.28	0.72
51.70	1.00	0.01	0.29	0.71
51.86	1.00	0.01	0.30	0.70
52.02	1.00	0.01	0.31	0.69
52.18	5.00	0.05	0.36	0.64
52.34	2.00	0.02	0.38	0.62
52.50	3.00	0.03	0.41	0.59
52.67	3.00	0.03	0.44	0.56
52.83	2.00	0.02	0.46	0.54
52.99	2.00	0.02	0.48	0.52
53.15	5.00	0.05	0.53	0.47
53.31	2.00	0.02	0.55	0.45
53.47	1.00	0.01	0.56	0.44
53.63	0.00	0.00	0.56	0.44
53.79	1.00	0.01	0.57	0.43
53.95	1.00	0.01	0.58	0.42
54.11	2.00	0.02	0.60	0.40
54.27	0.00	0.00	0.60	0.40
54.43	3.00	0.03	0.63	0.37
54.60	0.00	0.00	0.63	0.37
54.76	1.00	0.01	0.64	0.36
54.92	1.00	0.01	0.65	0.35
55.08	1.00	0.01	0.66	0.34
55.24	2.00	0.02	0.68	0.32
55.40	1.00	0.01	0.69	0.31
55.56	1.00	0.01	0.70	0.30
55.72	1.00	0.01	0.71	0.29
55.88	3.00	0.03	0.74	0.26
56.04	0.00	0.00	0.74	0.26
56.20	0.00	0.00	0.74	0.26
56.36	1.00	0.01	0.75	0.25
56.52	1.00	0.01	0.76	0.24
56.69	3.00	0.03	0.79	0.21
56.85	0.00	0.00	0.79	0.21

Tabla 5.A Resultados del análisis de incertidumbre para flujo (continuación)

X (pies^3/ s)	Frecuencia	Incremento	Acumulado	Inv. Acumulado
57.01	3.00	0.03	0.82	0.18
57.17	0.00	0.00	0.82	0.18
57.33	0.00	0.00	0.82	0.18
57.49	0.00	0.00	0.82	0.18
57.65	0.00	0.00	0.82	0.18
57.81	1.00	0.01	0.83	0.17
57.97	0.00	0.00	0.83	0.17
58.13	0.00	0.00	0.83	0.17
58.29	0.00	0.00	0.83	0.17
58.45	0.00	0.00	0.83	0.17
58.62	1.00	0.01	0.84	0.16
58.78	0.00	0.00	0.84	0.16
58.94	0.00	0.00	0.84	0.16
59.10	0.00	0.00	0.84	0.16
59.26	1.00	0.01	0.85	0.15
59.42	0.00	0.00	0.85	0.15
59.58	3.00	0.03	0.88	0.12
59.74	0.00	0.00	0.88	0.12
59.90	0.00	0.00	0.88	0.12
60.06	0.00	0.00	0.88	0.12
60.22	0.00	0.00	0.88	0.12
60.38	1.00	0.01	0.89	0.11
60.54	2.00	0.02	0.91	0.09
60.71	0.00	0.00	0.91	0.09
60.87	2.00	0.02	0.93	0.07
61.03	1.00	0.01	0.94	0.06
61.19	0.00	0.00	0.94	0.06
61.35	2.00	0.02	0.96	0.04
61.51	0.00	0.00	0.96	0.04
61.67	0.00	0.00	0.96	0.04
61.83	1.00	0.01	0.97	0.03
61.99	1.00	0.01	0.98	0.02
62.15	0.00	0.00	0.98	0.02
62.31	0.00	0.00	0.98	0.02
62.47	0.00	0.00	0.98	0.02
62.64	0.00	0.00	0.98	0.02
62.80	0.00	0.00	0.98	0.02
62.96	0.00	0.00	0.98	0.02
63.12	0.00	0.00	0.98	0.02
63.28	0.00	0.00	0.98	0.02
63.44	1.00	0.01	0.99	0.01
63.60	1.00	0.01	1.00	0.00

Tabla 5.B Resultados del análisis de incertidumbre para concentración de sedimentos

X (mg/l)	Frecuencia	Incremento	Acumulado	Inv. Acumulado
28.23	6.00	0.00	0.06	0.94
100.49	16.00	0.16	0.22	0.78
172.76	24.00	0.24	0.46	0.54
245.02	11.00	0.11	0.57	0.43
317.28	5.00	0.05	0.62	0.38
389.55	4.00	0.04	0.66	0.34
461.81	5.00	0.05	0.71	0.29
534.07	1.00	0.01	0.72	0.28
606.34	3.00	0.03	0.75	0.25
678.60	1.00	0.01	0.76	0.24
750.86	3.00	0.03	0.79	0.21
823.13	2.00	0.02	0.81	0.19
895.39	3.00	0.03	0.84	0.16
967.66	1.00	0.01	0.85	0.15
1039.92	1.00	0.01	0.86	0.14
1112.18	1.00	0.01	0.87	0.13
1184.45	1.00	0.01	0.88	0.12
1256.71	0.00	0.00	0.88	0.12
1328.97	2.00	0.02	0.90	0.10
1401.24	2.00	0.02	0.92	0.08
1473.50	1.00	0.01	0.93	0.07
1545.76	1.00	0.01	0.94	0.06
1618.03	0.00	0.00	0.94	0.06
1690.29	0.00	0.00	0.94	0.06
1762.55	1.00	0.01	0.95	0.05
1834.82	0.00	0.00	0.95	0.05
1907.08	0.00	0.00	0.95	0.05
1979.34	0.00	0.00	0.95	0.05
2051.61	0.00	0.00	0.95	0.05
2123.87	0.00	0.00	0.95	0.05
2196.14	0.00	0.00	0.95	0.05
2268.40	0.00	0.00	0.95	0.05
2340.66	0.00	0.00	0.95	0.05
2412.93	0.00	0.00	0.95	0.05
2485.19	0.00	0.00	0.95	0.05
2557.45	2.00	0.02	0.97	0.03
2629.72	1.00	0.01	0.98	0.02
2701.98	0.00	0.00	0.98	0.02
2774.24	0.00	0.00	0.98	0.02
2846.51	0.00	0.00	0.98	0.02
2918.77	0.00	0.00	0.98	0.02
2991.03	0.00	0.00	0.98	0.02
3063.30	0.00	0.00	0.98	0.02
3135.56	0.00	0.00	0.98	0.02
3207.82	0.00	0.00	0.98	0.02
3280.09	0.00	0.00	0.98	0.02
3352.35	0.00	0.00	0.98	0.02
3424.61	0.00	0.00	0.98	0.02
3496.88	0.00	0.00	0.98	0.02
3569.14	0.00	0.00	0.98	0.02
3641.41	0.00	0.00	0.98	0.02
3713.67	0.00	0.00	0.98	0.02
3785.93	0.00	0.00	0.98	0.02
3858.20	0.00	0.00	0.98	0.02
3930.46	0.00	0.00	0.98	0.02
4002.72	0.00	0.00	0.98	0.02
4074.99	0.00	0.00	0.98	0.02
4147.25	0.00	0.00	0.98	0.02
4219.51	0.00	0.00	0.98	0.02
4291.78	0.00	0.00	0.98	0.02
4364.04	0.00	0.00	0.98	0.02
4436.30	0.00	0.00	0.98	0.02
4508.57	0.00	0.00	0.98	0.02
4580.83	0.00	0.00	0.98	0.02
4653.09	0.00	0.00	0.98	0.02

Tabla 5.B Resultados del análisis de incertidumbre para concentración de sedimentos (continuación)

X (mg/l)	Frecuencia	Incremento	Acumulado	Inv. Acumulado
4725.36	0.00	0.00	0.98	0.02
4797.62	0.00	0.00	0.98	0.02
4869.88	0.00	0.00	0.98	0.02
4942.15	0.00	0.00	0.98	0.02
5014.41	0.00	0.00	0.98	0.02
5086.67	0.00	0.00	0.98	0.02
5158.94	0.00	0.00	0.98	0.02
5231.20	0.00	0.00	0.98	0.02
5303.47	0.00	0.00	0.98	0.02
5375.73	0.00	0.00	0.98	0.02
5447.99	0.00	0.00	0.98	0.02
5520.26	0.00	0.00	0.98	0.02
5592.52	0.00	0.00	0.98	0.02
5664.78	0.00	0.00	0.98	0.02
5737.05	0.00	0.00	0.98	0.02
5809.31	0.00	0.00	0.98	0.02
5881.57	0.00	0.00	0.98	0.02
5953.84	0.00	0.00	0.98	0.02
6026.10	0.00	0.00	0.98	0.02
6098.36	0.00	0.00	0.98	0.02
6170.63	0.00	0.00	0.98	0.02
6242.89	0.00	0.00	0.98	0.02
6315.15	1.00	0.01	0.99	0.01
6387.42	0.00	0.00	0.99	0.01
6459.68	0.00	0.00	0.99	0.01
6531.94	0.00	0.00	0.99	0.01
6604.21	0.00	0.00	0.99	0.01
6676.47	0.00	0.00	0.99	0.01
6748.74	0.00	0.00	0.99	0.01
6821.00	0.00	0.00	0.99	0.01
6893.26	0.00	0.00	0.99	0.01
6965.53	0.00	0.00	0.99	0.01
7037.79	0.00	0.00	0.99	0.01
7110.05	0.00	0.00	0.99	0.01
7182.32	0.00	0.00	0.99	0.01
7254.58	1.00	0.01	1.00	0.00

Apéndice 6 Parámetros hidrológicos calibrados para HSPF

Tabla 6.A Río Viví Subcuenca 7 (USGS 50022810)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	2.5	2.5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.1	0.1	0.1
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3207	0.3207	0.3207
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.001	0.001	0.001
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.1	0.1
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.1	1	1
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	0.75	0.75	0.75
IRC	Recesión del interflujo	-	0.3	0.3	0.3
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.B Arecibo (Adjuntas) Subcuenca 1 (USGS 50020500)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Pastos	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	2	3	2	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.1	0.08	0.1	0.1	0.8
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3323	0.3323	0.3323	0.3323	0.3323
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	1	1	1	1	1
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	1	1	1	1	1
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.15	0.15	0.1	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.1	0.1	0.3	0.2	0.05
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	8	8	8	8	8
IRC	Recesión del interflujo	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.C Arecibo abajo de Utuado Subcuenca 3 (USGS 50021700)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	3	5	52	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.1	0.1	0.1	0.08
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.389	0.389	0.389	0.389
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.9	0.9	0.9	0.9
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.9	0.9	0.9	0.9
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.12	0.15	0.15	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.1	0.3	0.2	0.05
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1	1	1	1
IRC	Recesión del interflujo	-	0.3	0.3	0.3	0.3
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.D Río Grande de Arecibo arriba de Utuado Subcuenca 5 (USGS 50024950)

Parámetro (unidades)	*Descripción*	*Valor Calibrado*				
		Urbano	**Agricultura**	**Bosques**	**Arbustos**	**Terreno sin Cobertura**
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	5	6.5	6.5	5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.2831	0.2831	0.2831	0.2831
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.1	0.1	0.1	0.1
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.15	0.7
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	3	2.5	0.7
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	10	10	10	10
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.E Parámetros hidrológicos calibrados para Río Limón Subcuenca 17 (USGS 50027000)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos	Terreno sin cobertura	Pastos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	7	8.5	8.5	3	7
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.3	0.25	0.1	0.2
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3426	0.3426	0.3426	0.3426	0.3426
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.2	0	0.1
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	1.5	1.2	0.2	0.8
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	2	2	2	2	2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.2	0.3	0.3	0	0.2
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.F Río Yunes Subcuenca 16 (USGS 50026400)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos	Terreno sin cobertura	Pastos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	7	8.5	8.5	3	7
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.3	0.25	0.1	0.2
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3544	0.3544	0.3544	0.3544	0.3544
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.2	0	0.1
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	1.5	1.2	0.2	0.8
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	2	2	2	2	2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.2	0.3	0.3	0	0.2
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.G Río Saliente Subcuenca 10 (USGS 50025155)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura	Pastos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	3.5	3.5	2	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1	0.15
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.4465	0.4465	0.4465	0.4465	0.4465
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.04	0.06	0.05	0	0.04
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.H Río Caonillas Subcuenca 11 (USGS 50026025)

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	3.5	3.5	2	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1	0.15
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3519	0.3519	0.3519	0.3519	0.3519
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.04	0.06	0.05	0	0.04
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.I Subcuenca 2

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	3	5	5	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.8	0.1	0.1	0.1
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3556	0.3556	0.3556	0.3556
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.9	0.9	0.9	0.9
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.9	0.9	0.9	0.9
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.15	0.15	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.1	0.3	0.1	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1	1	1	1
IRC	Recesión del interflujo	-	0.3	0.3	0.3	0.3
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.J Subcuenca 4

