



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Título:

*Variabilidad Espacial y Temporal de la Producción
de Sedimentos en Suspensión en la Cuenca del Río
San Francisco, Lamora Chinchipe.*

Tesis de Grado previa a la obtención
del Título en Ingeniería en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente.

Autora:

Natalia Samaniego Rojas

Director:

Ing. Rafael González.

**LOJA-ECUADOR
2009**

*Ing. Rafael González, Docente del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de
la Universidad Nacional de Loja,*

CERTIFICA:

*Que luego de haber revisado detenidamente el contenido final del trabajo de investigación
denominado "**Variabilidad Espacial y Temporal de la Producción de Sedimentos en
Suspensión en la Cuenca del Río San Francisco, Zamora Chinchipe**", llevada a cabo por la
Señorita NATALIA SAMANIEGO ROJAS, Egresada de la Carrera en Manejo y Conservación del
Medio Ambiente, autorizo se de paso a la sustentación y presentación pública de la
investigación en mención.*

Ing. Rafael González

DIRECTOR DE TESIS

Los Docentes integrantes del Tribunal de Grado que al pie firmamos, luego de haber realizado una minuciosa revisión de la investigación denominada "**Variabilidad Espacial y Temporal de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la Cuenca del Río San Francisco, Zamora Chinchipe**", ejecutada por la Señorita NATALIA SAMANIEGO ROJAS, Egresada de la Carrera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, resolvemos que, al haber sido insertadas todas las sugerencias realizadas por cada uno de los integrantes del Tribunal en el presente trabajo de Tesis, éste queda APROBADO para que se realice su publicación.

Loja, Abril 2009.

Ing. Mg. Sc. Kléver Poma

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Sc. Aníbal González

VOCAL

Ing. Mg. Sc. Patricia Aguirre

VOCAL



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

*boral de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
Ciénaga "San Francisco", Zamora Chinchipe.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Responsabilidad y Autoría

*Las conceptualizaciones, resultados, interpretaciones y
conclusiones publicadas en el presente documento son de
total y única responsabilidad de la autora.*

Natalia Samaniego Rojas

Loja, Abril del 2009.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

*...oral de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
...ño "San Francisco", Zamora Chinchipe.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Dedicatoria:

Con inmenso amor a mis padres: Rosita y Eduardo,

Y a mis adorados abuelitos: Servio Rojas y Julita Flores;

Que han sido, son y serán mi razón de existir.

Agradecimientos:

A mis padres, que han sido el pilar fundamental en mi vida, gracias por todo el amor y paciencia que siempre me han sabido brindar, por ser el mejor ejemplo de superación, lucha y honestidad. Gracias también, a mis hermanos y a toda mi hermosa familia, por impulsarme y darme la fuerza para culminar esta meta y aspirar a muchas más.

Mi agradecimiento imperecedero a la Universidad Nacional de Loja, al personal docente y administrativo de la Carrera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente; a todos mis amigos y amigas con los que coincidí en mis años de estudio; de manera muy especial a Gabriel Gaona y Diego Mejía, gracias por siempre estar a mi lado y por demostrarme en cada ocasión lo valiosa que es su amistad.

De igual manera, quiero expresar mi sincero reconocimiento al Ing. Rafael González, Director de la presente investigación, por todo su tiempo y contante dedicación, por sus valiosos aportes y sugerencias, pues sin ellas, este trabajo no hubiera sido concluido con éxito.

A Amelie Bücken y Patricio Crespo, ya que sin su ayuda y su orientación técnica no hubiera logrado con este cometido, infinitas gracias por todo su apoyo, confianza y amistad. De igual manera, al Dr. Rütger Rollenbeck (PREDICT) por su bondad y su colaboración. A todo el personal que labora en la Estación Científica "San Francisco", en especial a sus directivos: Jörg Zeilinger y Felix Matt.

A mis amigos de siempre, Andrea Puertas, Cristhian Loján, Richard Gálvez, Verónica Ordóñez y Edwin Duque, gracias por ser partícipes de los momentos importantes de mi vida, por ayudarme a crecer y encontrar mi lugar en el mundo.

En fin, a todos y cada una de las personas que con paciencia y oportuna cooperación, participaron en la realización de esta investigación, a todas/os ellas/os, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO:

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. HIDROLOGIA DE SUPERFICIE. FUNDAMENTOS GENERALES.....	6
2.1.1. <u>Definición de Hidrología</u>	6
2.1.2. <u>Ciclo Hidrológico y sus Principales Componentes</u>	6
2.1.2.1. <u>Precipitación</u>	7
2.1.2.2. <u>Escorrentía</u>	8
2.1.2.3. <u>Infiltración</u>	9
2.1.2.4. <u>Evaporación y evapotranspiración</u>	10
2.2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	11
2.2.1. <u>Definición</u>	11
2.2.2. <u>Elementos Básicos de una Cuenca Hidrográfica</u>	12
2.2.3. <u>Funciones de una Cuenca Hidrográfica</u>	13
2.2.4. <u>Partes de una Cuenca Hidrográfica</u>	14
2.2.5. <u>Parámetros Morfométricos y Fisiográficos</u>	17
2.2.5.1. <u>Parámetros de forma</u>	17
2.2.5.2. <u>Parámetros de relieve</u>	20
2.2.5.3. <u>Parámetros de drenaje</u>	22
2.3. PROCESOS EROSIVOS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	23
2.3.1. <u>Erosión Hídrica</u>	24
2.3.2. <u>Remoción en Masa</u>	25
2.3.3. <u>Otros factores que Controlan la Erosión</u>	26
2.4. ESTUDIO DE CAUDALES. GENERALIDADES.....	29

.....	29
2.4.1.1. <u>Medida de la caudales. Técnicas de aforo</u>	30
2.4.1.2. <u>Calibración de la curva de descarga líquida o de gasto</u>	34
2.4.2. <u>Caudal Sólido</u>	36
2.4.2.1. <u>Transporte de sedimentos</u>	37
2.4.2.2. <u>Mecanismos de transporte y fuerzas interventoras</u>	38
2.4.2.3. <u>Flujo hiperconcentrado</u>	41
2.4.2.4. <u>Propiedades de los sedimentos</u>	41
2.4.2.5. <u>Calibración de la curva de descarga sólida</u>	43
2.5. <u>PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS</u>	44
2.6. <u>LOS SEDIMENTOS COMO CONTAMINANTES</u>	46
2.6.1. <u>Los Sedimentos como Contaminantes Físicos</u>	47
2.6.2. <u>Los Sedimentos como Contaminantes Químicos</u>	48
III. <u>METODOLOGÍA</u>	50
3.1. <u>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO</u>	50
3.1.1. <u>Localización y Extensión</u>	50
3.1.2. <u>Geología</u>	52
3.1.3. <u>Suelos</u>	53
3.1.4. <u>Relieve y Topografía</u>	53
3.1.5. <u>Clima</u>	54
3.1.6. <u>Vegetación Natural y Uso de Suelo</u>	54
3.2. <u>MATERIALES</u>	56
3.2.1. <u>Materiales y Equipos de Campo</u>	56
3.2.2. <u>Materiales y Equipos de Laboratorio</u>	56
3.2.3. <u>Materiales y Equipos de Oficina</u>	56
3.3. <u>MÉTODOS</u>	57
3.3.1. <u>Metodología para el Primer Objetivo</u>	57
3.3.1.1. <u>Construcción de la curva de descarga líquida</u>	60
3.3.1.2. <u>Determinación de la concentración de sedimentos en suspensión</u>	62
3.3.1.3. <u>Calibración de la curva de descarga de sólidos en suspensión</u>	65
3.3.2 <u>Metodología para el Segundo Objetivo</u>	66
3.3.3 <u>Metodología para el Tercer Objetivo</u>	69
3.3.4 <u>Metodología para el Cuarto Objetivo</u>	73

.....	74
4.1. RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y EL CAUDAL.....	73
4.2. RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y NIVELES DE TURBIEDAD.....	85
4.3. VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN.....	91
4.4. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN GENERADO EN LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO.....	102
V. <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	103
5.1 CONCLUSIONES.....	103
5.2 RECOMENDACIONES.....	105
VI. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	106
VII. <u>APÉNDICES</u>	110

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Deslizamientos naturales ocurridos en la Reserva "San Francisco" perteneciente a la Cuenca de Río San francisco, Zamora Chinchipe, 2007.....	2
Figura 2. Ilustración gráfica del Ciclo Hidrológico.....	7

...e las partes constitutivas de una cuenca de montaña...	16
Figura 4. Clases de forma según el Índice de Compacidad de Gravelius.....	19
Figura 5. Factores que contribuyen a la formación de zonas inestables.....	25
Figura 6. Vertederos de pared delgada: (a) triangular y (b) rectangular.....	30
Figura 7. Representación grafica del método Sección – pendiente.....	31
Figura 8. Distribución de la velocidad del flujo en una sección transversal.....	32
Figura 9. Curva de gasto o de descarga de caudales líquidos.....	35
Figura 10. Mecanismos de transporte de la carga total que transporta un río.....	39
Figura 11. Fuerzas que actúan sobre una partícula de sedimento.....	40
Figura 12. Curva de descarga sólida para sedimentos en suspensión.....	43
Figura 13. Ubicación de la Cuenca del Río "San Francisco", 2007.....	51
Figura 14. Geología de la Cuenca San Francisco, 2008.....	52
Figura 15. Dimensiones de vertedero mixto utilizado en la estación Quebrada Cruces.....	57
Figura 16. Ubicación geográfica de las estaciones en investigación, 2008.....	58
Figura 17. Recolección de muestras de sedimentos en suspensión.....	62
Figura 18. Procesamiento de las muestras en laboratorio, ECSF- UNL, 2007-2008.....	63
Figura 19. Ubicación y representación gráfica de los sensores de Turbiedad WQ710.....	66
Figura 20. Diagramas de dispersión y curvas de regresión ajustadas a los Q líquidos (a) y las descargas sólidas (b) para la estación Francisco Headwater, 2008.....	75
Figura 21. Curvas de calibración de descarga líquida (a) y sólida (b) para la estación Quebrada Cruces (ECQC), 2008.....	78
Figura 22. Diagramas de dispersión y ajuste de las curvas de descarga líquida, 2008.....	80
Figura 23. Curva de descarga sólida para la estación Quebrada Milagro, 2008.....	81

gastos líquidos y sólidos en la Estación "Planta Eléctrica", 2008.....	84
Figura 25. Determinación visual de la turbiedad y su relación con los sedimentos en suspensión, periodo 2007-2008.....	86
Figura 26. Diagramas de dispersión y curvas de tendencia para las estaciones en estudio, 2008.....	89
Figura 27. Distribución de los valores de los canales 1 y 2 de los sensores de turbiedad, 2008.....	90
Figura 28. Producción de sedimentos en suspensión por cada sub-cuenca, 2007-2008....	96
Figura 29. Precipitaciones medias mensuales de la estación "San Francisco" periodo Junio 2007- Mayo 2008.....	98
Figura 30. Variabilidad de los sedimentos suspendidos en relación a caudales y eventos de fuertes precipitaciones, periodo 2007-2008.....	99
Figura 31. Variabilidad de sedimentos en suspensión durante el periodo de estiaje, 2007-2008.....	101
Figura 32. Deslizamientos en márgenes del rio San Francisco, Zamora Chinchipe, 2007-2008 (Apéndices)	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aforos utilizados para el análisis de correlación entre gastos líquidos y sólidos en suspensión de la Estación "Francisco Headwater", Zamora Ch., 2007-2008...	73
Cuadro 2. Datos de aforos líquidos y sólidos utilizados para la calibración de las curvas en la Estación "Quebrada Cruces" en la provincia de Zamora Ch., 2007-2008....	77
Cuadro 3. Aforos utilizados para la calibración de las curva de gastos líquidos y de sólidos	

Cuadro 4. Aforos realizados en la Estación "Planta Eléctrica", Zamora Chinchipe,
periodo Abril 2007-Junio 2008..... 82

Cuadro 5. Parámetros morfométricos de la Sub-cuencas del Rio San Francisco, 2008..... 91

Cuadro 6. Características de cada zona en estudio y su respetivo aporte de sólidos
en suspensión, Loja, periodo 2007-2008..... 96

Cuadro 7. Cálculo de la tasa de Producción Anual de Sedimentos en Suspensión mediante
el uso de dos metodologías para la Cuenca San Francisco, 2009..... 102

Cuadro 8. Caudales y concentraciones de sedimentos suspendidos para periodo de lluvias
y estiaje, Zamora Chinchipe, periodo Junio 2007-Mayo 2008. (Apéndices)

Cuadro 9. Correlaciones para establecer dependencia de los sedimentos en suspensión con
variables climatológicas. (Apéndices)

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de a y n para varios tipos de cobertura vegetal.....46

Tabla 2. Factores que afectan la turbiedad. (Apéndices)

Tabla 3. Precipitaciones medias mensuales para San Francisco, provincia de Zamora
Chinchipe, periodo Junio 2007-Mayo 2008 (Apéndices)



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

*...oral de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
...ño "San Francisco", Zamora Chinchipe.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

RESUMEN

La producción de sedimentos es uno de los procesos hidrológicos de mayor importancia a nivel de una cuenca hidrográfica, pues su determinación es primordial tanto para el manejo de los recursos hídricos así como para el diseño de obras hidráulicas. También se suele utilizar su estimación, como un indicador del impacto de los cambios de uso de suelo (indicador de erosión) y de las modificaciones en los sistemas de drenaje que originan los incrementos en las tasas de degradación.

La presente investigación tiene como objetivo principal, determinar la variabilidad espacio – temporal del aporte de sedimentos en suspensión que se genera a nivel de la Cuenca del Río

...entra ubicada al sur del Ecuador entre las ciudades Loja y

Zamora. En este sitio se establecieron, cuatro estaciones de aforo y cuatro sub-cuencas, distribuidas estratégicamente dentro de la zona de estudio: ECFH y ECQM, son zonas cubiertas de bosque natural y secundario, pero que difieren la una de la otra, básicamente, debido a su topografía; ECQC es una zona de pastizales, y ECPL recepta toda la carga sólida en suspensión proveniente de cada una de las sub-cuencas que conforman el sistema hidrográfico "San Francisco".

Para realizar los cálculos correspondientes para determinar la producción anual de sedimentos de la cuenca en estudio, se realizaron aforos líquidos y sólidos, los mismos que permitieron generar modelos de regresión potencial (caudales líquidos), y lineal (caudales sólidos), que luego fueron utilizados para generar correspondencias y así determinar la cantidad total aportada durante el periodo comprendido entre Junio 2007- Mayo 2008, tanto para la cuenca San Francisco como para cada una de las sub-cuencas mencionadas.

Los resultados obtenidos, muestran que del total de sedimentos en suspensión que se genera en esta cuenca (33 051,5 ton/año), en relación a las zonas estudiadas, la que aporta con mayor cantidad de carga sólida es la sub-cuenca ECFH (9,2%), que se encuentra en la parte alta, las zonas restantes ECQC y ECQM aportan con el 0,01 y 0,07 respectivamente, el porcentaje restante (casi el 90%), es generado a partir de factores externos (principalmente por actividades extractivas llevadas a cabo en la parte alta de la cuenca en las quebradas Zurita y Navidades -sub-cuencas no consideradas para este estudio-, erosión del cauce y otros), lo que sugiere en sí, que la Cuenca San Francisco presenta un nivel de conservación bastante alto. Además se pudo establecer que este proceso hidrológico presenta una fuerte dependencia tanto con los caudales líquidos como con los periodos de lluvias y estiaje respectivamente.

Palabras Clave: producción de sedimentos, erosión, modelo de regresión, caudal, cuencas hidrográficas.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

*...oral de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
...ío "San Francisco", Zamora Chinchipe.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ABSTRACT

The sediment yield is one of the most important hydrological processes at a watershed, because its determination is essential to the management of water resources and for the design of hydraulic projects. It's also often use their estimate as an indicator of the impact of changes in land use (erosion) and changes in drainage systems that cause increases in the rates of degradation.

This research has as a main objective, to determine the spatial and temporal variability of the contribution of suspended sediment that is generated at the River "San Francisco". This area is located south of Ecuador between Loja and Zamora cities. This site was established

our sub-basins strategically distributed within the study area: ECFH and ECQM are areas covered with natural forest and secondary, but they differ from each other, because of their topography; ECQC is an area of grasslands, and ECPL, receives all suspended solid load from each of the sub-basins that conform the hydrographic system "San Francisco".

To make the calculations to determine the annual production of sediments in the basin under study, there were liquids and solids gauging, which enabled the to generation of regression models potential (fluid flow) and linear (solid load), which were then used to generate correlation and to determine the total amount for the period June 2007 - May 2008, for San Francisco as the watershed for each of the aforementioned sub-basins.

The results show that the total suspended sediment that is generated in this basin (33 051.5 ton/year). In relation to the areas studied, ECFH which is at the top, provides 9,2% of the solid load. The remaining areas ECQC bring ECQM with 0.01 and 0.07 respectively. The remaining percentage (about 90%) is generated from external factors (extractive activities carried out in the upper basin of the streams Zurita and Navidades -sub-basins are not considered for this study, channel's erosion and others), which in itself suggests that the basin has a fairly high level of conservation. In addition it was ascertained that the hydrologic process has a strong dependence, with the liquid flow and with periods of rain and drought.

Keywords: sediment yield, erosion, regression models, flow, watershed.

Son muchos los factores que inciden sobre los procesos erosivos que se llevan a cabo en las cuencas hidrográficas; procesos que están íntimamente relacionados con la producción de sedimentos que se genera a nivel de Cuenca¹.

De acuerdo a varios estudios que se han realizado a nivel de todo el mundo (Summerfield y Hulton 1994; Ludwig y Probst 1998)², se determina que, si bien es cierto los procesos erosivos que se presentan en las cuencas, constituyen uno de los factores más importantes que inciden en la producción de sedimentos, también es cierto que existen muchos factores que, interrelacionados, tienen gran influencia sobre este fenómeno, entre los cuales los más importante son: los parámetros climáticos (principalmente precipitación, escorrentía y temperatura), la configuración del relieve (topografía), el tipo y uso de suelo, la actividad antrópica que se desarrolla en el sitio (Restrepo y Restrepo, 2005), e indudablemente los procesos erosivos que se llevan a cabo en la red de drenaje, lo que se conoce como transporte de fondo (este último tema no se tratará en esta investigación).

En relación a esta temática, también se debería incluir como un factor importante del aporte de sedimentos en las redes fluviales, los movimientos de masa y deslizamientos, pues su importancia radica en que estos movimientos son bastante frecuentes en la parte sur del Ecuador, debido principalmente, por una parte a la variabilidad e intensidad de las precipitaciones y por otra a la elevada humedad existente en los suelos, que en este caso constituyen los agentes desencadenante de estos procesos, sin dejar de mencionar que su ocurrencia, también está íntimamente relacionada a la acción humana, pues se ha determinado que el número y magnitud de estos deslizamientos aumenta considerablemente cuando existe la apertura de vías y carreteras. (Benítez, 1989 citado por Wilke *et al.* 2003).

¹ Espacio geográfico rodeado de montañas cuyas líneas de separación (*divortium aquarum*), coinciden con las crestas montañosas y cuyas aguas confluyen en un mismo cuerpo de agua.

² Citado en Restrepo y Restrepo, 2005.

ado por Wilke, *et al.*, determinó que la frecuencia de estos sucesos era incuestionable, mediante la interpretación de fotografías aéreas y algunos estudios de campo se pudo establecer que el 3.7% de 1 117 ha fueron cubiertos con deslizamientos visibles, en la Figura 1., se puede observar algunos derrumbes naturales que se han ocasionado en los bosques de la Reserva “San Francisco”, los que seguramente han contribuido con cantidades significat sedimentos al cauce principal.

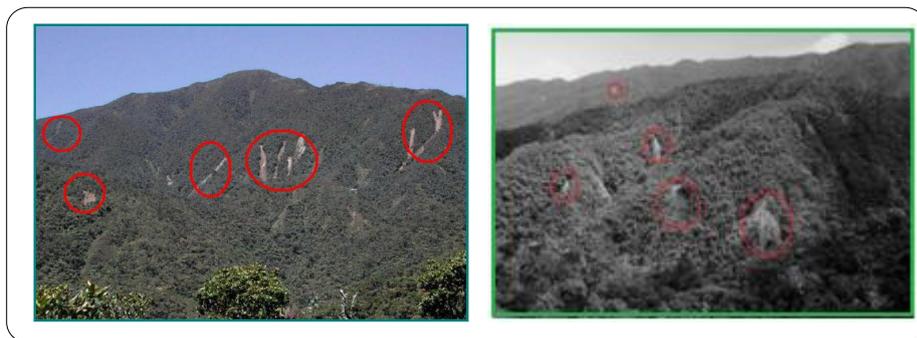


Figura 1. Deslizamientos naturales ocurridos en la Reserva “San Francisco” perteneciente a la Cuenca de Río San francisco, Zamora Chinchipe, 2007.

Fuente: Bussmann, R. y Ohl, C. 2004

Conociendo que, la producción de sedimentos puede ser un indicador del impacto de los cambios de uso de suelo en las áreas de drenaje de las cuencas (indicador de erosión) y de las modificaciones en los sistemas de drenaje que originan los incrementos en las tasas de degradación (Martínez, *et al.* 2001), es interesante e importante considerar los problemas potenciales que a mediano y largo plazo se pueden suscitar, no solo por la pérdida del suelo sino por los impactos que los sedimentos erosionados pueden ocasionar sobre los sistemas hídricos; problemas que se pueden agudizar por el transporte y acumulación de sedimento en los cursos de agua, ya que debido a estos procesos, no sólo se altera la calidad física y química del agua, sino que además se produce la pérdida de nutrientes, la alteración potencial de los procesos bioquímicos de la cuenca, se reduce la capacidad de almacenamiento en las presas, se afecta zonas alejadas por los depósitos de sedimentos, entre otros.