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura	Pastos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	5	6.5	6.5	5	5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1	0.15
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3755	0.3755	0.3755	0.3755	0.3755
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.15	0	0.1
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	3	2.5	0.7	0.8
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	10	10	10	10	10
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.K Subcuenca 6

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	5	6.5	6.5	1
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.25	0.35	0.35	0.16
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3713	0.3713	0.3713	0.3713
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.1	0.1	0.1	0.1
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.15	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	3	2.5	0.1
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	10	10	10	10
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.L Subcuenca 8

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	2.5	2.5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.25	0.35	0.35
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.4541	0.4541	0.4541
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.001	0.001	0.001
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.15
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.5	0.8	0.8
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	0.75	0.75	0.75
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.M Subcuenca 9

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	2.5	2.5	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.25	0.35	0.35	0.01
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3177	0.3177	0.3177	0.3177
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.001	0.001	0.001	0.001
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.005	0.005	0.005	0.005
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.15	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.5	0.8	0.8	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	0.75	0.75	0.75	0.75
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.N Subcuenca 12

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	3.5	3.5	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3594	0.3594	0.3594	0.3594
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.002	0.002	0.002	0.002
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.002	0.002	0.002	0.002
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.04	0.06	0.05	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.2	0.3	0.3	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1.2	1.2	1.2	1.2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.O Subcuenca 13

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	3.5	3.5	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.08	0.12	0.12	0.08
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.4943	0.4943	0.4943	0.4943
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	1	1	1	1
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	1	1	1	1
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.001	0.001	0.001	0.001
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.001	0.001	0.001	0.001
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.04	0.06	0.05	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.2	0.3	0.3	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1	1	1	1
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.P Subcuenca 14

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	2	3.5	3.5	2
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.2	0.2	0.1
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3806	0.3806	0.3806	0.3806
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.002	0.002	0.002	0.002
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.002	0.002	0.002	0.002
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.04	0.06	0.05	0
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.2	0.3	0.3	0.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	1	1	1	1
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.1	0.1	0.1	0
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.Q Subcuenca 15

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado	
		Bosque	Arbustos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	8.5	8.5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	0.3	0.25
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	0.3557	0.3557
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	0.25	0.25
BASETP	Fracción de ET del flujo base	0.2	0.2
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	0.2	0.2
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	1.5	1.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	0.5	0.5
IRC	Recesión del interflujo	0.3	0.3
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	0.1	0.1
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	-	-

(-) No aplica

Tabla 6.R Subcuenca 18

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor Calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos
LZSN (pulg)	Almacenamiento en la zona inferior del suelo	-	7	8.5	8.5
INFILT (pulg/hr)	Infiltración	-	0.15	0.3	0.25
LSUR (pies)	Longitud del flujo en la superficie	-	150	150	150
SLSUR (pies/pies)	Pendiente del flujo en la superficie	-	0.3906	0.3906	0.3906
KVARY (1/ pulg)	Recesión de agua subterránea	-	0	0	0
AGWRC	Base de recesión del agua subterránea	-	0.98	0.98	0.98
INFEXP	Exponente de la ecuación de infiltración	-	2	2	2
INFILD	Relación entre max/med capacidad de infiltración	-	2	2	2
DEEPFR	Fracción del agua subterránea que va al acuífero	-	0.25	0.25	0.25
BASETP	Fracción de ET del flujo base	-	0.2	0.2	0.2
AGWETP	Fracción de ET del agua subterránea	-	0	0	0
CEPSC (pulg)	Capacidad de almacenamiento por intercepción	-	0.1	0.2	0.2
UZSN (pulg)	almacenamiento en la zona superior del suelo	-	0.8	1.5	1.2
NSUR	Coeficiente de Manning para el flujo en la superficie	-	0.2	0.2	0.2
INTFW	Parámetro de entrada del interflujo	-	2	2	2
IRC	Recesión del interflujo	-	0.5	0.5	0.5
LZETP	Parámetro de ET para la zona baja	-	0.2	0.3	0.3
RETSC (pulg)	Capacidad de retención en la superficie impermeable	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Apéndice 7 Parámetros de transporte de sedimentos calibrados para HSPF

Tabla 7.A Subcuenca 7 (USGS 50022810)

Parámetro	Descripción	Segmento de terreno			
		Valor calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.2	0.15	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	3	3	3
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2.3	0.1	0.1
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1.2	2	2
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2.3	0.01	0.01
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1.2	2	2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.15	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.B Río Grande de Arecibo (Adjuntas) Subcuenca 1 (USGS 50020500)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.3	0.1	0.1	0.1	0.6
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.4	0.9	0.8	0	0.7
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	0.5	0.5	5	0.4
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1.5	2	2	1.5	2
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1	5	0.5
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	2	2	2	2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	2	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.C Río Grande de Arecibo abajo de Utuado Subcuenca 3 (USGS 50021700)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	2	2	2	2
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	0.5	0.5	5
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1	5
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1.2	1.2	1.2	1.2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.D Río Grande de Arecibo arriba) Subcuenca 5 (USGS 50024950)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreo sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.7	0.2	0.2	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.4	0.9	0.8	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	30	1	1	50
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	30	0.3	0.3	50
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1.2	1.2	1.2	1.2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.15	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	2	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.E Río Limón Subcuenca 17 (USGS 50027000)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	3	3	3	3	3
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.4	0.9	0.8	0	0.7
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.3	0.1	0.1	0.5	0.2
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	2	2	2	2
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.5	0.1	0.1	3	0.1
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	5	2	2	5	2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.01	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.F Río Yunes Subcuenca 16 (USGS 50026400)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.1	0.05	0.05	0.2	0.1
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	3	3	3	3	3
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.98	0.9	0	0.7
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.8	0.2	0.2	3	0.4
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1.5	2	2	1.5	2
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.5	0.1	0.1	3	0.1
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	5	2	2	5	2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	1	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.01	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.G Río Saliente Subcuenca 10 (USGS 50025155)

Parámetro	Descripción	Terreno sin cobertura					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.3	0.01	0.01	0.5	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.98	0.9	0	0.8
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.8	0.1	0.2	2	0.4
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	3	1	1	5	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.6	0.1	0.2	2	0.02
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	3	1	1	5	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.02	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	2	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.H Río Caonillas Subcuenca 11 (USGS 50026025)

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.3	0.1	0.1	0.5	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	2	2	2	2	2
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.98	0.9	0	0.8
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.8	0.1	0.2	2	0.4
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	3	1	1	5	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.6	0.1	0.2	2	0.02
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	3	1	1	5	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.01	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	1	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.I Subcuenca 2

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	2	2	2	2
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.95	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	0.5	0.5	5
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1	5
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1.2	1.2	1.2	1.2
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.J Subcuenca 4

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno					
		Valor Calibrado					
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos	Terreno sin Cobertura	Pastos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.14	0.14	0.75	0.2
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.4	0.9	0.85	0	0.7
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	30	1	1	50	1
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	30	0.3	0.3	50	1
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.15	-	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	2	-	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.K Subcuenca 6

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	10	0.5	0.5	40
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	30	0.3	0.3	50
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.004	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.L Subcuenca 8

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno			
		Valor Calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	3	3	3
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	10	1	1
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	10	0.3	0.3
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	1	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.M Subcuenca 9

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	30	1	1	50
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	30	0.3	0.3	50
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.5	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	2	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.N Subcuenca 12

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.3	0.05	0.05	0.5
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	2	2	2	2
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.01
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.98	0.95	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.8	0.1	0.2	8
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	5
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.6	0.01	0.02	8
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.01	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	1	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.O Subcuenca 13

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.75
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.2	0.1	0.1	10
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	5
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1	10
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.P Subcuenca 14

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno				
		Valor Calibrado				
		Urbano	Agricultura	Bosques	Arbustos	Terreno sin Cobertura
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15	0.14
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85	0
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	0.1	0.1	10
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1	10
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.Q Subcuenca 15

Parámetro	Descripción	Segmento de Terreno		
		Valor Calibrado		
		Urbano	Bosques	Arbustos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.15	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.9	0.85
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	0.1	0.1
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	0.1	0.1
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	1	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	1	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.01	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.4	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.R Subcuenca 18

Parámetro	Descripción	Segmento de terreno			
		Valor calibrado			
		Urbano	Agricultura	Bosque	Arbustos
SMPF	Factor de prácticas de manejo	-	1	1	1
KRER	Coeficiente de la ecuación de disgregación del suelo	-	0.5	0.15	0.15
JRER	Exponente de la ecuación de disgregación del suelo	-	1	1	1
AFFIX (/día)	Fracción de suelo disgregados que decrece diariamente por compactación	-	0.03	0.03	0.03
COVER	Fracción cubierta del suelo	-	0.5	0.9	0.85
NVSI (lb/acre-día)	Tasa de entrada de sedimentos de la atmósfera	-	0	0	0
KSER	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	2	0.1	0.1
JSER	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	-	1	1	1
KGER	Coeficiente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	2	0.1	0.1
JGER	Exponente de la ecuación de arrastre de la matriz del suelos	-	1	1	1
DETS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sedimentos	-	0.1	0.1	0.1
KEIM	Coeficiente de la ecuación de lavado de sedimentos desagregados	0.1	-	-	-
JEIM	Exponente de la ecuación de lavado de sedimentos disgregados	2	-	-	-
ACCSDP ton/acre. día	Tasa de acumulación de sedimentos	0.0044	-	-	-
REMSDP /día	Fracción de sólidos removidos por día	0.03	-	-	-
SLDS (ton/acre)	Almacenamiento inicial de sólidos	0.1	-	-	-

(-) No aplica

Tabla 7.S Parámetros de transporte de sedimentos calibrados para HSPF

Parámetro	Descripción	Subcuenca					
		1	2	3	4	5	6
BEDWID (pies)	Ancho de la sección transversal	33	33	33	300	500	120
POR	Porosidad del material del lecho	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D (pulg)	Diámetro efectivo de Partículas de arena	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
W (pulg/s)	Velocidad de caída de la arena	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arenas	4	2.65	2.65	4	2.65	2.65
KSAND	Coeficiente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	5	0.002	0.1	6	6	0.001
EXPSND	Exponente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	2	1	3.92	8	8	1
D (pulg)	Diámetro efectivo de los limos	0.0005	0.0006	0.0006	0.00069	0.0006	0.0006
W (pulg/s)	velocidad de caída de los limos	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
RHO (g/cm^3)	Densidad real de los limos	2.2	2.2	2.2	2.5	2.5	2.2
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de los limos	1	0.1	0.01	0.05	0.05	0.0001
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de los limos	4.5	0.16	4	1.5	1.5	0.0002
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de los limos	0.1	0.001	1.5	0.1	1	0.0001
D (pulg)	Diámetro efectivo de las arcillas	0.00005	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055
W (pulg/s)	velocidad de caída de las arcillas	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arcillas	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de las arcillas	1	0.1	0.01	0.05	0.05	0.0001
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de las arcillas	4.5	0.16	4	1.5	1.5	0.0002
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de las arcillas	0.1	0.01	1.5	0.1	1	0.0001

Tabla 7.S Parámetros de transporte de sedimentos calibrados para HSPF (Continuación)

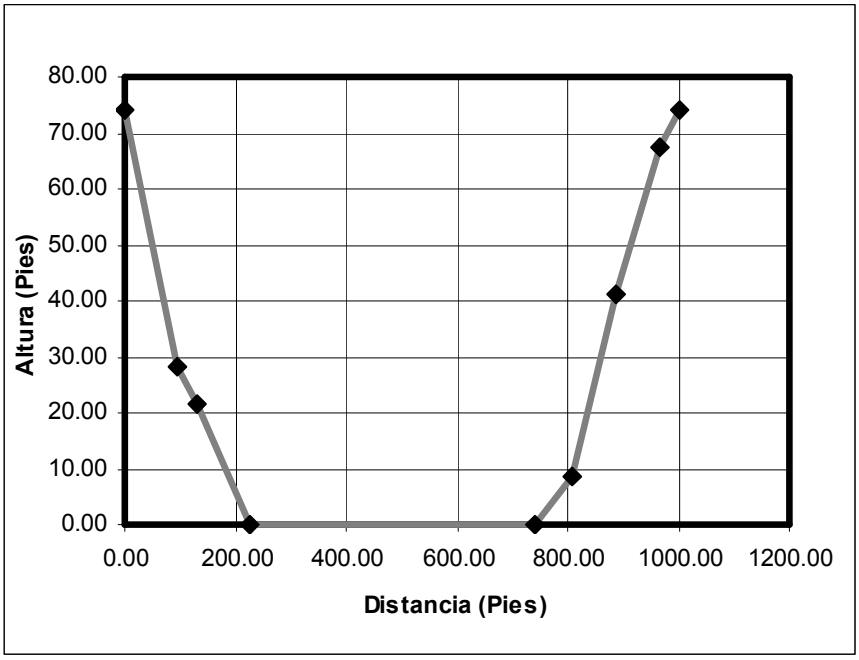
Parámetro	Descripción	Subcuenca					
		7	8	9	10	11	12
BEDWID (pies)	Ancho de la sección transversal	16	16	16	33	33	592
POR	Porosidad del material del lecho	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D (pulg)	Diámetro efectivo de Partículas de arena	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
W (pulg/s)	Velocidad de caída de la arena	1.42	1.42	1.42	1.4	1.4	2
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arenas	2.65	2.65	2.65	2.6	2.6	2.6
KSAND	Coeficiente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	0.1	0.001	2	5	5	0.0001
EXPSND	Exponente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	3.92	1	2	11.7	11.7	0.0001
D (pulg)	Diámetro efectivo de los limos	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
W (pulg/s)	velocidad de caída de los limos	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007
RHO (g/cm^3)	Densidad real de los limos	2.2	2.2	2.5	2.2	2.2	2.2
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de los limos	1	0.0001	0.05	0.8	0.8	0.0002
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de los limos	1.5	0.0002	1.5	3	1.5	0.003
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de los limos	0.001	0.001	0.1	0.001	0.05	0.001
D (pulg)	Diámetro efectivo de las arcillas	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055
W (pulg/s)	velocidad de caída de las arcillas	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arcillas	2.7	2.7	2.7	2.2	2.2	2.2
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de las arcillas	1	0.0001	0.05	0.8	0.8	0.0001
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de las arcillas	1.5	0.0002	1.5	3	1.5	0.0002
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de las arcillas	0.001	0.001	0.1	0.001	0.05	0.00001

Tabla 7.S Parámetros de transporte de sedimentos calibrados para HSPF (Continuación)

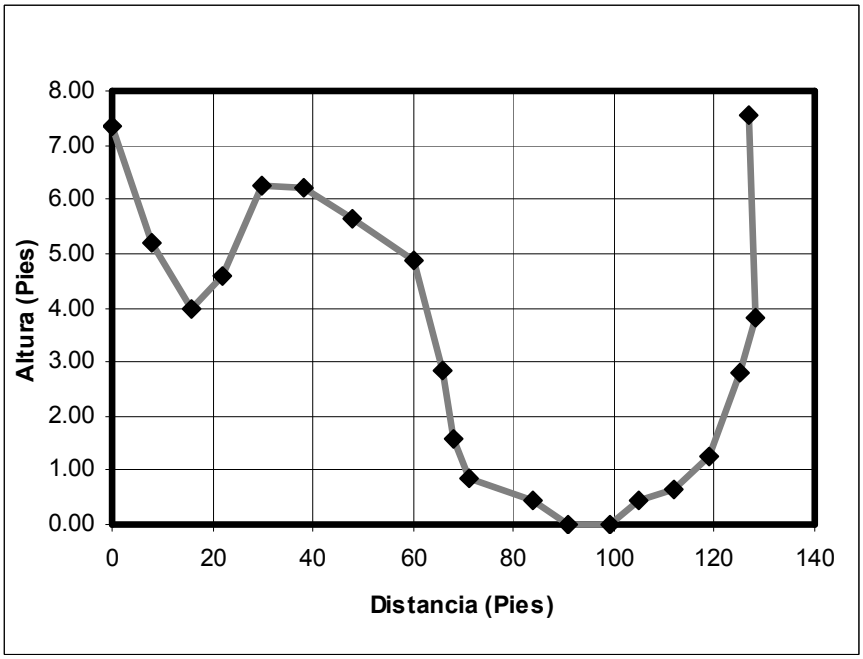
Parámetro	Descripción	Subcuenca					
		13	14	15	16	17	18
BEDWID (pies)	Ancho de la sección transversal	16	16	16	16	16	16
POR	Porosidad del material del lecho	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D (pulg)	Diámetro efectivo de Partículas de arena	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
W (pulg/s)	Velocidad de caída de la arena	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arenas	2.65	2.65	2.65	2.65	2.5	2.5
KSAND	Coeficiente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	1	2	5	5	5	5
EXPSND	Exponente de la ecuación de arrastre de arena en HSPF	2	4	8	3	8	8
D (pulg)	Diámetro efectivo de los limos	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
W (pulg/s)	velocidad de caída de los limos	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007
RHO (g/cm^3)	Densidad real de los limos	2.5	2.5	2.5	2.7	2.5	2.5
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de los limos	4	0.1	0.1	0.8	0.2	0.4
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de los limos	6	0.3	0.3	1.2	0.6	0.8
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de los limos	0.1	0.9	0.9	0.001	0.01	0.001
D (pulg)	Diámetro efectivo de las arcillas	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055	0.000055
W (pulg/s)	velocidad de caída de las arcillas	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
RHO (g/cm^3)	Densidad real de las arcillas	2.7	2.7	2.7	2.7	2.5	2.5
TAUCD (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para deposición de las arcillas	0.1	0.1	0.1	0.8	0.2	0.4
TAUCS (lb/pie^2)	Esfuerzo critico para arrastre de las arcillas	0.3	0.3	0.3	1.1	0.6	0.8
M ($lb/pie^2.d$)	Coeficiente de erodabilidad de las arcillas	0.9	0.9	0.9	0.001	0.01	0.001

Apéndice 8. Secciones transversales de las estaciones de aforo

Apéndice 8.A Lago Dos Bocas en el punto de salida

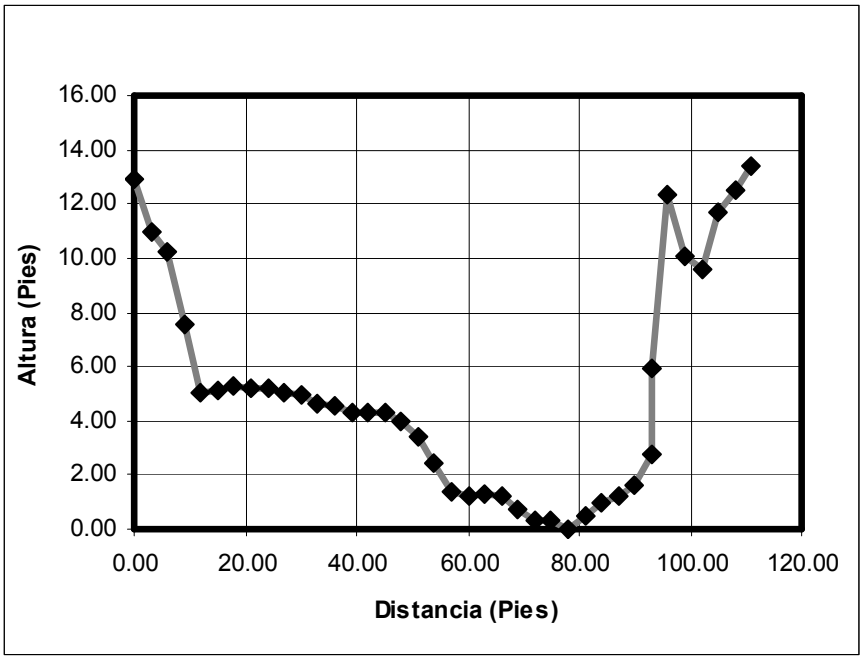


Apéndice 8.B Río Grande de Arecibo abajo de Utuado

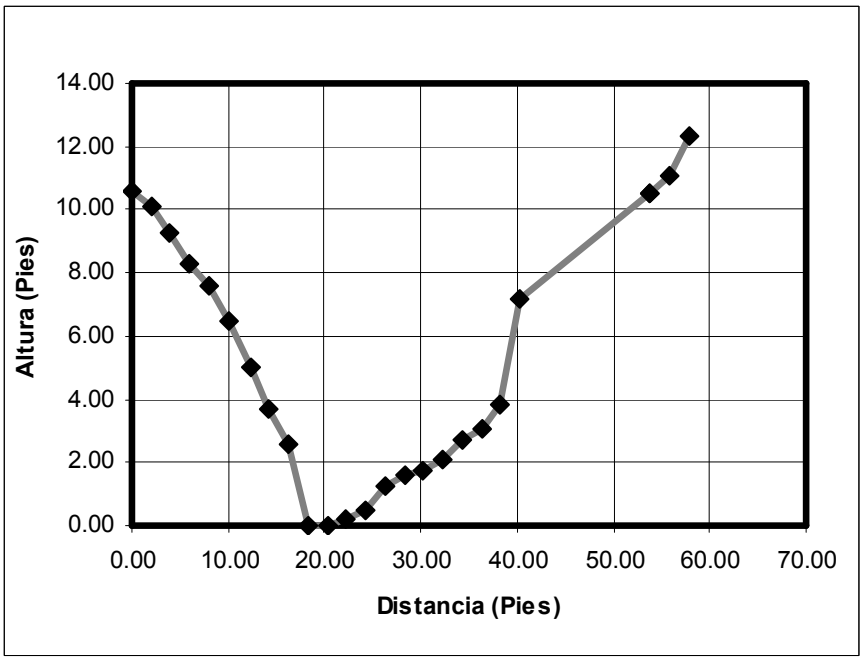


Nota: El punto más bajo corresponde al fondo del lecho de la sección medida

Apéndice 8.C Río Limón

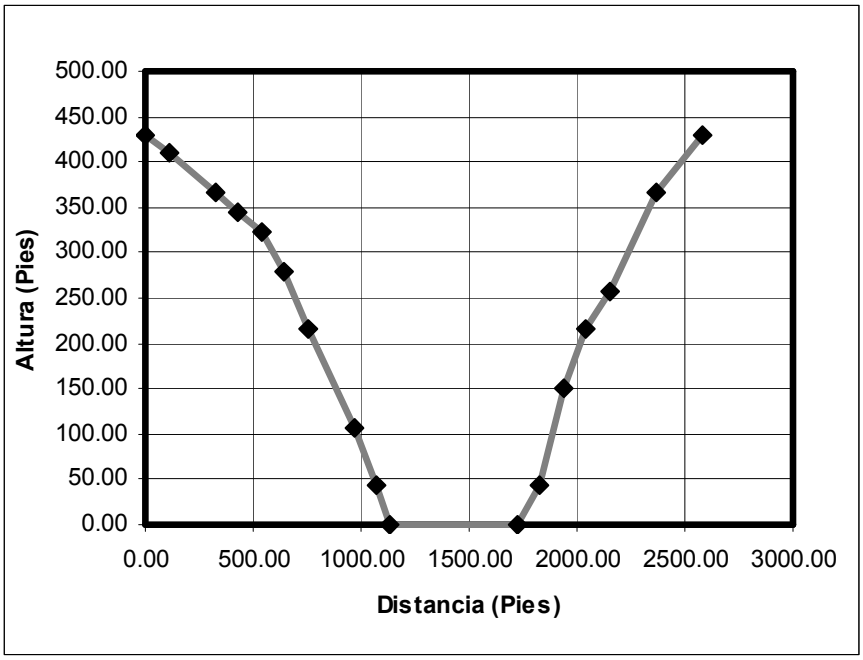


Apéndice 8.D Río Yunes



Nota: El punto más bajo corresponde al fondo del lecho de la sección medida

Apéndice 8.E Lago Caonillas en el punto de salida



Nota: El punto más bajo corresponde al fondo del lecho del río de la sección medida