2006 y otros) que se han realizado en torno a este tema, en las cuales se manifiesta la importancia de su estudio, pues se ha establecido que las cuencas tropicales presentan magnitudes relativamente altas en cuanto a producción de sedimentos, en comparación con los valores reportados en cuencas de otras zonas geográficas (Milliman y Syvitski, 1992), además la producción de sedimentos en cuencas tropicales también se caracterizan por una fuerte variabilidad espacial y temporal, que se encuentra relacionada con los procesos tectónicos, geomorfológicos y climáticos que identifican estas zonas y particularmente con la ocurrencia de eventos de lluvia de alta intensidad (Restrepo y Restrepo, 2005), razón por la cual, la determinación de los aportes de sedimentos que se producen en cuencas montañosas, es muy importante ya que a largo plazo, los datos obtenidos se pueden utilizar tanto para el manejo de los recursos hídricos como para obras de conservación (Artigas, *et al.* 2006).

Además, el gran interés en cuanto al estudio de los sedimentos producidos por erosión superficial (lo que se denomina carga de lavado), está asociado principalmente al fenómeno de destrucción del suelo por el impacto directo de las gotas de lluvia y el posterior transporte de las partículas por parte del escurrimiento superficial, según los entendidos en este tema, este es un proceso que muestra un cierto grado de continuidad temporal asociada a eventos hidrológicos ordinarios característicos de las cuencas. (Farias, *et al.* 2003)

A pesar de lo mencionado anteriormente, en la Región Sur del Ecuador, principalmente en las Provincias de Loja y Zamora Chinchipe, los estudios de este tipo son muy escasos³, no se tiene datos de los factores que de una u otra forma influyen en estos procesos, ni mucho menos de la cantidad de sedimentos que se genera a nivel de las Cuencas Hidrográficas de esta región.

³ Las publicaciones encontradas hasta el momento (aunque aún no se encuentran validadas, sirven como base referencial) y que se relacionan con el tema son: “Aplicación del modelo Swat para la estimación de caudales y sedimentos en la Cuenca alta del Río Catamayo”, y Estudio, Análisis y Automatización de Metodologías para el cálculo de la producción de sedimentos en la sub-cuenca del Río Campana, realizada por Oñate, F. & Aguilar, G.; y García, A., Espinosa, A. & Oñate, F., respectivamente.

stigación, surge como respuesta no sólo a la escasez

de datos en relación a este tema, sino que además pretende dar una idea de la importancia del estudio del aporte de sedimentos a nivel de cuencas tropicales, razones por las que, el Grupo de investigación B3.2 FREDE- BREUER de la Universidad de Giessen (Alemania) con financiamiento de la Fundación Alemana para la Investigación (DFG), ha considerado necesario llevar a cabo el Proyecto denominado “Modelos Hidro-biogeoquímicos de la Cuenca del Río San Francisco”, dentro del cual se inscribe el presente tema de investigación.

Para este proyecto se ha escogido la Cuenca del Rio San Francisco como cuenca piloto de investigación, puesto que a pesar de ser una cuenca relativamente pequeña, presenta características bastante particulares principalmente en cuanto al tipo, uso de suelo, y condiciones hidrológicas. Uno de los aspectos más importantes de esta cuenca es que se encuentra ubicada en la parte alta del sistema hidrográfico del Rio Zamora, el mismo que, en la actualidad tiene un gran potencial hidroeléctrico, por lo cual es de gran interés conocer como se lleva a cabo la dinámica del aporte de sedimentos en suspensión en este tipo de cuencas.

Además, considerando que la Universidad Nacional de Loja, en procura constante de la formación de sus educandos, promulga, a través del Sistema Modular por Objetos de Transformación (SAMOT) la investigación científica como uno de sus pilares fundamentales y ante cuyo propósito mantiene convenios y acuerdos de cooperación interinstitucional, se lleva a cabo el presente trabajo de investigación, el mismo que no sólo servirá como requisito para la obtención del título de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, sino que además servirá de referencia para futuros estudios relacionados con esta temática.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar y determinar la Variabilidad Espacial y Temporal de la Producción de Sedimentos en suspensión que se genera en la Cuenca del Río “San Francisco”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar la relación existente entre la concentración de sedimentos en suspensión y el caudal.
2. Estimar la relación entre la concentración de sedimentos suspendidos y los niveles de turbiedad
3. Analizar la variabilidad espacial y temporal de la producción de sedimentos en suspensión en la Cuenca del Río “San Francisco”.
4. Estimar la producción de sedimentos en suspensión que se genera a nivel de la Cuenca “San Francisco”

III. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se hace referencia a la ubicación del sitio donde el trabajo de investigación fue realizado, así como los materiales y la metodología utilizados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización y Extensión

La Cuenca del Río “San Francisco” se ubica en la parte oriental de la Cordillera Real, al Sur del Ecuador, entre las ciudades de Loja y Zamora, en las siguientes coordenadas (ver Figura 13):

Coordenadas Este:	704487 m
	719367 m
Coordenadas Norte:	9552858 m
	9564948 m

El cauce principal de esta cuenca es el río San Francisco, el mismo que recibe a lo largo de su recorrido el aporte continuo de un sinnúmero de pequeñas quebradas. Este cauce es uno de los afluentes principales del Río Zamora, y es de gran importancia pues presenta un gran potencial hidroeléctrico.

La Cuenca San Francisco tiene un área de 84,15 Km², cuenta con una red hidrográfica de alrededor de 104,28 Km de longitud, de los cuales, 17,7 Km corresponden a la longitud del cauce principal. Esta cuenca se distribuye en un rango altitudinal que va desde los 1 600 hasta los 3 200 m.s.n.m. (Cerro del Consuelo).

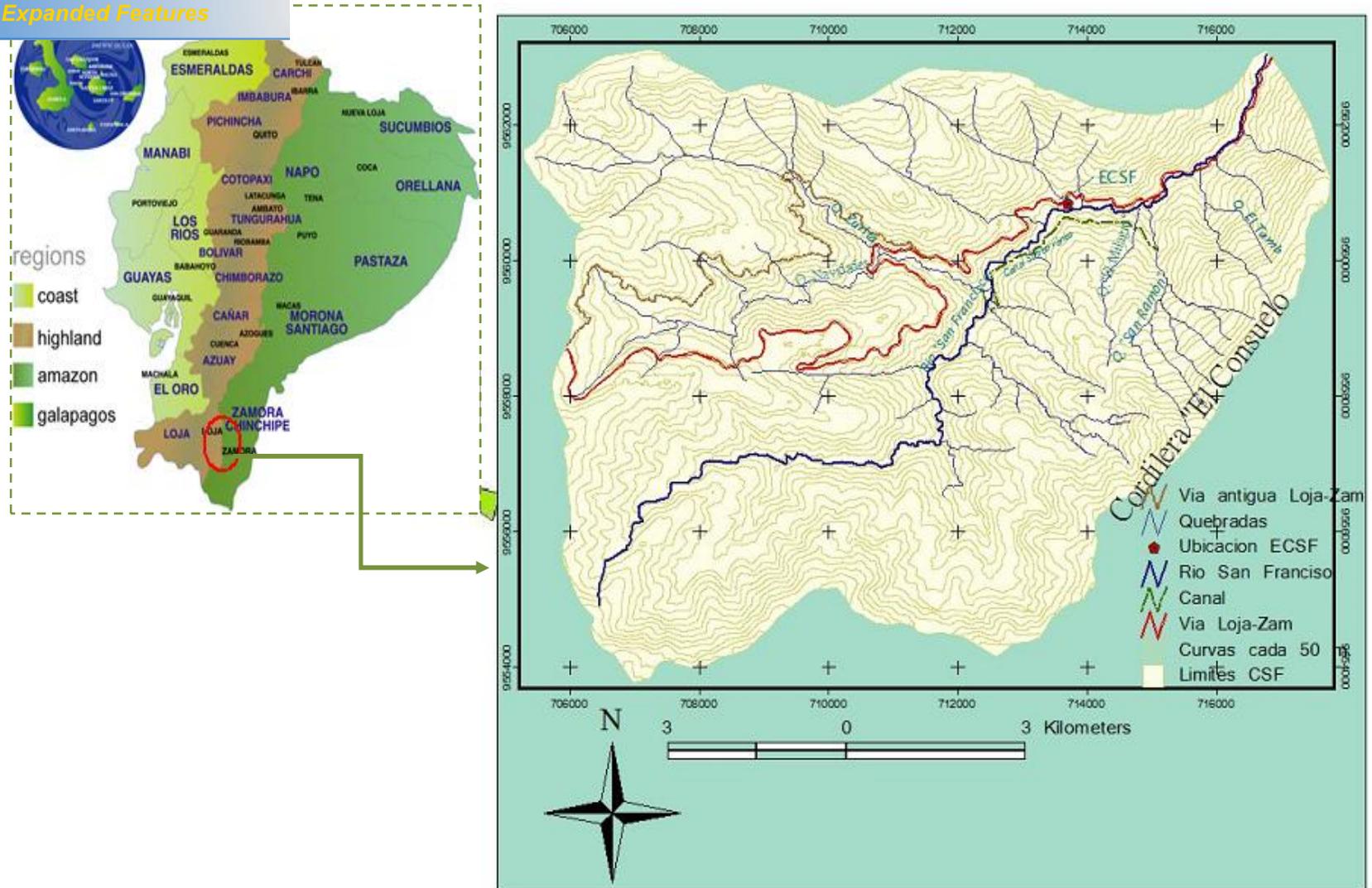


Figura 13. Ubicación de la Cuenca del Río "San Francisco" en la provincia de Zamora Chinchipe, 2007.

La historia Geológica de los Andes se extiende desde la Era Paleozoica; durante esta era los sedimentos marinos fueron depositados en una antigua plataforma marina, donde los Andes son localizados hoy en día. Durante la Era del Paleozoico tardío, esta plataforma estaba situada sobre el nivel del mar, predominantemente en la parte oriental de los Andes. Esto es demostrado por la ocurrencia de muchas rocas de la Era Paleozoica temprana. (Stanley, 1994). En la parte Sur del Ecuador, en la Cordillera Real se puede encontrar rocas volcánicas basálticas alternando con pelites y liditas de granos finos. (Zeil, 1979). El Sitio de estudio corresponde a terrenos de la Serie “Zamora” en la que predominan las filitas, esquistos y cuarcitas, que se agrupan en la Unidad Chinguinda, también se puede encontrar capas de metavolcanismo. (Díaz y Loján, 2004).