Apéndice 9. Archivo UCI de HSPF

```
RUN

GLOBAL
  UCI Created by WinHSPF for dbrga
  START       1995/02/09 00:00  END    2002/09/30 00:00
  RUN INTERP OUTPT LEVELS    1    0
  RESUME     0 RUN     1                          UNITS    1
END GLOBAL

FILES
<FILE>  <UN#>***<----FILE NAME--------------------------------------------->
MESSU      24   dbrga.ech
           91   dbrga.out
WDM1       25   ..\..\data\met_data\RGA_OUT\DB_RGA\RGA_OUT.wdm
WDM2       26   ..\..\data\met_data\RGA_IN\rga\RGA_IN.wdm
BINO       92   dbrga.hbn
END FILES

OPN SEQUENCE
    INGRP             INDELT 01:00
      PERLND      11
      PERLND      17
      PERLND      12
      PERLND      13
      PERLND      14
      PERLND      15
      PERLND      16
      IMPLND      11
      PERLND      41
      PERLND      47
      PERLND      42
      PERLND      43
      PERLND      44
      PERLND      45
      IMPLND      41
      PERLND      51
      PERLND      52
      PERLND      53
      PERLND      54
      PERLND      55
      PERLND      56
      IMPLND      51
      PERLND      21
      PERLND      22
      PERLND      23
      PERLND      24
      PERLND      25
      PERLND      26
      IMPLND      21
      PERLND      31
      PERLND      32
      PERLND      33
      PERLND      34
      PERLND      35
      PERLND      36
      IMPLND      31
      PERLND      91
      PERLND      92
      PERLND      93
      PERLND      94
      PERLND      95
      IMPLND      91
      PERLND      61
      PERLND      62
      PERLND      63
      PERLND      64
      PERLND      65
      PERLND      66
      IMPLND      61
      PERLND      71
      PERLND      72
      PERLND      73
      PERLND      74
      IMPLND      71
      PERLND     121
      PERLND     122
      PERLND     123
      PERLND     124
      PERLND     125
      PERLND     126
      IMPLND     121
      PERLND     131
      PERLND     132
      PERLND     133
      PERLND     134
      PERLND     135
      PERLND     136
      IMPLND     131
      PERLND     141
      PERLND     142
      PERLND     143
      PERLND     144
      PERLND     145
      PERLND     146
      IMPLND     141
      PERLND     181
      PERLND     182
      PERLND     183
      PERLND     184
      PERLND     186
      IMPLND     181
      PERLND     171
      PERLND     177
      PERLND     172
      PERLND     173
      PERLND     174
      PERLND     175
      IMPLND     171
      PERLND     161
      PERLND     167
      PERLND     162
      PERLND     163
      PERLND     164
      PERLND     165
      IMPLND     161
      PERLND     101
      PERLND     107
      PERLND     102
      PERLND     103
```

```
      PERLND     104
      PERLND     105
      IMPLND     101
      PERLND     111
      PERLND     117
      PERLND     112
      PERLND     113
      PERLND     114
      PERLND     115
      IMPLND     111
      PERLND      81
      PERLND      82
      PERLND      83
      PERLND      84
      PERLND      86
      IMPLND      81
      PERLND     153
      PERLND     154
      PERLND     156
      RCHRES       1
      RCHRES       2
      RCHRES       7
      RCHRES       3
      RCHRES       4
      RCHRES       8
      RCHRES      10
      RCHRES       9
      RCHRES      11
      RCHRES      12
      RCHRES      16
      RCHRES      17
      RCHRES      18
      RCHRES      13
      RCHRES      14
      RCHRES      15
      RCHRES       5
      RCHRES       6
    END INGRP
END OPN SEQUENCE

PERLND
  ACTIVITY
*** <PLS >                Active Sections                                  ***
*** x -  x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC ***
   11  186    0    0    1    1    0    0    0    0    0    0    0    0
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
*** < PLS>                        Print-flags                                PIVL  PYR
*** x  - x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC
   11  186    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
*** < PLS>                Binary Output Flags                              PIVL  PYR
*** x  - x ATMP SNOW PWAT  SED  PST  PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC
   11  186    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***              Name                  Unit-systems   Printer BinaryOut
*** <PLS >                                 t-series Engl Metr Engl Metr
*** x -  x                                  in  out
   11     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   12     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   13     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   14     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   15     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   16     Water                            1    1    0    0   92    0
   17     Pasture                          1    1    0    0   92    0
   21     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   22     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   23     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   24     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   25     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   26     Water                            1    1    0    0   92    0
   31     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   32     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   33     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   34     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   35     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   36     Water                            1    1    0    0   92    0
   41     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   42     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   43     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   44     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   45     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   47     Pasture                          1    1    0    0   92    0
   51     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   52     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   53     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   54     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   55     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   56     Water                            1    1    0    0   92    0
   61     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   62     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   63     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   64     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   65     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
   66     Water                            1    1    0    0   92    0
   71     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   72     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   73     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   74     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   81     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   82     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   83     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   84     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   86     Water                            1    1    0    0   92    0
   91     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
   92     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
   93     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
   94     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
   95     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
  101     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
  102     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
  103     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
  104     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
  105     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
  107     Pasture                          1    1    0    0   92    0
  111     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
  112     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
  113     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
  114     Rangeland                        1    1    0    0   92    0
  115     Barren Land                      1    1    0    0   92    0
  117     Pasture                          1    1    0    0   92    0
  121     Urban or Built-up La             1    1    0    0   92    0
  122     Agricultural Land                1    1    0    0   92    0
  123     Forest Land                      1    1    0    0   92    0
```

```
  124     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  125     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  126     Water                              1    1    0    0   92    0
  131     Urban or Built-up La               1    1    0    0   92    0
  132     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  133     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  134     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  135     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  136     Water                              1    1    0    0   92    0
  141     Urban or Built-up La               1    1    0    0   92    0
  142     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  143     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  144     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  145     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  146     Water                              1    1    0    0   92    0
  153     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  154     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  156     Water                              1    1    0    0   92    0
  161     Urban or Built-up La               1    1    0    0   92    0
  162     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  163     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  164     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  165     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  167     Pasture                            1    1    0    0   92    0
  171     Urban or Built-up La               1    1    0    0   92    0
  172     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  173     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  174     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  175     Barren Land                        1    1    0    0   92    0
  177     Pasture                            1    1    0    0   92    0
  181     Urban or Built-up La               1    1    0    0   92    0
  182     Agricultural Land                  1    1    0    0   92    0
  183     Forest Land                        1    1    0    0   92    0
  184     Rangeland                          1    1    0    0   92    0
  186     Water                              1    1    0    0   92    0
  END GEN-INFO

  PWAT-PARM1
*** <PLS >                    Flags
*** x -  x CSNO RTOP UZFG  VCS  VUZ  VNN VIFW VIRC  VLE IFFC  HWT IRRG IFRD
   11  186    0    1    1    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
  END PWAT-PARM1

  PWAT-PARM2
*** < PLS>    FOREST      LZSN    INFILT      LSUR      SLSUR     KVARY     AGWRC
*** x  - x                (in)   (in/hr)      (ft)                (1/in)   (1/day)
   11            0.        2.     0.001       150.    0.3323        0.      0.98
   12            0.        2.      0.08       150.    0.3323        0.      0.98
   13   14       1.        3.       0.1       150.    0.3323        0.      0.98
   15            0.        2.      0.08       150.    0.3323        0.      0.98
   16            0.        1.     0.001       150.    0.3323        0.      0.98
   17            0.        2.       0.1       150.    0.3323        0.      0.98
   21            0.        2.     0.001       150.    0.3556        0.      0.98
   22            0.        3.       0.8       150.    0.3556        0.      0.98
   23   24       1.        5.       0.1       150.    0.3556        0.      0.98
   25            0.        2.       0.1       150.    0.3556        0.      0.98
   26            0.        1.     0.001       150.    0.3556        0.      0.98
   31            0.        2.     0.001       150.     0.389        0.      0.98
   32            0.        3.       0.1       150.     0.389        0.      0.98
   33   34       1.        5.       0.1       150.     0.389        0.      0.98
   35            0.        2.      0.08       150.     0.389        0.      0.98
   36            0.        1.     0.001       150.     0.389        0.      0.98
   41            0.        5.      0.01       150.    0.3755        0.      0.98
   42            0.        5.      0.15       150.    0.3755        0.      0.98
   43   44       1.       6.5       0.2       150.    0.3755        0.      0.98
   45            0.        5.       0.1       150.    0.3755        0.      0.98
   47            0.        5.      0.15       150.    0.3755        0.      0.98
   51            0.        5.      0.01       150.    0.2831        0.      0.98
   52            0.        5.      0.15       150.    0.2831        0.      0.98
   53   54       1.       6.5       0.2       150.    0.2831        0.      0.98
   55            0.        5.      0.01       150.    0.2831        0.      0.98
   56            0.        1.       0.1       150.    0.2831        0.      0.98
   61            0.        5.      0.01       150.    0.3713        0.      0.98
   62            0.        5.      0.25       150.    0.3713        0.      0.98
   63   64       1.       6.5      0.35       150.    0.3713        0.      0.98
   65            0.        5.      0.16       150.    0.3713        0.      0.98
   66            0.        1.       0.1       150.    0.3713        0.      0.98
   71            0.        2.     0.001       150.    0.3207        0.      0.98
   72            0.        2.       0.1       150.    0.3207        0.      0.98
   73   74       1.       2.5       0.1       150.    0.3207        0.      0.98
   81            0.        2.     0.001       150.    0.4541        0.      0.98
   82            0.        2.      0.25       150.    0.4541        0.      0.98
   83   84       1.       2.5      0.35       150.    0.4541        0.      0.98
   86            0.        2.      0.01       150.    0.4541        0.      0.98
   91            0.        2.      0.01       150.    0.3177        0.      0.98
   92            0.        2.      0.25       150.    0.3177        0.      0.98
   93   94       1.       2.5      0.35       150.    0.3177        0.      0.98
   95            0.        2.       0.2       150.    0.3177        0.      0.98
  101            0.        2.     0.001       150.    0.4465        0.      0.98
  102            0.        2.      0.15       150.    0.4465        0.      0.98
  103  104       1.       3.5       0.2       150.    0.4465        0.      0.98
  105            0.        2.       0.1       150.    0.4465        0.      0.98
  107            0.        2.      0.15       150.    0.4465        0.      0.98
  111            0.        2.     0.001       150.    0.3519        0.      0.98
  112            0.        2.      0.15       150.    0.3519        0.      0.98
  113  114       1.       3.5       0.2       150.    0.3519        0.      0.98
  115            0.        2.       0.1       150.    0.3519        0.      0.98
  117            0.        2.      0.15       150.    0.3519        0.      0.98
  121            0.        2.     0.001       150.    0.3594        0.      0.98
  122            0.        2.      0.15       150.    0.3594        0.      0.98
  123            1.       3.5      0.15       150.    0.3594        0.      0.98
  124            1.       3.5       0.2       150.    0.3594        0.      0.98
  125            0.        2.       0.1       150.    0.3594        0.      0.98
  126            0.        2.     0.001       150.    0.3594        0.      0.98
  131            0.        2.     0.001       150.    0.4943        0.      0.98
  132            0.        2.      0.08       150.    0.4943        0.      0.98
  133  134       1.       3.5      0.12       150.    0.4943        0.      0.98
  135            0.        2.      0.08       150.    0.4943        0.      0.98
  136            0.        2.     0.001       150.    0.4943        0.      0.98
  141            0.        2.     0.001       150.    0.3806        0.      0.98
  142            0.        2.      0.15       150.    0.3806        0.      0.98
  143  144       1.       3.5       0.2       150.    0.3806        0.      0.98
  145            0.        2.       0.1       150.    0.3806        0.      0.98
  146            0.        2.     0.001       150.    0.3806        0.      0.98
  153            1.       8.5       0.3       150.    0.3557        0.      0.98
  154            1.       8.5      0.25       150.    0.3557        0.      0.98
  156            0.        4.      0.01       150.    0.3557        0.      0.98
  161            0.        3.       0.1       150.    0.3544        0.      0.98
  162            0.        7.      0.15       150.    0.3544        0.      0.98
  163            1.       8.5       0.3       150.    0.3544        0.      0.98
  164            1.       8.5      0.25       150.    0.3544        0.      0.98
  165            0.        3.       0.1       150.    0.3544        0.      0.98
  167            0.        7.       0.2       150.    0.3544        0.      0.98
  171            0.        3.       0.1       150.    0.3426        0.      0.98
  172            0.        7.      0.15       150.    0.3426        0.      0.98
  173            1.       8.5       0.3       150.    0.3426        0.      0.98
  174            1.       8.5      0.25       150.    0.3426        0.      0.98
  175            0.        3.       0.1       150.    0.3426        0.      0.98
  177            0.        7.       0.2       150.    0.3426        0.      0.98
```

```
  181            0.        3.       0.1      150.    0.3906        0.      0.98
  182            0.        7.      0.15      150.    0.3906        0.      0.98
  183            1.       8.5       0.3      150.    0.3906        0.      0.98
  184            1.       8.5      0.25      150.    0.3906        0.      0.98
  186            0.        4.      0.01      150.    0.3906        0.      0.98
  END PWAT-PARM2

  PWAT-PARM3
*** < PLS>    PETMAX    PETMIN    INFEXP    INFILD    DEEPFR    BASETP    AGWETP
*** x  - x    (deg F)   (deg F)
   11   17       40.       35.        1.        1.       0.3     0.005        0.
   21   36       40.       35.        2.        2.       0.9       0.9        0.
   41   66       40.       35.        2.        2.       0.1     0.005        0.
   71   95       40.       35.        2.        2.     0.001     0.005        0.
  101  126       40.       35.        2.        2.     0.002     0.002        0.
  131  136       40.       35.        1.        1.     0.001     0.001        0.
  141  146       40.       35.        2.        2.     0.002     0.002        0.
  153  156       40.       35.        2.        2.      0.25       0.2        0.
  161  167       40.       35.        2.        2.       0.2      0.08        0.
  171  186       40.       35.        2.        2.      0.25       0.2        0.
  END PWAT-PARM3

  PWAT-PARM4
*** <PLS >      CEPSC      UZSN      NSUR     INTFW       IRC      LZETP
*** x -  x       (in)      (in)                      (1/day)
   11            0.      0.05       0.2        1.       0.3        0.
   12          0.15       0.1       0.2        1.       0.3       0.1
   13          0.15       0.3       0.2        1.       0.3       0.3
   14           0.1       0.2       0.2        1.       0.3       0.3
   15            0.      0.05       0.2        1.       0.3       0.1
   16            0.      0.05       0.2        1.       0.3        0.
   17           0.1       0.1       0.2        1.       0.3       0.1
   21            0.      0.05       0.2        1.       0.3       0.1
   22           0.1       0.1       0.2        1.       0.3       0.1
   23          0.15       0.3       0.2        1.       0.3       0.1
   24          0.15       0.2       0.2        1.       0.3       0.1
   25   31        0.      0.05       0.2        1.       0.3       0.1
   32          0.12       0.1       0.2        1.       0.3       0.1
   33          0.15       0.3       0.2        1.       0.3       0.1
   34          0.15       0.2       0.2        1.       0.3       0.1
   35   36        0.      0.05       0.2        1.       0.3       0.1
   41            0.      0.05       0.2       10.       0.5       0.1
   42           0.1       0.8       0.2       10.       0.5       0.1
   43           0.2        3.       0.2       10.       0.5       0.1
   44          0.15       2.5       0.2       10.       0.5       0.1
   45            0.       0.7       0.2       10.       0.5       0.1
   47           0.1       0.8       0.2       10.       0.5       0.1
   51            0.      0.05       0.2       10.       0.5       0.1
   52           0.1       0.8       0.2       10.       0.5       0.1
   53           0.2        3.       0.2       10.       0.5       0.1
   54          0.15       2.5       0.2       10.       0.5       0.1
   55           0.1      0.05       0.2       10.       0.5       0.1
   56            0.       0.7       0.2       10.       0.5       0.1
   61            0.      0.05       0.2       10.       0.5       0.1
   62           0.1       0.8       0.2       10.       0.5       0.1
   63           0.2        3.       0.2       10.       0.5       0.1
   64          0.15       2.5       0.2       10.       0.5       0.1
   65            0.       0.1       0.2       10.       0.5       0.1
   66            0.      0.05       0.2       10.       0.5       0.1
   71            0.       0.1       0.2      0.75       0.3        0.
   72           0.1       0.1       0.2      0.75       0.3       0.1
   73   74      0.1        1.       0.2      0.75       0.3       0.1
   81            0.       0.1       0.2      0.75       0.5       0.1
   82           0.1       0.5       0.2      0.75       0.5       0.1
   83           0.2       0.8       0.2      0.75       0.5       0.1
   84          0.15       0.8       0.2      0.75       0.5       0.1
   86            0.      0.05       0.2      0.75       0.5       0.1
   91            0.       0.1       0.2      0.75       0.5       0.1
   92           0.1       0.5       0.2      0.75       0.5       0.1
   93           0.2       0.8       0.2      0.75       0.5       0.1
   94          0.15       0.8       0.2      0.75       0.5       0.1
   95            0.       0.2       0.2      0.75       0.5       0.1
  101            0.      0.01       0.2       1.2       0.5        0.
  102          0.04       0.2       0.2       1.2       0.5       0.1
  103          0.06       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  104          0.05       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  105            0.       0.2       0.2       1.2       0.5        0.
  107          0.04       0.2       0.2       1.2       0.5       0.1
  111            0.      0.01       0.2       1.2       0.5        0.
  112          0.04       0.2       0.2       1.2       0.5       0.1
  113          0.06       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  114          0.05       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  115            0.       0.2       0.2       1.2       0.5        0.
  117          0.04       0.2       0.2       1.2       0.5       0.1
  121            0.      0.01       0.2       1.2       0.5        0.
  122          0.04       0.2       0.2       1.2       0.5       0.1
  123          0.06       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  124          0.05       0.3       0.2       1.2       0.5       0.1
  125  126       0.       0.2       0.2       1.2       0.5        0.
  131            0.      0.01       0.2        1.       0.5        0.
  132          0.04       0.2       0.2        1.       0.5       0.1
  133          0.06       0.3       0.2        1.       0.5       0.1
  134          0.05       0.3       0.2        1.       0.5       0.1
  135            0.       0.2       0.2        1.       0.5       0.1
  136            0.       0.2       0.2        1.       0.5        0.
  141            0.      0.01       0.2        1.       0.5        0.
  142          0.04       0.2       0.2        1.       0.5       0.1
  143          0.06       0.3       0.2        1.       0.5       0.1
  144          0.05       0.3       0.2        1.       0.5       0.1
  145            0.       0.2       0.2        1.       0.5       0.1
  146            0.      0.01       0.2        1.       0.5        0.
  153           0.2       1.5       0.2        1.       0.5       0.3
  154           0.2       1.2       0.2        1.       0.5       0.3
  156            0.      0.01       0.2        1.       0.5       0.2
  161            0.      0.01       0.2        1.       0.5        0.
  162           0.1       0.8       0.2        1.       0.5       0.2
  163           0.2       1.5       0.2        1.       0.5       0.3
  164           0.2       1.2       0.2        1.       0.5       0.3
  165            0.       0.2       0.2        1.       0.5        0.
  167           0.1       0.8       0.2        1.       0.5       0.2
  171            0.      0.01       0.2        2.       0.5        0.
  172           0.1       0.8       0.2        2.       0.5       0.2
  173           0.2       1.5       0.2        2.       0.5       0.3
  174           0.2       1.2       0.2        2.       0.5       0.3
  175            0.       0.2       0.2        2.       0.5        0.
  177           0.1       0.8       0.2        2.       0.5       0.2
  181            0.      0.01       0.2        2.       0.5        0.
  182           0.1       0.8       0.2        2.       0.5       0.2
  183           0.2       1.5       0.2        2.       0.5       0.3
  184           0.2       1.2       0.2        2.       0.5       0.3
  186            0.      0.01       0.2        2.       0.5       0.2
  END PWAT-PARM4

  PWAT-STATE1
*** < PLS>  PWATER state variables (in)
*** x  - x      CEPS      SURS       UZS      IFWS       LZS      AGWS      GWVS
   11  186      0.01      0.01       0.3      0.01       1.5      0.01      0.01
  END PWAT-STATE1
```

```
  MON-INTERCEP
*** <PLS >  Interception storage capacity at start of each month (in)
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
   11  186  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1  0.1
  END MON-INTERCEP

  MON-LZETPARM
*** <PLS >  Lower zone evapotransp   parm at start of each month
*** x -  x  JAN  FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG  SEP  OCT  NOV  DEC
   11  186  0.2  0.2  0.3  0.3  0.4  0.4  0.4  0.4  0.4  0.3  0.2  0.2
  END MON-LZETPARM

  SED-PARM1
*** <PLS >  Sediment parameters 1
*** x -  x  CRV VSIV SDOP
   11  186    0    0    1
  END SED-PARM1

  SED-PARM2
*** <PLS >       SMPF      KRER      JRER     AFFIX     COVER      NVSI
*** x -  x                                   (/day)           lb/ac-day
   11              1         0         3      0.03         0         0
   12              1       0.3         1      0.03       0.4         0
   13              1       0.1         1      0.03       0.9         0
   14              1       0.1         1      0.03       0.8         0
   15              1       0.6         1      0.03         0         0
   16              1         0         1      0.03         0         0
   17              1       0.1         1      0.03       0.7         0
   21              1         0         2      0.03         0         0
   22              1       0.5         2      0.03       0.5         0
   23              1      0.15         2      0.03      0.95         0
   24              1      0.15         2      0.03      0.85         0
   25              1      0.75         2      0.03         0         0
   26   31         1         0         2      0.03         0         0
   32              1       0.5         2      0.03       0.5         0
   33              1      0.15         2      0.03       0.9         0
   34              1      0.15         2      0.03      0.85         0
   35              1      0.75         2      0.03         0         0
   36              1         0         2      0.03         0         0
   41              1         0         1      0.03         0         0
   42              1       0.5         1      0.03       0.4         0
   43              1      0.14         1      0.03       0.9         0
   44              1      0.14         1      0.03      0.85         0
   45              1      0.75         1      0.03         0         0
   47              1       0.2         1      0.03       0.7         0
   51              1         0         1      0.03         0         0
   52              1       0.7         1      0.03       0.4         0
   53              1       0.2         1      0.03       0.9         0
   54              1       0.2         1      0.03       0.8         0
   55              1      0.75         1      0.03         0         0
   56   61         1         0         1      0.03         0         0
   62              1       0.5         1      0.03       0.5         0
   63              1      0.15         1      0.03       0.9         0
   64              1      0.15         1      0.03      0.85         0
   65              1      0.75         1      0.03         0         0
   66              1         0         2      0.03         0         0
   71              1         0         1      0.03         0         0
   72              1       0.2         3      0.03       0.5         0
   73              1      0.15         3      0.03       0.9         0
   74              1      0.15         3      0.03      0.85         0
   81              1         0         1      0.03      0.88         0
   82              1       0.5         1      0.03       0.5         0
   83              1      0.15         1      0.03       0.9         0
   84              1      0.15         1      0.03      0.85         0
   86   91         1         0         1      0.03         0         0
   92              1       0.5         1      0.03       0.5         0
   93              1      0.15         1      0.03       0.9         0
   94              1      0.15         1      0.03      0.85         0
   95              1      0.75         1      0.03         0         0
  101              1         0         2         0         0         0
  102            0.7       0.3         2      0.03       0.5         0
  103            0.4      0.01         2      0.03      0.98         0
  104            0.4      0.01         2      0.03       0.9         0
  105              1       0.5         2      0.01         0         0
  107            0.5      0.15         2      0.03       0.8         0
  111              1         0         2         0         0         0
  112            0.8       0.3         2      0.03       0.5         0
  113            0.4       0.1         2      0.03      0.98         0
  114            0.4       0.1         2      0.03      0.95         0
  115              1       0.5         2      0.01         0         0