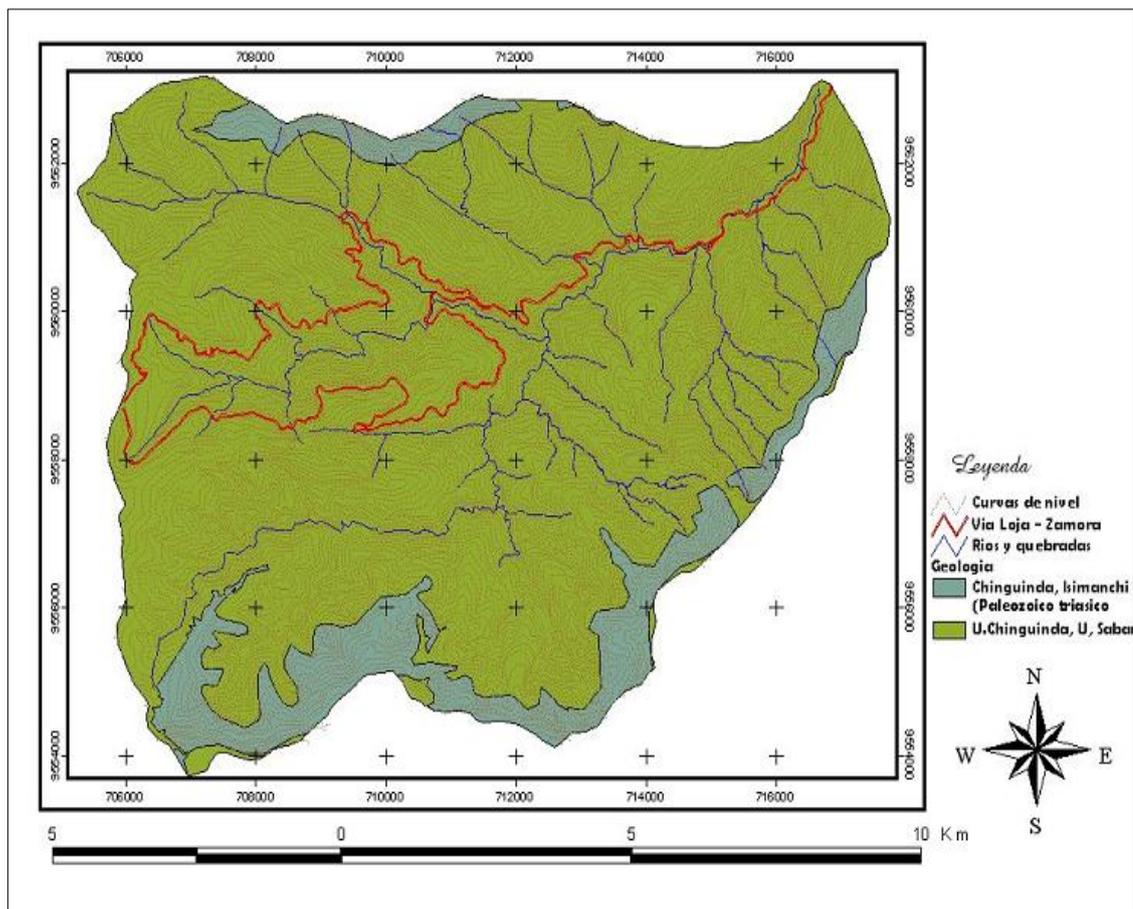


Figura 14. Geología de la Cuenca San Francisco, 2008.

detallados de suelos a nivel de toda la cuenca, se

cuenta con varios estudios realizados dentro de la Reserva Biológica "San Francisco" (que ocupa aproximadamente el 15 % del sistema hidrográfico en estudio), con lo cual se puede tener una idea general de la heterogeneidad de los suelos en este sitio, pues según Valarezo (1996) generalmente los suelos presentan una alta variación entre el flanco oriental húmedo y cálido de la Cordillera Real.

Sobre el flanco oriental húmedo de la Cordillera Real se pueden encontrar humic alfisols, humic, acrisols y dystric leptosols que son frecuentes entre los 1000 y 2000 msnm. En las alturas correspondientes a los 2100 y 2700 msnm, el tipo más común de suelos que se puede encontrar es el Petraquept, que se ha desarrollado sobre material de soliflucción¹³, seguido por Epiaquepts en las zonas más altas, son suelos que se desarrollan desde formaciones periglaciales. Estos suelos todavía contienen un alto porcentaje de roca en proceso de descomposición. (Bussman, 2005).

Sin embargo, los estudios realizados por Yasin (2001), determinan con mayor exactitud los tipos de suelos que se pueden encontrar tanto, en la parte alta, como en la parte baja de la reserva, los mismos que se caracterizan por ser poco profundos, de pH ácido (5,5 en el fondo del valle y 3,0 en el páramo), de contextura arcillosa y con altos contenidos de mica. En este estudio se destacan los siguientes tipos de suelos: Humic Dystrudepts, Aquic Dystrudepts, y Terric Haplosaprists (Parte alta); y Oxyaquic Eutrudepts, Oxyaquic Dystrudepts, Aquic Eutrudepts, e Histic Humaquepts (Parte baja de la reserva).

3.1.4. Relieve y Topografía

Esta parte del Sur del Ecuador, se caracteriza por tener un relieve bastante accidentado, además presenta una topografía inmensamente escarpada con pendientes entre 40-60° y frecuentemente llegando a 90°. (Bussman, 2006).

3.1.5. Clima

¹³ Este término se refiere a la formación de los suelos a partir de material glaciar.

Estaciones Científica "San Francisco", muestran que la precipitación media anual registrada entre 1997 – 2001, fue de 2500 mm en la zona baja y más de 5000 mm en las zonas más altas, con precipitaciones promedio de 300 mm en el mes de Abril y 70 mm en el mes de Noviembre. Según (Bendix y Lauer, 1992 citado por Goller, 2004), los meses donde se registran los máximos eventos de lluvias son entre Abril y Septiembre, causados por los vientos de la corriente ecuatorial que inducen las precipitaciones orográficas en la parte oriental de los Andes. La estación más seca es causada por el viento "Low Level Jet" que llegan a la Cordillera Oriental y se registra entre los meses de Octubre a Marzo.

En relación a la temperatura, se tiene registros medios anuales de 17 °C, variando en la parte baja de 15 – 17°C y en la parte alta de 9 – 13 °C, los meses de clima templado son de octubre a marzo y los restantes son de clima térmico frío (Bussman, 2001).

La humedad del aire promedio anual fue de 85% (90% en abril y 80% en noviembre). La dirección de los vientos predominantes fueron >80% orientales, mientras que la circulación del aire en el área de estudio fue dominado por los sistemas de viento de los valles de montaña. (Bussmann, *et al.* citado por Wagner, 2002).

3.1.6. Vegetación Natural y Uso del Suelo

La mayor parte de la cuenca se encuentra cubierta con bosque natural, especialmente en la parte alta. El resto de la cuenca está cubierto por pastizales y bosques de sucesión secundaria¹⁴.

Las zonas con pendientes suaves están dominadas por especies de las familias Euphorbiaceae, Solanaceae, Cecropiaceae y Lauraceae. Las partes con pendientes altamente pronunciadas están dominadas principalmente por familias Melastomataceae, Lauraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae.

Las especies arbóreas más abundantes entre los 1800 y los 2200 m.s.n.m. son *Graffenrieda emarginata* (Ruiz & Pav.) Triana (Melastomataceae). La flora en la parte

¹⁴ Esta información es una interpretación de fotografías aéreas de propiedad de la ECSF.

dominada por largos helechos, particularmente Dryopterideaceae y algunas hierbas (comúnmente Lobeliaceae). De acuerdo a Brujinzeel y Hamilton (2000), la mayoría del bosque puede ser clasificado como "Bosque Lluviosos Montano Bajo" que regularmente cambia a "bosque Nublado Montano Bajo" en las partes más altas. La parte baja del bosque natural ha sido perturbado por actividades humanas, (Busmann, *et al.* citado por Wilcke, *et al.* 2003).

3.2. MATERIALES

3.2.2. Materiales y equipos de Campo

- Cámara fotográfica
- Frascos plásticos para recolección de muestras (1 y 3 litros)
- Flexómetro
- Flomate (modelo 2000)/ molinete
- Fundas plásticas
- Hojas de Registro, marcadores permanentes
- Potenciómetro (pH, Temperatura y conductividad eléctrica)
- 4 Sensores de turbiedad WQ710 y 4 sensores de nivel
- Traje impermeable (Aforos)

3.2.3. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

- Anillos metálicos
- Embudos, crisoles
- Balanza de precisión de cuatro dígitos
- Horno Mufla
- Papel filtro de fibra de vidrio tipo: GF/F (0,7 μm), GF/D (1,7 μm) y plegado (20 μm).
- Probetas

3.2.4. MATERIALES Y EQUIPOS DE OFICINA

- Cartas topográficas
- Cintas adhesivas
- Computadora, escáner
- Fotografías Áreas /Imágenes Satélite
- Paquetes de SIG

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Metodología para el Primer Objetivo

Para obtener los datos necesarios para cumplir con el presente objetivo, se realizaron aforos tanto líquidos como sólidos en cada una de las cuatro estaciones seleccionadas (ver Figura 16), estas estaciones fueron distribuidas estratégicamente dentro de la Cuenca del Río San Francisco y para lo cual se tuvo en cuenta: el uso de suelo, las actividades productivas y de conservación que se desarrollan en esta cuenca. Para cada uno de los sitios se ha escogido un código, en el cual consta el año, la fecha (mes y día), el país y las siglas de la cada estación:

- ECFH: San Francisco Headwater (Compuerta)
- ECQM: Quebrada Milagro (cerca de los tanques de presión)
- ECQC: Quebrada Tres Cruces
- ECPL: Planta Eléctrica

Para establecer las secciones de aforo en las estaciones ECFH, ECQM y ECPL, se escogieron sitios naturales, en primer lugar accesibles, con flujos uniformes y con secciones estables para evitar en lo máximo que se produzcan variaciones considerables que alteren las relaciones entre tirante y caudal. En el caso de la estación ECQC, se utilizó un vertedero mixto, que permite obtener mediciones con mayor grado de precisión; esta estructura de aforo en un principio funciona como un vertedero triangular de cresta delgada de 90° siempre y cuando el tirante de agua no supere los 27,6 cm, si es que el nivel del agua supera los 27,6 cm de altura, esta estructura se convierte en un vertedero truncado de cresta delgada, cuya ecuación para determinar los caudales se describe a continuación:

$$\text{Si: } h > 27,6 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad Q = AA[h^{2,5} - (h - H)^{2,5}] + AA \cdot B(h - H)^{1,5}$$

$$\text{Si: } h \leq 27,6 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad Q = AA \cdot h^{2,5}$$

Q: es el caudal a determinarse en m^3/s

AA: es equivalente a 2,13

H: corresponde a la altura del vertedero (0,276m)

B: es igual a 0,455 (b_1+b_2)