  117            0.5      0.15         2      0.03       0.8         0
  121              1         0         2         0         0         0
  122            0.7       0.3         2      0.03       0.5         0
  123            0.4      0.05         2      0.03      0.98         0
  124            0.4      0.05         2      0.03      0.95         0
  125              1       0.5         2      0.01         0         0
  126              1         0         2      0.03         0         0
  131              1         0         1      0.03         0         0
  132              1       0.5         1      0.03       0.5         0
  133              1      0.15         1      0.03       0.9         0
  134              1      0.15         1      0.03      0.85         0
  135              1      0.75         1      0.03         0         0
  136  141         1         0         1      0.03         0         0
  142              1       0.5         1      0.03       0.5         0
  143              1      0.15         1      0.03       0.9         0
  144              1      0.15         1      0.03      0.85         0
  145              1      0.14         1      0.03         0         0
  146              1         0         1      0.03         0         0
  153              1      0.15         1      0.03       0.9         0
  154              1      0.15         1      0.03      0.85         0
  156              1         0         1      0.03         0         0
  161              1         0         2      0.03         0         0
  162            0.7       0.1         3      0.09       0.5         0
  163            0.4      0.05         3      0.03      0.98         0
  164            0.4      0.05         3      0.03       0.9         0
  165              1       0.2         3      0.09         0         0
  167              1       0.1         3      0.06       0.7         0
  171              1         0         1      0.03         0         0
  172              1       0.2         1      0.03       0.4         0
  173              1       0.1         1      0.03       0.9         0
  174              1       0.1         1      0.03       0.8         0
  175              1       0.3         1      0.03         0         0
  177              1       0.1         1      0.03       0.7         0
  181              1         0         1      0.03         0         0
  182              1       0.5         1      0.03       0.5         0
  183              1      0.15         1      0.03       0.9         0
  184              1      0.15         1      0.03      0.85         0
  186              1         0         1      0.03         0         0
  END SED-PARM2

  SED-PARM3
*** <PLS >  Sediment parameter 3
*** x -  x      KSER      JSER      KGER      JGER
   11             0         2         0         2
   12             2       1.5         2         2
   13   14      0.5         2       0.1         2
   15             5       1.5         5         2
   16             0         2         0         2
   17           0.4         2       0.5         2
```

```
   21              0         1         0       1.2
   22              2         1         2       1.2
   23   24       0.5         1       0.1       1.2
   25              5         1         5       1.2
   26   31         0         1         0       1.2
   32              2         1         2       1.2
   33   34       0.5         1       0.1       1.2
   35              5         1         5       1.2
   36              0         1         0         2
   41              0         1         0         1
   42             30         1        30         1
   43   44         1         1       0.3         1
   45             50         1        50         1
   47              1         1         1         1
   51              0         2         0         1
   52             30         1        30         1
   53   54         1         1       0.3         1
   55             50         1        50         1
   56   61         0         1         0         1
   62             10         1        10         1
   63   64       0.5         1       0.1         1
   65             40         1        40         1
   66              0         1      0.01         1
   71              0         2         0         2
   72            2.3       1.2       2.3       1.2
   73   74       0.1         2      0.01         2
   81              0         1         0         1
   82             10         1        10         1
   83   84         1         1       0.3         1
   86   91         0         1         0         1
   92             30         1        30         1
   93   94         1         1       0.3         1
   95             50         1        50         1
  101              0         1         0         1
  102            0.8         3       0.6         3
  103            0.1         1      0.01         1
  104            0.2         1      0.02         1
  105              2         5         2         5
  107            0.4         1      0.02         1
  111              0         1         0         1
  112            0.8         1       0.6         1
  113            0.1         1      0.01         1
  114            0.2         1      0.02         1
  115              8         1         8         1
  117            0.4         1      0.02         1
  121              0         1         0         1
  122            0.8         1       0.6         1
  123            0.1         1      0.01         1
  124            0.2         1      0.02         1
  125              8         1         8         1
  126  131         0         1         0         1
  132              2         1         2         1
  133  134       0.1         1       0.1         1
  135             10         1        10         1
  136  141         0         1         0         1
  142              2         1         2         1
  143  144       0.1         1       0.1         1
  145             10         1        10         1
  146              0         1         0         1
  153  154       0.1         1       0.1         1
  156              0         1         0         1
  161              0         2         0         1
  162            0.8         3       0.5         5
  163  164       0.2         3       0.1         3
  165              3         3         3         3
  167            0.4         3       0.1         5
  171              0         2         0         5
  172            0.3         2       0.3         5
  173  174       0.1         2      0.01         5
  175            0.5         2       0.5         5
  177            0.2         2       0.1         5
  181              0         2         0         1
  182              2         1         2         1
  183  184       0.1         1       0.1         1
  186              0         1         0         1
  END SED-PARM3

END PERLND

IMPLND
  ACTIVITY
*** <ILS >                Active Sections
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL
   11  181    0    0    1    1    0    0
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
*** <ILS > ******** Print-flags ******** PIVL  PYR
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL *********
   11  181    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
*** <ILS > **** Binary-Output-flags **** PIVL  PYR
*** x -  x ATMP SNOW IWAT  SLD  IWG IQAL *********
   11  181    4    4    4    4    4    4    1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***             Name             Unit-systems   Printer BinaryOut
*** <ILS >                           t-series Engl Metr Engl Metr
*** x -  x                            in  out
   11  181Urban or Built-up La         1    1    0    0   92    0
  END GEN-INFO

  IWAT-PARM1
*** <ILS >         Flags
*** x -  x CSNO RTOP  VRS  VNN RTLI
   11  181    0    0    0    0    0
  END IWAT-PARM1

  IWAT-PARM2
*** <ILS >      LSUR      SLSUR      NSUR     RETSC
*** x -  x      (ft)                          (in)
   11           150.    0.3323      0.05       0.1
   21           150.    0.3556      0.05       0.1
   31           150.     0.389      0.05       0.1
   41           150.    0.3755      0.05       0.1
   51           150.    0.2831      0.05       0.1
   61           150.    0.3713      0.05       0.1
   71           150.    0.3207      0.05       0.1
   81           150.    0.4541      0.05       0.1
   91           150.    0.3177      0.05       0.1
  101           150.    0.4465      0.05       0.1
  111           150.    0.3519      0.05       0.1
  121           150.    0.3594      0.05       0.1
  131           150.    0.4943      0.05       0.1
  141           150.    0.3806      0.05       0.1
  161           150.    0.3544      0.05       0.1
```

```
  171          150.    0.3426      0.05       0.1
  181          150.    0.3906      0.05       0.1
  END IWAT-PARM2

  IWAT-PARM3
*** <ILS >    PETMAX    PETMIN
*** x -  x   (deg F)   (deg F)
   11  181       40.       35.
  END IWAT-PARM3

  IWAT-STATE1
*** <ILS >  IWATER state variables (inches)
*** x -  x      RETS      SURS
   11  181      0.01      0.01
  END IWAT-STATE1

  SLD-PARM1
*** <ILS >     Flags
*** x -  x VASD VRSD SDOP
   11  181    0    0    1
  END SLD-PARM1

  SLD-PARM2
***              KEIM      JEIM    ACCSDP    REMSDP
*** <ILS >                          tons/      /day
*** x -  x                         ac.day
   11              2         2    0.0044      0.03
   21   31       0.1         2    0.0044      0.03
   41   51      0.15         1         2       0.4
   61            0.1         1    0.0044      0.03
   71           0.15         1    0.0044      0.03
   81            0.1         1         1       0.4
   91            0.5         1         2       0.4
  101           0.02         1         2      0.03
  111           0.01         1         1      0.03
  121           0.01         1         1       0.4
  131  141       0.1         2    0.0044      0.03
  161              1         1      0.01       0.4
  171            0.1         2      0.01      0.03
  181            0.1         2    0.0044      0.03
  END SLD-PARM2

  SLD-STOR
*** <ILS >  Solids storage (tons/acre)
*** x -  x
   11  181      0.01
  END SLD-STOR

END IMPLND

RCHRES
  ACTIVITY
*** RCHRES  Active sections
*** x -  x HYFG ADFG CNFG HTFG SDFG GQFG OXFG NUFG PKFG PHFG
    1   18    1    1    0    0    1    0    0    0    0    0
  END ACTIVITY

  PRINT-INFO
*** RCHRES  Printout level flags
*** x -  x HYDR ADCA CONS HEAT  SED  GQL OXRX NUTR PLNK PHCB PIVL  PYR
    1   18    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END PRINT-INFO

  BINARY-INFO
*** RCHRES  Binary Output level flags
*** x -  x HYDR ADCA CONS HEAT  SED  GQL OXRX NUTR PLNK PHCB PIVL  PYR
    1   18    4    4    4    4    4    4    4    4    4    4    1    9
  END BINARY-INFO

  GEN-INFO
***              Name        Nexits   Unit Systems   Printer
*** RCHRES                                t-series  Engl Metr LKFG
*** x -  x                                  in  out
    1     ARECIBO                 1         1    1   91    0    0   92    0
    2     ARECIBO                 1         1    1   91    0    1   92    0
    3    5ARECIBO                 1         1    1   91    0    0   92    0
    6     ARECIBO                 1         1    1   91    0    1   92    0
    7     VIVI HP                 1         1    1   91    0    0   92    0
    8     VIVI                    1         1    1   91    0    1   92    0
    9     VIVI                    1         1    1   91    0    0   92    0
   10     SALIENTE                1         1    1   91    0    0   92    0
   11     CAONILLAS               1         1    1   91    0    0   92    0
   12     CAONILLAS LAGO          1         1    1   91    0    1   92    0
   13     CAONILLAS TUNNEL        1         1    1   91    0    0   92    0
   14     CAONILLAS               1         1    1   91    0    0   92    0
   15     LAGO                    1         1    1   91    0    0   92    0
   16     YUNES                   1         1    1   91    0    0   92    0
   17   18LIMON                   1         1    1   91    0    0   92    0
  END GEN-INFO

  HYDR-PARM1
***          Flags for HYDR section
***RC HRES  VC A1 A2 A3  ODFVFG for each *** ODGTFG for each     FUNCT  for each
*** x  - x  FG FG FG FG  possible   exit *** possible   exit     possible   exit
    1   18   0  1  1  1    4  0  0  0  0       0  0  0  0  0       1  1  1  1  1
  END HYDR-PARM1

  HYDR-PARM2
*** RCHRES FTBW FTBU        LEN     DELTH     STCOR        KS      DB50
*** x -  x              (miles)      (ft)      (ft)                 (in)
    1        0.   1.       6.2     1397.       3.2       0.5      0.01
    2        0.   2.      1.49      208.       3.2       0.5      0.01
    3        0.   3.      5.47      720.       3.2       0.5      0.01
    4        0.   4.       3.1       88.       3.2       0.5      0.01
    5        0.   5.      2.84      122.       3.2       0.5      0.01
    6        0.   6.      5.18       14.       3.2       0.5      0.01
    7        0.   7.      3.18      839.       3.2       0.5      0.01
    8        0.   8.       4.1      667.       3.2       0.5      0.01
    9        0.   9.      5.45      620.       3.2       0.5      0.01
   10        0.  10.      5.59     1926.       3.2       0.5      0.01
   11        0.  11.      9.78      718.       3.2       0.5      0.01
   12        0.  12.      5.08      142.       3.2       0.5      0.01
   13        0.  13.      3.37      548.       3.2       0.5      0.01
   14        0.  14.       2.2        0.       3.2       0.5      0.01
   15        0.  15.      1.32        0.       3.2       0.5      0.01
   16        0.  16.      9.35     1875.       3.2       0.5      0.01
   17        0.  17.        3.      148.       3.2       0.5      0.01
   18        0.  18.      2.57       22.       3.2       0.5      0.01
  END HYDR-PARM2

  HYDR-INIT
***        Initial conditions for HYDR section
***RC HRES       VOL  CAT Initial value  of COLIND     initial  value  of OUTDGT
*** x  - x     ac-ft      for each possible   exit  for each possible exit,ft3
    1   18      0.01       4.2  4.5  4.5  4.5  4.2       2.1  1.2  0.5  1.2  1.8
  END HYDR-INIT

  SANDFG
*** RCHRES
```

```
*** x -  x SNDFG
    1   18    3
  END SANDFG

  SED-GENPARM
*** RCHRES    BEDWID    BEDWRN       POR
*** x -  x      (ft)      (ft)
    1    3       33.      250.       0.5
    4           300.      250.       0.5
    5           500.      250.       0.5
    6           120.     1000.       0.5
    7            16.      100.       0.5
    8    9       16.      250.       0.5
   10   11       33.      300.       0.4
   12           592.      200.       0.3
   13   18       16.      100.       0.5
  END SED-GENPARM

  SAND-PM
*** RCHRES          D         W       RHO     KSAND    EXPSND
*** x -  x      (in)  (in/sec)  (gm/cm3)
    1          0.014      1.42        4.        5.        2.
    2          0.014      1.42     2.65     0.002        1.
    3          0.014      1.42     2.65       0.1      3.92
    4    5     0.014      1.42     2.65        6.        8.
    6          0.014      1.42     2.65     0.001        1.
    7          0.014      1.42     2.65       0.1      3.92
    8          0.014      1.42     2.65     0.001        1.
    9          0.014      1.42     2.65        2.        2.
   10   11     0.014       1.4      2.6        5.      11.7
   12          0.014        2.      2.6        0.        0.
   13          0.014      1.42     2.65        1.        2.
   14          0.014      1.42     2.65        2.        4.
   15          0.014      1.42     2.65        5.        8.