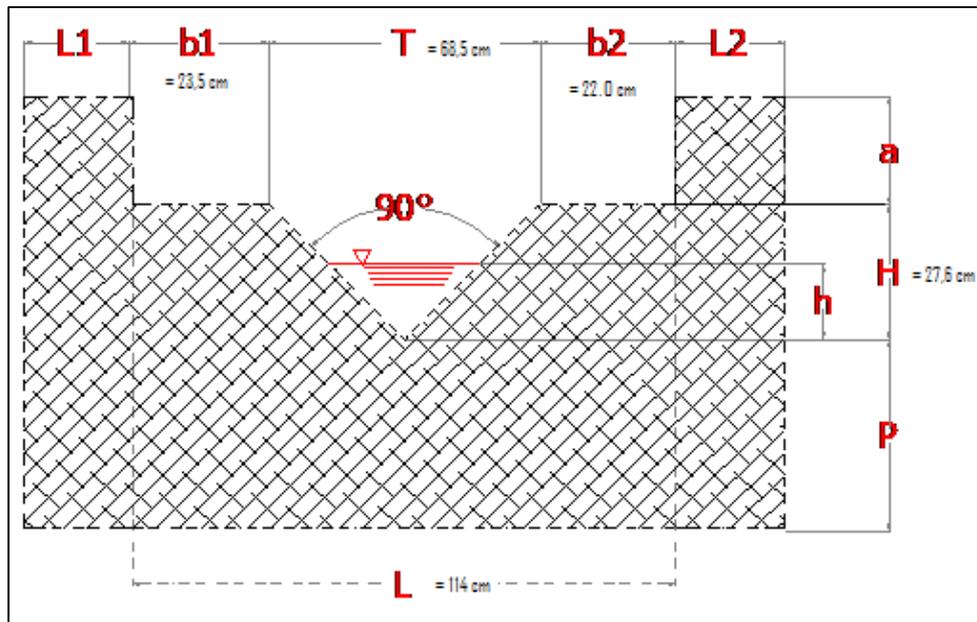


Figura 15. Dimensiones de vertedero mixto utilizado en la estación Quebrada Cruces.

Fuente: Elaborado por Crespo, P. 2008

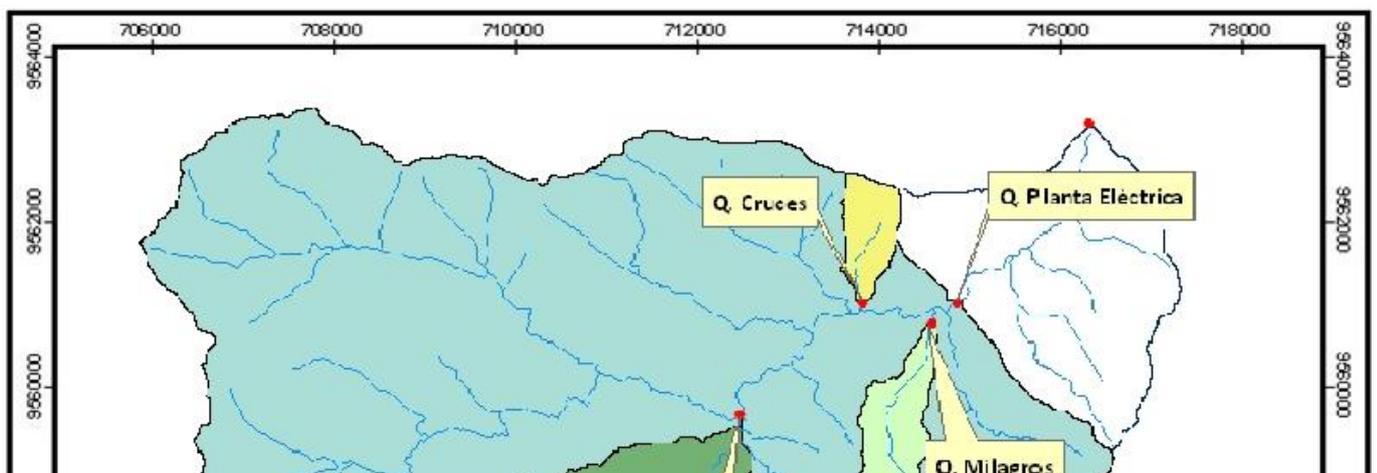


Figura 16. Ubicación geográfica de las estaciones en investigación, Zamora Chinchipe, 2008.

Por otro lado, en cuanto al cálculo y posterior construcción de la curva de descarga líquida, se partió de los aforos realizados tanto en el tiempo estipulado para la investigación así, como los obtenidos en meses anteriores por los investigadores del Grupo FREDE- BAUER, con la finalidad de obtener mejores resultados en cuanto al ajuste de las curvas a los datos experimentales. Para la construcción de las curvas de descarga tanto líquida como sólida en cada una de las estaciones elegidas, el procedimiento en general fue el mismo, a continuación se detalla la metodología.

3.3.1.1. Construcción de curvas de descarga líquida

En primer lugar, se analizaron los datos del nivel y caudal obtenidos en cada uno de los aforos realizados, debiendo en algunos casos, eliminar variables anómalas, las mismas que influían en la calidad del modelo afectando la distribución de los datos.

ga de caudales líquidos, una vez que se obtuvo el diagrama de dispersión de los datos experimentales, se seleccionó el modelo de regresión potencial, que fue el que mejor se ajustó a éstos.

Este modelo de regresión está representada por la siguiente ecuación: $Q = ah^b$, donde, Q y h son las variables correspondientes a caudal y nivel del agua respectivamente y a y b son los coeficientes de regresión a determinarse, para encontrar la función matemática que define la relación de los datos experimentales se utilizaron los programas: Grapher 6¹⁵ y planillas de Excel y para encontrar los coeficientes de regresión a y b que definen la ecuación de cada una de las curvas, además de utilizar los softwares antes mencionados, también se aplicó el método de mínimos cuadrados para corroborar los valores obtenidos para cada uno de estos coeficientes; este método consiste en elevar al cuadrado la suma de los valores calculados por la ecuación y los valores reales de la serie para minimizar el error de ajuste. Este error o residuo, como también se lo conoce, está determinado por la siguiente fórmula (Chapra y Canale, 1999):

$$E = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum_{i=1}^n (y - a - bx)^2 \quad (a)$$

Para aplicar la formula descrita anteriormente (a) y obtener ecuaciones normales de los parámetros a y b , en primer lugar se linealizó la ecuación de tipo Potencial, es decir, se tuvo que transformar la ecuación no lineal en una ecuación del tipo $Y = A + BX$, donde Y , X , A y B son funciones de y , x , a y b respectivamente, en este caso, la expresión quedó expresada de la siguiente manera:

$$y = ax^b \implies \ln y = \ln a + b(\ln x) \quad (b)$$

$\ln y$	Y
$\ln x$	X
$\ln a$	A
b	B

¹⁵ Grapher 6, es un programa que permite representar gráficamente todo tipo de funciones matemáticas, incluye los sistemas de coordenadas cartesianas bidimensional, polar tridimensional, además presenta soporte para crear funciones en 2D y 3D; los datos con los que se trabaja pueden exportar desde Excel o pueden ser ingresados directamente en la hoja de cálculo (worksheet).

Una vez linealizada la ecuación, para determinar los coeficientes de regresión se diferencia la ecuación (a) para cada uno de estos coeficientes y luego se hacen derivadas parciales iguales a cero y el resultado final que se obtiene es un sistema de ecuaciones normales, que permite obtener (Ruiz, s/a):

$$B = \frac{n \sum \ln x_i \ln y_i - \sum \ln x_i \sum \ln y_i}{n \sum \ln x_i^2 - (\sum \ln x_i)^2} \quad b = B \quad (c)$$

$$A = \frac{\sum \ln y_i - b \sum \ln x_i}{n} \quad \Rightarrow \quad a = 10^A \quad (d)$$

De donde:

a y b: son los coeficientes de regresión

$\ln x_i$ = Logaritmo natural de la variable x (Nivel de agua)

$\ln y_i$ = Corresponde al logaritmo natural de la variable y (Caudal)

n = número de observaciones

La eficiencia y precisión de los modelos estadísticos fue evaluada por medio de los coeficientes de determinación (r^2) y correlación (r) de la regresión, los mismos que permiten, medir la fuerza de la relación lineal entre las variables y así estimar si el ajuste de los datos a la línea de regresión obtenida es satisfactorio. En el caso del coeficiente de determinación su valor fluctúa de 0 a 1 y para el coeficiente de correlación, los valores van desde -1 (correlación perfecta de sentido negativo) a 1

positivo), cuanto más cercanos sean los valores al 0

más débil es la relación entre las variables.

$$R^2 = \frac{(n \sum lnx_i lny_i - \sum lnx_i \sum lny_i)^2}{[n \sum lnx_i^2 - (\sum lnx_i)^2][n \sum lny_i^2 - (\sum lny_i)^2]} \quad (e)$$

$$R = \sqrt{R^2} \quad (f)$$

De donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

n: numero de datos

lnx_i : el i-ésimo valor de la variable x

lny_i : el i-ésimo valor de la variable y.

R: coeficiente de correlación

3.3.1.2. Determinación de la concentración de sedimentos en suspensión

Para obtener la cantidad media de sedimentos que circula por cada estación, se recolectaron muestras de sedimentos en suspensión en botellas plásticas previamente etiquetadas, de 1, 2 y/o 3 litros (la cantidad obedeció a la turbiedad observada del agua). Una vez realizada la recolección de las muestras, éstas fueron llevadas a los laboratorios de la Estación Científica San Francisco y de la Universidad Nacional de Loja para su procesamiento.



Figura 17. Recolección de muestras de sedimentos en suspensión en el Río San Francisco, provincia de Zamora Chinchipe, 2007-2008.

Para obtener la cantidad de sedimentos en suspensión se aplicó la relación entre la masa seca de los sedimentos y el volumen de la mezcla agua-sedimento, esta medida nos indica la cantidad en peso de sedimento que se encuentra por unidad de volumen de agua, pues , para el cálculo de producción de sedimentos en suspensión es más simple trabajar con el peso del material sólido en lugar del volumen, ya que las medidas practicables en un río son las velocidades del agua y las concentraciones del material sólido en suspensión expresados en mg/l o gr/m³. (Vide, 1997).