   16          0.014      1.42     2.65        5.        3.
   17          0.014       1.4      2.5        5.        8.
   18          0.014      1.42     2.65        2.        2.
  END SAND-PM

  SILT-CLAY-PM
*** RCHRES          D         W       RHO     TAUCD     TAUCS         M
*** x -  x      (in)  (in/sec)    gm/cm3    lb/ft2    lb/ft2  lb/ft2.d
    1         0.0005     0.006       2.2         1       4.5       0.1
    2         0.0006     0.007       2.5       0.1      0.16     0.001
    3         0.0003     0.006       2.2      0.01         4       1.5
    4         0.0006     0.007       2.5      0.05       1.5       0.1
    5         0.0006     0.007       2.5      0.05       1.5         1
    6         0.0006     0.007       2.5    0.0001    0.0002    0.0001
    7         0.0006     0.007       2.5         1       1.5     0.001
    8         0.0006     0.007       2.5    0.0001    0.0002     0.001
    9         0.0006     0.007       2.5      0.05       1.5       0.1
   10         0.0006     0.006       2.2       0.8         3     0.001
   11         0.0006     0.006       2.2       0.8       1.5      0.05
   12         0.0006     0.007       2.2    0.0002     0.003     0.001
   13         0.0006     0.007       2.5         4         6      0.01
   14   15    0.0006     0.007       2.5       0.1       0.3       0.9
   16         0.0006     0.008       2.7       0.8       1.2     0.001
   17         0.0006     0.007       2.5       0.2       0.6      0.01
   18         0.0006     0.007       2.5       0.4       0.8     0.001
  END SILT-CLAY-PM

  SILT-CLAY-PM
*** RCHRES          D         W       RHO     TAUCD     TAUCS         M
*** x -  x      (in)  (in/sec)    gm/cm3    lb/ft2    lb/ft2  lb/ft2.d
    1        0.00005    0.0004       2.5         1       4.5       0.1
    2       0.000055    0.0004       2.7       0.1      0.16      0.01
    3        0.00005    0.0004       2.5      0.01         4       1.5
    4       0.000055    0.0004       2.7      0.05       1.5       0.1
    5       0.000055    0.0004       2.7      0.05       1.5         1
    6       0.000055    0.0004       2.7    0.0001    0.0002   0.00001
    7       0.000055    0.0004       2.7         1       1.5     0.001
    8       0.000055    0.0004       2.7    0.0001    0.0002     0.001
    9       0.000055    0.0004       2.7      0.05       1.5       0.1
   10       0.000055    0.0003       2.2       0.8         3     0.001
   11       0.000055    0.0003       2.2       0.8       1.5      0.05
   12       0.000055    0.0004       2.2    0.0001    0.0002   0.00001
   13   15  0.000055    0.0004       2.7       0.1       0.3       0.9
   16       0.000055    0.0005       2.7       0.8       1.1     0.001
   17       0.000055    0.0004       2.5       0.2       0.6      0.01
   18       0.000055    0.0004       2.5       0.4       0.8      0.01
  END SILT-CLAY-PM

  SSED-INIT
*** RCHRES     Suspended sed concs (mg/l)
*** x -  x      Sand      Silt      Clay
    1    9      100.       50.       20.
   10   11       20.       10.       10.
   12            10.       10.       10.
   13   18      100.       50.       20.
  END SSED-INIT

  BED-INIT
*** RCHRES    BEDDEP  Initial bed composition
*** x -  x      (ft)      Sand      Silt      Clay
    1            8.       0.9      0.05      0.05
    2           50.       0.8       0.1       0.1
    3           50.       0.6       0.2       0.2
    4    5      50.       0.9      0.05      0.05
    6          120.       0.6       0.2       0.2
    7           1.5       0.6       0.2       0.2
    8            8.       0.6       0.2       0.2
    9          150.       0.6       0.2       0.2
   10   11      200.       0.8       0.1       0.1
   12          7.83       0.8       0.1       0.1
   13           50.       0.6       0.2       0.2
   14   15      10.       0.6       0.2       0.2
   16           50.       0.6       0.2       0.2
   17            5.       0.6       0.2       0.2
   18           20.       0.6       0.2       0.2
  END BED-INIT

END RCHRES

FTABLES

  FTABLE      1
 rows cols                                  ***
    8    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.     34.12        0.        0.
       0.4     35.81     13.85      2.64
      3.96     51.01    168.57      129.
      5.04     55.62    226.15    197.16
      8.67    126.05    648.46    675.25
      12.3    145.47   1141.27   1567.67
    211.15   1462.53  161016.8  1289586.
      410.   2779.59  582789.4  7172163.
  END FTABLE  1
```

```
 FTABLE      2
rows cols                                          ***
  24    5
    depth      area    volume  outflow1  outflow2 ***
       0.        0.        0.        0.        0.
     3.48      0.78      0.87      34.4     17.67
     6.96       1.5      3.34      34.4     17.67
    10.43       2.2      7.33      34.4     17.67
    13.91      2.88     12.82      34.4     17.67
    17.39      3.56     19.78      34.4     17.67
    20.87      4.22      28.2      34.4     17.67
    24.35      4.88     38.04      34.4     17.67
    27.83      5.54     49.31      34.4     17.67
     31.3      6.19     61.99      34.4     17.67
    34.78      6.83     76.07      34.4     17.67
    38.26      7.48     91.54      34.4     17.67
    41.74      8.12     108.4      34.4     17.67
    45.22      8.75    126.64      34.4     17.67
     48.7      9.39    146.26      34.4     17.67
    52.17     10.02    167.24      34.4     17.67
    55.65     10.65    189.58      34.4     17.67
    59.13     11.27    213.28      34.4     17.67
    62.61      11.9    238.33      34.4     17.67
    66.09     12.52    264.72      34.4     17.67
    69.57     13.14    292.47      34.4     17.67
      80.       15.      384.     2000.     17.67
      81.      15.5      385.     4000.     17.67
      82.       16.      386.    12000.     17.67
 END FTABLE  2

 FTABLE      7
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.      0.68        0.        0.
     0.38      1.49      0.41      0.19
      3.8      8.73     17.88     30.96
     5.03     11.34     30.23     62.33
     8.67     14.42     77.06     243.8
     12.3     17.51    135.09    534.28
   211.15    391.54  40804.54  967327.3
     410.    765.58  155851.1  5781091.
 END FTABLE  7

 FTABLE      3
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.      1.13        0.        0.
     0.66      1.58      0.89      0.49
     6.56      5.64     22.21     39.62
      8.2      6.77      32.4     65.35
    10.25     20.88     72.31    132.27
     12.3      23.7    118.02    275.17
   211.15    297.44  32047.69 583069.75
     410.    571.17 118409.31  3333306.
 END FTABLE  3

 FTABLE      4
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.      9.98        0.        0.
     0.38     11.29      4.08      1.79
     3.84     23.13     63.56    106.67
     4.87     26.66      89.2    170.54
     6.21     45.05     147.2    276.59
     7.54     48.24    209.47    473.57
    53.77    111.66   3905.64  33063.47
     100.    175.08  10533.68  125708.9
 END FTABLE  4

 FTABLE      8
rows cols                                          ***
  25    5
    depth      area    volume  outflow1  outflow2 ***
       0.        0.        0.        0.        0.
      3.7      0.42      0.52      6.33      2.14
     7.39       0.8      2.02      6.33      2.14
    11.09      1.17      4.44      6.33      2.14
    14.78      1.54      7.76      6.33      2.14
    18.48       1.9     11.97      6.33      2.14
    22.17      2.25     17.05      6.33      2.14
    25.87      2.61     23.01      6.33      2.14
    29.57      2.96     29.83      6.33      2.14
    33.26       3.3     37.49      6.33      2.14
    36.96      3.65     46.01      6.33      2.14
    40.65      3.99     55.37      6.33      2.14
    44.35      4.33     65.57      6.33      2.14
    48.04      4.67      76.6      6.33      2.14
    51.74      5.01     88.47      6.33      2.14
    55.43      5.35    101.16       10.      2.14
    59.13      5.68    114.67       50.      2.14
    62.83      6.02    129.01      100.      2.14
    66.52      6.35    144.16      200.      2.14
     81.3      7.67    212.89      600.      2.14
      85.        8.      232.      800.      2.14
      86.      8.05      233.     1000.      2.14
      87.       8.1      234.     1150.      2.14
     100.       10.      500.     1300.      2.14
     120.       20.     1000.     1400.      2.14
 END FTABLE  8

 FTABLE     10
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     29.07        0.        0.
     0.16     30.11      4.65      0.33
     1.57     39.43     53.77     16.08
     3.03     49.06    118.37     50.88
     4.34     70.25    205.51    101.32
     5.64     77.22    301.73    180.09
    27.82    297.87   4461.44   6644.88
      50.    518.52  13515.17  29205.48
 END FTABLE 10

 FTABLE      9
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.      9.98        0.        0.
     0.38     11.29      4.08      1.79
     3.84     23.13     63.56    106.67
     4.87     26.66      89.2    170.54
     6.21     45.05     147.2    276.59
     7.54     48.24    209.47    473.57
    53.77    111.66   3905.64  33063.47
     100.    175.08  10533.68  125708.9
```

```
 END FTABLE  9

 FTABLE     11
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     29.07        0.        0.
     0.16     30.11      4.65      0.33
     1.57     39.43     53.77     16.08
     3.03     49.06    118.37     50.88
     4.34     70.25    205.51    101.32
     5.64     77.22    301.73    180.09
    27.82    297.87   4461.44   6644.88
      50.    518.52  13515.17  29205.48
 END FTABLE 11

 FTABLE     12
rows cols                                                 ***
  25    5
    depth      area    volume  outflow1  outflow2 ***
       0.        0.        0.        0.        0.
      10.     54.97      218.      100.       67.
      13.     79.92      412.      100.       67.
      19.    120.24      906.      100.       67.
      23.    133.98     1222.      100.       67.
      29.    172.43     1983.      100.       67.
      33.    184.69     2417.      100.       67.
      42.    232.05     3865.      100.       67.
      49.    253.61     4928.      100.       67.
      52.    266.52     5496.      100.       67.
      59.    287.68     6731.      100.       67.
      62.    300.81     7396.      100.       67.
      72.    337.03     9623.      370.       67.
      75.    351.69    10460.      370.       67.
      82.    376.34    12238.      400.       67.
      85.    391.45    13195.      370.       67.
      92.    419.61    15309.      440.       67.
      95.    437.31    16475.      430.       67.
      98.     455.6    17706.      480.       67.
     108.     511.1    21890.      640.       67.
     111.     531.7    23405.      750.       67.
     118.    569.38    26644.      890.       67.
     128.    633.66    32165.     2030.       67.
     131.      700.    36365.     3030.       67.
     132.    711.89    37265.     3500.       67.
 END FTABLE 12

 FTABLE     16
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     34.12        0.        0.
      0.4     35.81     13.85      2.64
     3.96     51.01    168.57      129.
     5.04     55.62    226.15    197.16
     8.67    126.05    648.46    675.25
     12.3    145.47   1141.27   1567.67
   211.15   1462.53  161016.8  1289586.
     410.   2779.59  582789.4  7172163.
 END FTABLE 16

 FTABLE     17
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     34.12        0.        0.
      0.4     35.81     13.85      2.64
     3.96     51.01    168.57      129.
     5.04     55.62    226.15    197.16
     8.67    126.05    648.46    675.25
     12.3    145.47   1141.27   1567.67
   211.15   1462.53  161016.8  1289586.
     410.   2779.59  582789.4  7172163.
 END FTABLE 17

 FTABLE     18
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     0.53        0.        0.
     0.66     0.74      0.41      0.49
     6.56     2.63     10.34     39.62
      8.2     3.15     15.09     65.35
    10.25     9.72     33.67    132.27
     12.3    11.04     54.96    275.17
   211.15   138.51  14923.95 583069.75
     410.   265.98  55140.78  3333306.
 END FTABLE 18

 FTABLE     13
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     29.07        0.        0.
     0.16     30.11      4.65      0.33
     1.57     39.43     53.77     16.08
     3.03     49.06    118.37     50.88
     4.34     70.25    205.51    101.32
     5.64     77.22    301.73    180.09
    27.82    297.87   4461.44   6644.88
      50.    518.52  13515.17  29205.48
 END FTABLE 13

 FTABLE     14
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     3.72        0.        0.
     0.66      5.2      2.93      0.55
     6.56    18.59     73.16     45.18
      8.2     22.3    106.69     74.52
    10.25    68.77    238.15    150.81
     12.3    78.07    388.66    313.75
   211.15   979.54  105540.8 664801.81
     410.  1881.01 389950.59 3800553.5
 END FTABLE 14

 FTABLE     15
rows cols                                  ***
   8    4
    depth      area    volume  outflow1 ***
       0.     2.22        0.        0.
     0.66     3.11      1.75      0.49
     6.56    11.12     43.76     39.62
      8.2    13.34     63.81     65.35
    10.25    41.13    142.44    132.27
     12.3    46.69    232.46    275.17
   211.15   585.87  63124.81 583069.75
     410.  1125.05 233232.63  3333306.
```

```
  END FTABLE 15

  FTABLE      5
 rows cols                                ***
    8    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.      9.98        0.        0.
      0.38     11.29      4.08      1.79
      3.84     23.13     63.56    106.67
      4.87     26.66      89.2    170.54
      6.21     45.05     147.2    276.59
      7.54     48.24    209.47    473.57
     53.77    111.66   3905.64  33063.47
      100.    175.08  10533.68  125708.9
  END FTABLE  5

  FTABLE      6
 rows cols                                ***
   25    4
     depth      area    volume  outflow1 ***
        0.        0.        0.        0.
        3.     17.56      16.2     26.73
        6.     92.12      170.     26.73
        9.    128.97      357.     26.73
       13.    156.06      624.     26.73
       16.    186.14      916.     26.73
       19.    217.84     1273.     26.73
       23.    232.68     1646.     26.73
       26.    257.48     2059.     26.73
       29.    280.84     2505.     26.73
       32.    309.68     3048.     26.73
       36.    328.02     3632.     26.73
       39.    354.14     4248.     26.73
       42.    379.08     4897.     26.73
       45.    404.17     5594.     26.73
       49.    419.61     6324.     26.73
       52.    444.55     7110.     26.73
       55.    468.24     7921.     26.73
       59.    486.09     8821.     26.73
       62.    513.55     9793.     26.73
       65.    542.56    10847.     73.03
       75.      634.    14625.    1532.7
       76.    661.02  15452.23    2031.5
       81.    700.47   17451.6   7877.98
      300.     2800.   100000.     9000.
  END FTABLE  6
END FTABLES

EXT SOURCES
<-Volume-> <Member> SsysSgap<--Mult-->Tran <-Target vols> <-Grp> <-Member-> ***
<Name>   x <Name> x tem strg<-factor->strg <Name>   x   x        <Name> x x ***
*** Met Seg RGAAADJ
WDM2   203 PREC     ENGL              SAME PERLND  11  95 EXTNL  PREC
WDM2     7 EVAP     ENGL              SAME PERLND  11  95 EXTNL  PETINP
*** Met Seg CAOPAL
WDM2   129 PREC     ENGL              SAME PERLND 111 136 EXTNL  PREC
WDM2     5 EVAP     ENGL              SAME PERLND 111 136 EXTNL  PETINP
*** Met Seg CAOMAM
WDM2   202 PREC     ENGL              SAME PERLND 141 186 EXTNL  PREC
WDM2    10 EVAP     ENGL              SAME PERLND 141 186 EXTNL  PETINP
*** Met Seg SALIENTE
WDM2   104 PREC     ENGL              SAME PERLND 101 107 EXTNL  PREC
WDM2     4 EVAP     ENGL              SAME PERLND 101 107 EXTNL  PETINP
*** Met Seg RGAAADJ
WDM2   203 PREC     ENGL              SAME IMPLND  11  91 EXTNL  PREC
WDM2     7 EVAP     ENGL              SAME IMPLND  11  91 EXTNL  PETINP
*** Met Seg CAOPAL
WDM2   129 PREC     ENGL              SAME IMPLND 111 131 EXTNL  PREC
WDM2     5 EVAP     ENGL              SAME IMPLND 111 131 EXTNL  PETINP
*** Met Seg CAOMAM
WDM2   202 PREC     ENGL              SAME IMPLND 141 181 EXTNL  PREC
WDM2    10 EVAP     ENGL              SAME IMPLND 141 181 EXTNL  PETINP
*** Met Seg SALIENTE
WDM2   104 PREC     ENGL              SAME IMPLND 101     EXTNL  PREC
WDM2     4 EVAP     ENGL              SAME IMPLND 101     EXTNL  PETINP
*** Met Seg RGAAADJ
WDM2   203 PREC     ENGL              SAME RCHRES   1   9 EXTNL  PREC
WDM2     7 EVAP     ENGL              SAME RCHRES   1   9 EXTNL  POTEV
*** Met Seg CAOPAL
WDM2   129 PREC     ENGL              SAME RCHRES  11  13 EXTNL  PREC
WDM2     5 EVAP     ENGL              SAME RCHRES  11  13 EXTNL  POTEV
*** Met Seg CAOMAM
WDM2   202 PREC     ENGL              SAME RCHRES  14  18 EXTNL  PREC
WDM2    10 EVAP     ENGL              SAME RCHRES  14  18 EXTNL  POTEV
*** Met Seg SALIENTE
WDM2   104 PREC     ENGL              SAME RCHRES  10     EXTNL  PREC
WDM2     4 EVAP     ENGL              SAME RCHRES  10     EXTNL  POTEV
END EXT SOURCES

SCHEMATIC
<-Volume->                  <--Area-->     <-Volume->  <ML#> ***       <sb>
<Name>   x                  <-factor->     <Name>   x        ***        x x
PERLND  11                           0     RCHRES   1      2
IMPLND  11                         342     RCHRES   1      1
PERLND  17                          27     RCHRES   1      2
PERLND  12                         694     RCHRES   1      2
PERLND  13                        9931     RCHRES   1      2
PERLND  14                         613     RCHRES   1      2
PERLND  15                          47     RCHRES   1      2
PERLND  16                           0     RCHRES   1      2
PERLND  21                           0     RCHRES   2      2
IMPLND  21                           7     RCHRES   2      1
PERLND  22                         198     RCHRES   2      2
PERLND  23                        1134     RCHRES   2      2
PERLND  24                          37     RCHRES   2      2
PERLND  25                           5     RCHRES   2      2
PERLND  26                           0     RCHRES   2      2
RCHRES   1                                 RCHRES   2      3
PERLND  71                           0     RCHRES   7      2
IMPLND  71                           7     RCHRES   7      1
PERLND  72                         245     RCHRES   7      2
PERLND  73                        1517     RCHRES   7      2
PERLND  74                         101     RCHRES   7      2
PERLND  31                           0     RCHRES   3      2
IMPLND  31                          57     RCHRES   3      1
PERLND  32                        1075     RCHRES   3      2
PERLND  33                        8313     RCHRES   3      2
PERLND  34                         430     RCHRES   3      2
PERLND  35                          15     RCHRES   3      2
PERLND  36                           0     RCHRES   3      2
RCHRES   2                                 RCHRES   3      3
PERLND  41                           0     RCHRES   4      2
IMPLND  41                         130     RCHRES   4      1
PERLND  47                           2     RCHRES   4      2
PERLND  42                         472     RCHRES   4      2
PERLND  43                        6027     RCHRES   4      2
PERLND  44                         848     RCHRES   4      2
PERLND  45                          20     RCHRES   4      2
RCHRES   3                                 RCHRES   4      3
```

```
PERLND  81                          0     RCHRES   8      2
IMPLND  81                          9     RCHRES   8      1
PERLND  82                         54     RCHRES   8      2
PERLND  83                       1876     RCHRES   8      2
PERLND  84                        363     RCHRES   8      2
PERLND  86                          0     RCHRES   8      2
RCHRES   7                                RCHRES   8      3
PERLND 101                          0     RCHRES  10      2
IMPLND 101                         35     RCHRES  10      1
PERLND 107                         27     RCHRES  10      2
PERLND 102                        262     RCHRES  10      2
PERLND 103                       5004     RCHRES  10      2
PERLND 104                        558     RCHRES  10      2
PERLND 105                         30     RCHRES  10      2
PERLND  91                          0     RCHRES   9      2
IMPLND  91                        305     RCHRES   9      1
PERLND  92                        393     RCHRES   9      2
PERLND  93                       4875     RCHRES   9      2
PERLND  94                        618     RCHRES   9      2
PERLND  95                         32     RCHRES   9      2
RCHRES   8                                RCHRES   9      3
PERLND 111                          0     RCHRES  11      2
IMPLND 111                        299     RCHRES  11      1
PERLND 117                        413     RCHRES  11      2
PERLND 112                       1124     RCHRES  11      2
PERLND 113                      10865     RCHRES  11      2
PERLND 114                       5256     RCHRES  11      2
PERLND 115                         99     RCHRES  11      2
RCHRES  10                                RCHRES  11      3
PERLND 121                          0     RCHRES  12      2
IMPLND 121                         20     RCHRES  12      1
PERLND 122                        178     RCHRES  12      2
PERLND 123                       4287     RCHRES  12      2
PERLND 124                       1626     RCHRES  12      2
PERLND 125                         44     RCHRES  12      2
PERLND 126                          0     RCHRES  12      2
RCHRES  11                                RCHRES  12      3
PERLND 161                          0     RCHRES  16      2
IMPLND 161                         67     RCHRES  16      1
PERLND 167                        106     RCHRES  16      2
PERLND 162                        512     RCHRES  16      2
PERLND 163                       8809     RCHRES  16      2
PERLND 164                        598     RCHRES  16      2
PERLND 165                         10     RCHRES  16      2
PERLND 171                          0     RCHRES  17      2
IMPLND 171                        136     RCHRES  17      1
PERLND 177                        166     RCHRES  17      2
PERLND 172                       1236     RCHRES  17      2
PERLND 173                      10067     RCHRES  17      2
PERLND 174                       1300     RCHRES  17      2
PERLND 175                         22     RCHRES  17      2
RCHRES  16                                RCHRES  17      3
PERLND 181                          0     RCHRES  18      2
IMPLND 181                         10     RCHRES  18      1
PERLND 182                         15     RCHRES  18      2
PERLND 183                       1366     RCHRES  18      2
PERLND 184                         44     RCHRES  18      2
PERLND 186                          0     RCHRES  18      2
RCHRES  17                                RCHRES  18      3
PERLND 131                          0     RCHRES  13      2
IMPLND 131                         15     RCHRES  13      1
PERLND 132                         44     RCHRES  13      2
PERLND 133                       1606     RCHRES  13      2
PERLND 134                        128     RCHRES  13      2
PERLND 135                         12     RCHRES  13      2
PERLND 136                          0     RCHRES  13      2
RCHRES  12                                RCHRES  13      3
PERLND 141                          0     RCHRES  14      2
IMPLND 141                         16     RCHRES  14      1
PERLND 142                        101     RCHRES  14      2
PERLND 143                       2140     RCHRES  14      2
PERLND 144                         91     RCHRES  14      2
PERLND 145                          5     RCHRES  14      2
PERLND 146                          0     RCHRES  14      2
RCHRES  13                                RCHRES  14      3
PERLND 153                        348     RCHRES  15      2
PERLND 154                          5     RCHRES  15      2
PERLND 156                          0     RCHRES  15      2
RCHRES  18                                RCHRES  15      3
RCHRES  14                                RCHRES  15      3
PERLND  51                          0     RCHRES   5      2
IMPLND  51                        242     RCHRES   5      1
PERLND  52                         20     RCHRES   5      2
PERLND  53                       2706     RCHRES   5      2
PERLND  54                       1243     RCHRES   5      2
PERLND  55                         20     RCHRES   5      2
PERLND  56                          0     RCHRES   5      2
RCHRES   4                                RCHRES   5      3
RCHRES   9                                RCHRES   5      3
PERLND  61                          0     RCHRES   6      2
IMPLND  61                         19     RCHRES   6      1
PERLND  62                        343     RCHRES   6      2
PERLND  63                       4361     RCHRES   6      2
PERLND  64                        373     RCHRES   6      2
PERLND  65                         32     RCHRES   6      2
PERLND  66                          0     RCHRES   6      2
RCHRES  15                                RCHRES   6      3
RCHRES   5                                RCHRES   6      3
END SCHEMATIC

EXT TARGETS
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->Tran <-Volume-> <Member> Tsys Aggr Amd ***
<Name>   x        <Name> x x<-factor->strg <Name>   x <Name>qf  tem strg strg***
RCHRES   1 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1001 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   1 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1010 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   1 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1011 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   2 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1027 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   7 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1002 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   7 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1012 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   7 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1013 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   3 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1003 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   3 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1014 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   3 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1015 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   8 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1026 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  10 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1005 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  10 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1018 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  10 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1019 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  11 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1006 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  11 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1020 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  11 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1021 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  12 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1028 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  16 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1007 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  16 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1022 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  16 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1023 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  17 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1009 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  17 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1024 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  17 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1025 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  18 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1008 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  13 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1031 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
```

```
RCHRES  13 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1032 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES  13 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1033 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   5 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1  1004 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   5 SEDTRN SSED   4 1          AVER WDM1  1016 SSED4  1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   5 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1017 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   6 HYDR   RO     1 1          AVER WDM1   101 FLOW   1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   6 HYDR   TAU    1 1          AVER WDM1  1029 TAU    1 ENGL AGGR REPL
RCHRES   6 SEDTRN RSED  10 1          AVER WDM1  1030 RSED10 1 ENGL AGGR REPL
END EXT TARGETS

MASS-LINK

  MASS-LINK        2
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->     <-Target vols> <-Grp> <-Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name> x x  ***
PERLND     PWATER PERO       0.0833333     RCHRES         INFLOW IVOL
PERLND     PWTGAS PODOXM                   RCHRES         INFLOW OXIF   1
PERLND     PWTGAS POHT                     RCHRES         INFLOW IHEAT  1
PERLND     PQUAL  POQUAL 1                 RCHRES         INFLOW IDQAL  1
PERLND     PEST   POPST  1                 RCHRES         INFLOW IDQAL  1
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL  1 1
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL  2 1
PERLND     PEST   SOSDPS 1                 RCHRES         INFLOW ISQAL  3 1
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.05     RCHRES         INFLOW ISED   1
PERLND     SEDMNT SOSED  1        0.55     RCHRES         INFLOW ISED   2
PERLND     SEDMNT SOSED  1         0.4     RCHRES         INFLOW ISED   3
  END MASS-LINK    2

  MASS-LINK        1
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->     <-Target vols> <-Grp> <-Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name> x x  ***
IMPLND     IWATER SURO       0.0833333     RCHRES         INFLOW IVOL
IMPLND     IWTGAS SODOXM                   RCHRES         INFLOW OXIF   1
IMPLND     IWTGAS SOHT                     RCHRES         INFLOW IHEAT  1
IMPLND     IQUAL  SOQUAL 1                 RCHRES         INFLOW IDQAL  1
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.05     RCHRES         INFLOW ISED   1
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1        0.55     RCHRES         INFLOW ISED   2
IMPLND     SOLIDS SOSLD  1         0.4     RCHRES         INFLOW ISED   3
  END MASS-LINK    1

  MASS-LINK        3
<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->     <-Target vols> <-Grp> <-Member->  ***
<Name>            <Name> x x<-factor->     <Name>                <Name> x x  ***
RCHRES     ROFLOW                          RCHRES         INFLOW
  END MASS-LINK    3
END MASS-LINK

END RUN
```