El método que se empleó para obtener la concentración de sedimentos en suspensión (C_{ss}) fue el método de filtración (Guy, 1969), que consiste en tamizar la muestra colectada (agua y sedimentos) a través de filtros de microfibra de vidrio, previamente etiquetados y pesados en la balanza de precisión, para luego colocarlos en el horno mufla a una temperatura constante por un periodo determinado, en este caso en particular se colocó las muestras a 60°C por un lapso de 24 horas, una vez concluido el tiempo de secado, el papel filtro fue pesado nuevamente para obtener el peso del sedimento en seco. Se registró la cantidad de agua filtrada para determinar el total de sedimentos por cada litro de muestra colectada y simultáneamente se registró la hora, para posteriormente elaborar las curvas de descarga sólida. Entonces, la concentración de sedimentos en suspensión quedó determinada por la siguiente expresión:

Donde:

$$C_{ss} = \frac{pfs - pfa}{V_{mc}}$$

C_{ss}: Concentración de sedimentos en suspensión (mg/l)

Pfs: Peso del filtro seco

Dfa: Peso del filtro antes del tamizado



Una vez obtenida la cantidad de sedimentos en cada aforo sólido realizado, se elaboraron tablas para cada una de las estaciones

3.3.1.4. Calibración de la curva de descarga de sólidos en suspensión

El procedimiento para la calibración de las curvas para sólidos suspendidos, fue bastante similar al que se siguió para la calibración de las curvas de descarga de líquidos, la diferencia fue que todas las calibraciones de sólidos se aplicó directamente regresiones lineares porque fue el modelo que mejor se ajustó a los datos. A continuación se detalla el proceso:

Una vez que se han obtenido tanto los caudales líquidos como la cantidad de sedimentos suspendidos en cada una de las estaciones, seguidamente se establecieron

es de estas variables para obtener la cantidad de sedimentos en un caudal determinado. Para calibrar algunas de las curvas, se realizaron transformaciones logarítmicas para maximizar el ajuste de los datos, y, al igual que las anteriores, se aplicó el método de mínimos cuadrados entre las dos variables para encontrar la mínima distancia posible entre la función y los datos, para lo cual, se aplicó la ecuación anterior (a):

Bajo esta condición se pudo establecer que la pendiente **b** y la ordenada en el origen, **a**¹⁶, se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad a = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n}$$

De donde:

a y **b**: son los coeficientes de regresión linear; **X_i** y **Y_i**: datos de la variable x y de la variable y_i, respectivamente; **n**: número de observaciones de campo. Los coeficientes de correlación y de determinación, se hallaron utilizando las expresiones anteriores (e) y (f).

3.3.1. Metodología para el Segundo Objetivo

“Estimar la relación entre la Concentración de Sedimentos en Suspensión y los Niveles de Turbidez”

Los datos de concentración de sedimentos se obtuvieron de los aforos realizados durante el tiempo experimental, mientras que, para obtener los datos de turbidez¹⁷ en

¹⁶ La pendiente **b**, nos indica cuánto aumenta **y** por cada aumento de **x**, y la ordenada en el origen, **a**, nos indica cuánto vale **y** cuando **x=0**. Tomado de WALPOLE, R. et al. 1999. Probabilidad y Estadística para ingenieros. 6ta ed. México. PRENTICE- HALL HISPANOAMERICANA. Capitulo 11. p.362

¹⁷ Este término se define como una expresión de la propiedad óptica mediante la cual la luz se dispersa y absorbe en lugar de transmitirse en línea recta a través del agua. La turbidez es producida por materias en suspensión, materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados y otras sustancias que son causa de una pérdida de transparencia en el agua. Tomado de: ARBOLEDA, J. 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3ra ed. McGraw-Hill. Colombia. p.602

uestreo, se utilizaron cuatro sensores de Turbiedad WQ710, de la casa comercial Global Water (USA), los mismos que fueron ubicados en las estaciones de aforo señaladas anteriormente, es decir, dos de éstos se colocaron en las quebradas Milagro y Cruces, y los dos restantes fueron ubicados en el cauce principal -uno en la parte media y el otro en la parte baja de la cauce- como se muestra en la Figura 18, a una altura aproximada de 15 cm sobre el lecho del río. El propósito de su ubicación, fue obtener datos que permitan analizar y comparar los niveles de turbidez (medidos en unidades NTU -Nephelometric Turbidity Units-) que se generan en cada uno de estos cauces por efecto, básicamente, del incremento de sedimentos en suspensión.

El método para la medición de turbidez utilizado en los sensores, corresponde al descrito bajo la norma ISO 7027 (norma de calidad e agua), basado en la dispersión de 90° que sufre el rayo de luz que atraviesa un fluido con partículas en suspensión, estos equipos además, cuentan con un sistema de medición provisto de dos detectores que reciben luz de una fuente que emite 860 nm (cerca de la luz infrarroja) de manera intermitente. La intensidad de luz detectada es directamente proporcional a la turbiedad del agua, es decir, mientras mayor sea la luz dispersada por las partículas suspendidas mayor será el valor de la turbiedad.

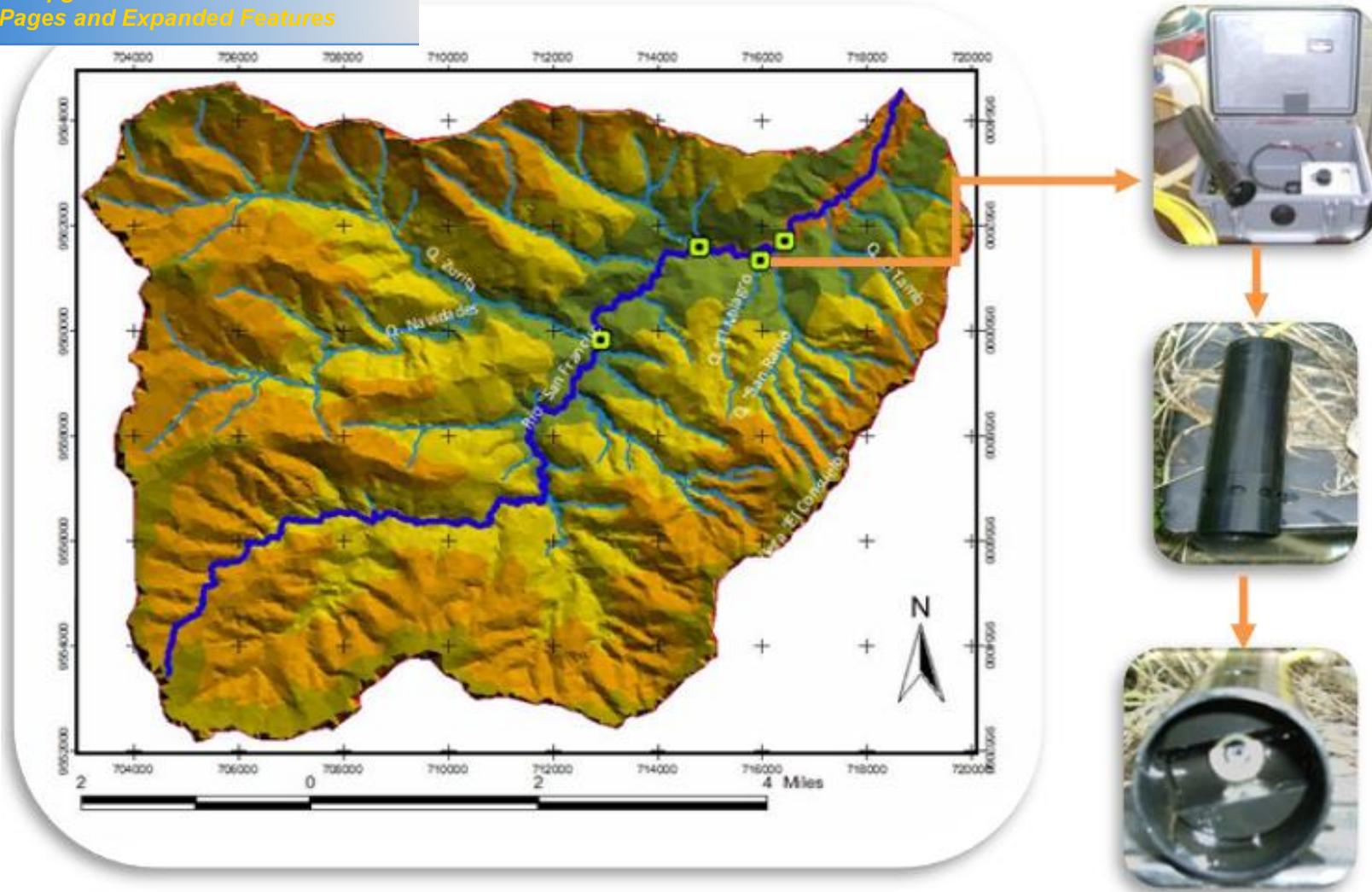


Figura 19. Ubicación y representación gráfica de los sensores de Turbiedad WQ710, provincia de Zamora Chinchipe, 2007-2008.

ores se realizan bajo condiciones dinámicas e *in situ*, reflejando así, con mayor exactitud la naturaleza dinámica del movimiento de las partículas en la masa de agua; en cuanto a su precisión, estos dispositivos cuentan con dos canales de control, el primero que mide en un rango de 0-50 NTU y el segundo de 0-1000 NTU. (Guide-line of Turbidity sensor).

Es importante tener en cuenta que, a pesar de las características que presentan estos dispositivos, también existen varios factores externos que interfieren en las mediciones, entre las más usuales se pueden mencionar las siguientes: presencia de burbujas en las paredes de la celda al momento de realizar la lectura, empañamiento de las celdas, suciedad del vidrio y efectos de vibración que alteran la visibilidad superficial de la muestra los cuales conducen a errores en las lecturas (Velasco, 2001).

Una vez que se han obtenido los datos tanto de los sólidos en suspensión así como de los niveles de turbiedad, se establecen relaciones, para lo cual se elaboran modelos de regresión lineal tal y como se señaló en párrafos anteriores.

3.3.3. Metodología para el Tercer Objetivo

Caracterización espacial y temporal de la producción de sedimentos en suspensión en la cuenca del Río San Francisco”

Para viabilizar este objetivo, en primer lugar se realizó la caracterización morfométrica de cada una de las sub-cuencas establecidas para los muestreos dentro de la cuenca de estudio, con la finalidad de tener una visión teórica del comportamiento hidrológico de éstas, para lo cual se calcularon los siguientes parámetros:

Tabla 2. Parámetros morfométricos y su cálculo respectivo, 2008.

Parámetros	Unidad	Cálculo y descripción
PARÁMETROS DE FORMA:		
Área	Km ²	Estos parámetros fueron determinados mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)
Longitud del Cauce principal	Km	
Longitud Axial	Km	Parámetro determinado con SIG, para lo cual se tuvo en cuenta la distancia entre el punto más lejano con respecto a la garganta de la cuenca.
Ancho promedio	Km	Se calcula mediante la siguiente relación: $A_p = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud axial}}$
Factor de Forma	A*	<u>Índice de Compacidad (Índice de Gravelius):</u> relaciona el perímetro de la cuenca (P) con el de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la cuenca (A): $K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$

PARÁMETROS DE RELIEVE		
Pendiente Media del Cauce	%	Este parámetro se calcula mediante la siguiente relación: $Sc = \frac{\text{Elevación en el nacimiento} - \text{elevación a la salida}}{\text{Longitud del cauce}}$
Pendiente Media de la Cuenca	%	Es calculada mediante la relación que señala Alvord: $p = \frac{DL}{A}$
Altitud Media de la Cuenca	m.s.n.m	Para el cálculo de este parámetro se realiza la siguiente operación: $Hm = \frac{\sum se}{S}$
Coficiente de De Martone	Km/Km ²	Su expresión matemática es: $Cm = \frac{Hm}{A}$
Coficiente orográfico	A	Matemáticamente esta combinación se expresa como: $Co = Hm(Cm)$
PARÁMETROS DE DRENAJE		
Densidad de Drenaje	Km/Km ²	Se expresa como el total de las longitudes de las corrientes (L, en Km), por unidad de área (S, en Km ²): $Dd = \frac{L}{A}$
Constante de estabilidad del Río	Km ² /Km	Es el valor inverso de la Densidad de Drenaje, se expresa: $Dd = \frac{A}{L} = \frac{1}{Dd}$

*Sin unidades (adimensional)

Para caracterizar espacialmente el fenómeno de producción de sedimentos en suspensión en esta Cuenca, se consideraron cuatro zonas o sub-cuencas, las mismas que se describen a continuación:

- **Subcuenca Francisco Headwater:** Esta zona más abarca aproximadamente el 43% del área total de la cuenca, corresponde al área que se encuentra antes de la estación de aforo ECFH (parte alta de la cuenca), se caracteriza porque en su mayoría se encuentra cubierta de Bosque Natural, además presenta un nivel de intervención muy bajo, pues ésta zona se encuentra dentro del Parque Nacional Podocarpus (PNP).
- **Subcuenca Cruces:** Esta área se encuentra en la parte nor-oriental de la cuenca, se caracteriza porque la cubierta vegetal predominante son los pastizales además presenta pequeños remansos de bosque, la actividad productiva que se desarrolla en este sitio es la ganadería en pequeña escala.
- **Subcuenca Milagros:** Esta zona se ubica en la parte baja de la cuenca, se encuentra cubierta de bosque natural pero a diferencia de la primera, ésta presenta pendientes muy fuertes y condiciones hidroquímicas distintas.
- **Subcuenca Planta:** Corresponde a la última zona de estudio, ésta abarca los tres sitios anteriores y por eso se la considera la zona más importante.⁹

Para conocer la cantidad que aporta cada una de estas zonas se relacionaron: la cantidad de sedimentos con la superficie de cada una de ellas, determinando así la degradación específica.

⁹ Dentro de la cuenca de estudio existe un área que representa aproximadamente el 25% de su superficie (Quebrada Zurita y Q. Navidades), la misma que no ha sido tomado en cuenta debido a que, los valores de los sedimentos en esta zona están sobreestimados por actividades minera (pétreos).

Para determinar la variación de los sedimentos en suspensión durante el periodo contemplado anteriormente, se establecerán dos periodos: de lluvias y de estiaje, que permitirán observar cuál es el comportamiento de los sedimentos en suspensión en relación a las estaciones climáticas. Los datos de precipitaciones fueron obtenidos del registro que conserva el grupo PREDICT (*Precipitation Dynamics and Chemical properties of a tropical mountain forest in southern Ecuador*). Éste es un programa de investigación cooperativo entre el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), Prof. Dr. J. Bendix (Laboratory for Climatology and Remote Sensing, Dept. of Geography, University of Marburg) y Prof. Dr. P. Fabian (Chair of Ecoclimatology, Science Center Weihenstephan, Technical University of Munich).

3.3.4. Metodología para el Cuarto Objetivo

“Producción de sedimentos en suspensión que se genera a nivel de la Cuenca San Francisco”

Para obtener el total de la producción de sedimentos en suspensión que se genera en la Cuenca del Río “San Francisco”, se utilizaron los datos de los caudales diarios calculados para un periodo de un año mediante las ecuaciones de regresión “Caudal – Nivel” [$Q=f(h)$], y asimismo para los datos de concentración de sólidos suspendidos se utilizaron las ecuaciones de regresión “Concentración de sedimentos en suspensión – Caudal” [$C_{ss}=f(Q)$], con la única variante de que para aplicar estas ecuaciones ($C_{ss}-Q$) se tuvo que realizar el despeje de la ecuación logarítmica a una ecuación simple, dándonos como resultado, la siguiente expresión:

$$C_{ss}=e^{[a(\ln Q)\pm b]}$$

Además, en algunas estaciones debido a varios imprevistos e inconvenientes de carácter técnico -daños en los sensores- no se contaba con los datos del nivel de agua por lo tanto tampoco se tenían datos de los caudales, razón por la cual se tuvo que completar estos valores utilizando las correlaciones existentes entre las estaciones en estudio con otras estaciones que monitorea el Grupo B3.2 Frede-Breuer (Ver Apéndice 2). Para el cálculo anual se tomó en cuenta el periodo comprendido entre Junio del 2007 a Mayo del 2008.

Adicionalmente, se utilizó la metodología de Fleming para comparar los datos obtenidos de ambas metodologías.

En este acápite se presentan los resultados que se han obtenido para cada uno de los objetivos planteados, así como la interpretación y discusión de los mismos.

4.1. RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y EL CAUDAL

Con los datos obtenidos de los aforos líquidos y sólidos, se presentan las gráficas que determinan las relaciones existentes entre las variables en cada una de las estaciones escogidas para este estudio. Para la calibración de las curvas de descarga líquida, como se mencionó en la metodología, se utilizaron los aforos realizados tanto en el tiempo estipulado para la investigación, como los obtenidos en meses anteriores. A continuación se presentan los resultados para cada una de las estaciones seleccionadas.

◆ CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE DESCARGA LÍQUIDA Y SÓLIDA

● **ESTACIÓN "FRANCISCO HEADWATER" (ECFH)**

Los datos de los aforos realizados en la estación ECFH, para los periodos antes mencionados se muestran en el siguiente cuadro resumen:

Cuadro 1. Aforos utilizados para el análisis de correlación entre gastos líquidos y sólidos en suspensión de la Estación "Francisco Headwater", Zamora Chinchipe, 2007-2008.

DATOS DE CAUDALES LÍQUIDOS				DATOS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN				
Nro	Fecha/Hora	Nivel (mm)	Q_L (m ³ /s)	Fecha/Hora	Q_L (m ³ /s)	C_{ss} (g/s)	$\ln Q_L$ (m ³ /s)	$\ln C_{ss}$ (g/s)
1	11/08/07 10:00	371	0,923	20/11/07 12:15	4,685	26,2	1,544	3,268
2	25/09/07 10:10	279	1,587	22/12/07 14:00	1,948	21,5	0,667	3,072
3	08/12/07 10:40	286	1,530	05/01/08 10:52	2,268	68,5	0,819	4,226
4	18/12/07 10:30	208	1,445	23/01/08 10:23	1,843	1,8	0,612	0,612
5	19/01/08 10:30	297	2,004	12/02/08 12:00	2,960	8,2	1,085	2,107
6	26/01/08 11:00	220	2,409	28/02/08 10:45	2,476	8,4	0,907	2,126
7	12/02/08 12:00	376	2,835	08/04/08 10:38	1,097	2,0	0,092	0,642
8	28/02/08 10:45	330	3,145	12/07/08 13:00	4,359	834,9	1,472	6,727
9	05/03/08 13:50	271	1,988	26/07/08 11:40	7,570	477,7	2,024	6,169
10	11/03/08 10:55	223	1,360	06/08/08 11:06	2,863	21,4	1,052	3,062
11	29/03/08 10:30	175	1,196	09/08/08 10:53	8,744	2204,9	2,168	7,698
12	08/04/08 10:30	182	1,197					
Caudal Promedio Q_L: 1,88m³/s				Promedio de sólidos en suspensión C_{ss}: 334 g/s				

Cuadro 1., se ha podido establecer cada una de las

tendencias que define el comportamiento de los caudales líquidos y sólidos reales con respecto a las variables independientes, nivel y caudal, respectivamente. (Figura 20).

Para las curvas de gastos líquidos, la ecuación que expresa en términos matemáticos la relación entre el nivel y caudal, fue determinada mediante el procedimiento detallado anteriormente, dando como resultado la expresión descrita a continuación, ecuación que además fue corroborada con el programa Grapher versión 6:

$$Q = 0.0008x^{1.37}$$

Donde:

Q : es el caudal a determinarse en ECFH (m^3/s);

$x=h$: es la altura de la lámina de agua (mm).

Esta ecuación ha sido establecida para determinar gastos cuyo tirante es igual o superior a los 150 mm, su validación estadística, estuvo fijada por los valores de correlación y de determinación (R y R^2) que para esta estación fueron de 0,88 y 0,78 respectivamente (ver Figura 20.a), indicándonos que, el 78 por ciento de de las variables dependientes (y) son explicadas por una relación lineal con (x) y , que el nivel de correspondencia entre las mismas es estadísticamente aceptable.

De la misma manera, para la obtención de la ecuación de regresión para sólidos en suspensión se tomó en cuenta el procedimiento descrito en la metodología, obteniendo como resultado la siguiente expresión:

$$C_{ss} = e^{[3,38(\ln x) - 0,71]}$$

Donde:

C_{ss} = es la concentración de sedimentos en suspensión (g/s);

e = corresponde a 2,7172

$x=Q$ = es el Caudal (m^3/s).

de determinación, al igual que en el caso anterior, muestran el alto grado de correspondencia entre estas variables por lo cual se consideró a la ecuación como aceptable para el cálculo del caudal sólido (C_{ss}) a partir de caudales líquidos. Los estimadores mínimo cuadráticos a y b quedaron expresados mediante los valores adimensionales 0,71 y 3,38 que corresponden a los valor de: la *ordenada en el origen*, y la *pendiente*, esta última nos indica cuánto aumenta la concentración de sedimentos en suspensión por cada aumento del caudal. En la figura a continuación se ilustra de manera gráfica la distribución de los datos de campo, así como los coeficientes que se obtuvieron en cada una de las curvas de regresión.

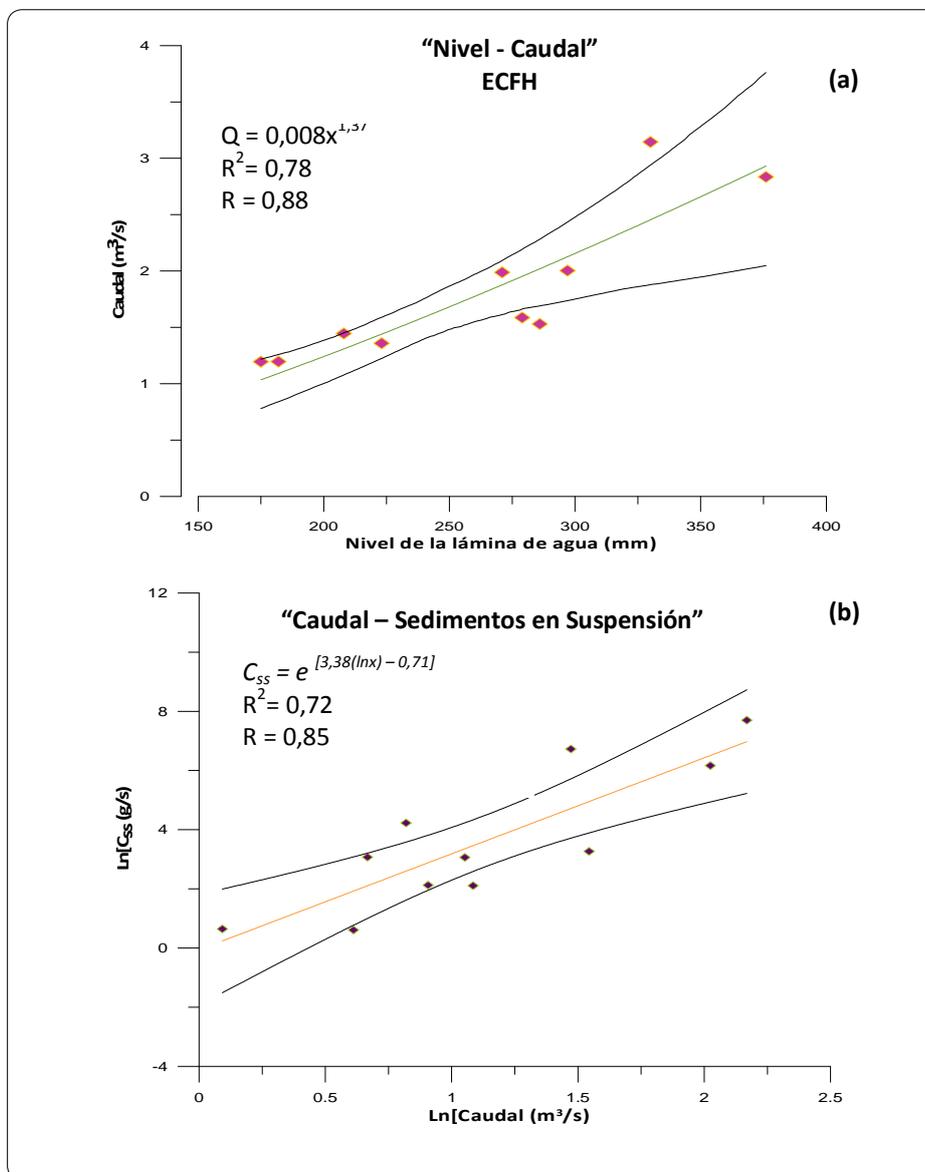


Figura 20. Diagramas de dispersión y curvas de regresión ajustadas a los Q líquidos (a) y las descargas sólidas (b) para la estación Francisco Headwater, 2008.

caudales líquidos y sólidos se les sometió a un análisis de confiabilidad del 95% (generadas con el software Grapher 6), para ratificar la calidad de los datos de campo. En la figura 20.a, los límites de confianza muestran que, para los caudales máximos aforados en esta estación el nivel de precisión disminuye, pues mientras más estrecho estén los límites a la línea de regresión las estimaciones serán más precisas (Zar, 1999 citado en Feinsiger, 2004), asimismo en la Figura 20.b., se observa que, para concentraciones de sedimentos mínimas y máximas con valores de 2 y 2204,9 g/s respectivamente (ver Cuadro 1.), al igual que en el primer caso la precisión disminuye, sin embargo es importante tener en cuenta que para todos los datos que se encuentran dentro de las curvas de confianza tienen el mismo porcentaje de confiabilidad.

Al fijarse en las curvas de calibración, se puede apreciar que los pares de puntos que se obtienen a partir de los aforos tanto líquidos como sólidos, presentan siempre una gran dispersión alrededor de las curvas teóricas de ajuste. La causa de esta dispersión se debe, generalmente, a la influencia que ejercen factores externos en el transporte de sedimentos de una corriente, estos factores principalmente están relacionados con procesos erosivos de la cuenca, con el régimen de transporte del río y actividades antrópicas desarrolladas en las cuencas de aporte.

- **ESTACIÓN "QUEBRADA CRUCES" (ECQC)**

En la estación Q. Cruces, los aforos líquidos se los realizaron utilizando el vertedero mixto de cresta delgada, mientras que los sólidos fueron colectados de forma manual al igual que en el resto de estaciones, de acuerdo al análisis de los aforos se puede señalar que en la presente estación el flujo se mantiene constante, pues aproximadamente el 66% del total de éstos presentan una variación no mayor $0,0061 \text{ m}^3/\text{s}$; en cambio para las concentraciones de sedimentos los datos se presentan con mayor variación, esto se puede verificar al observar la ilustración gráfica de estos valores (Figura 21). A continuación se presenta el cuadro con los datos obtenidos en el campo.

... y sólidos utilizados para la calibración de las curvas en la Estación “Quebrada Cruces” en la provincia de Zamora Chinchipe, 2007-2008.

DATOS DE CAUDALES LÍQUIDOS				DATOS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN				
Nro	Fecha/Hora	Nivel (mm)	Q _L (m ³ /s)	Fecha/Hora	Q _L (m ³ /s)	C _{ss} (g/s)	Ln Q _L (m ³ /s)	Ln C _{ss} (g/s)
1	19/10/07 6:45	173	0,0061	06/11/07 10:33	0,022	0,218	-3,825	-1,522
2	21/10/07 16:43	176	0,0066	17/11/07 10:15	0,035	0,233	-3,343	-1,456
3	23/10/07 7:11	294	0,0467	27/12/07 11:00	0,192	0,564	-1,650	-0,573
4	25/10/07 11:05	228	0,0189	31/12/07 14:05	0,017	0,072	-4,098	-2,634
5	29/10/07 9:35	182	0,0076	05/01/08 12:15	0,026	0,117	-3,634	-2,146
6	29/10/07 10:35	181	0,0074	15/01/08 10:08	0,006	0,013	-5,181	-4,370
7	06/11/07 10:33	237	0,0218	19/01/08 10:40	0,005	0,035	-5,319	-3,344
8	07/11/07 10:33	190	0,0091	07/02/08 12:08	0,010	0,050	-4,586	-3,005
9	17/11/07 10:15	271	0,0353	21/02/08 12:25	0,030	0,080	-3,517	-2,523
10	20/11/07 14:00	240	0,0228	19/04/08 13:30	0,036	0,157	-3,330	-1,853
11	18/12/07 12:10	197	0,0106					
12	05/01/08 12:15	191	0,0094					
13	28/02/08 12:05	264	0,0322					
14	04/03/08 8:30	237	0,0218					
15	05/03/08 9:55	241	0,0232					
16	15/03/08 12:05	206	0,0127					
17	25/03/08 9:31	193	0,0098					
18	19/04/08 13:20	278	0,0386					
Caudal Promedio Q_L: 0,019 m³/s				Promedio de sólidos en suspensión C_{ss}: 0,143 g/s				

Con los caudales y niveles del cuadro anterior se obtuvo la ecuación para el cálculo de los gastos líquidos, la misma que se formuló de la siguiente manera:

$$Q = 2E-11x^{3,818}$$

La ecuación es válida para niveles medidos con el sensor de presión que van desde los 170 mm en adelante, además se ha podido establecer que las variables experimentales en la realidad se ajustan a un modelo de tipo potencial cuyos coeficientes de R² y R (ver Figura 21.a) revelan claramente que el modelo estadístico aplicado es altamente satisfactorio.

da para el cálculo de los sedimentos en suspensión

ésta quedó determinada con la fórmula que se indica a continuación:

$$C_{ss} = e^{0,92(\ln x) + 1,226}$$

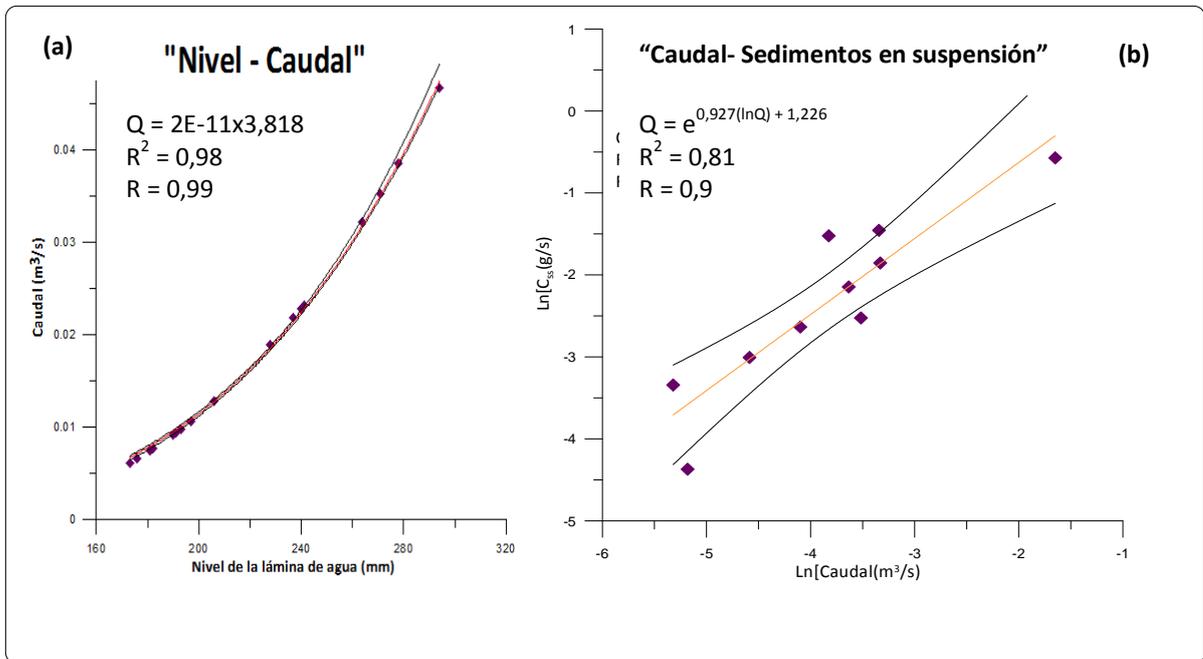


Figura 21. Curvas de calibración de descarga líquida (a) y sólida (b) para la estación Quebrada Cruces (ECQC), 2008.

Los valores con los cuales se obtuvo la curva de gastos líquidos presentan un excelente ajuste a la línea de regresión, verificándose, no sólo con los parámetros obtenidos sino además mediante los límites de confianza aplicados a éstos, pues como se observa en la figura anterior, los límites generados para la línea de regresión se ubican prácticamente en la misma línea, lo que indica que la estimación que se efectúe mediante la ecuación de caudales, contemplará un rango mínimos de datos dentro del cual se encuentra el valor verdadero, asegurando de esta manera que los gastos líquidos que se calculen con la ecuación obtenida, serán similares a los acontecidos en la realidad.

Con los valores correspondientes a los aforos sólidos expuestos en el Cuadro 2., y representados gráficamente en la Figura 21.b, se puede apreciar que, en general estos

versión que los caudales, no obstante, es importante tener en cuenta que el ajuste de la mayor parte de éstos a la línea de regresión tiene un aceptable nivel de correspondencia, pues el 82% de los datos revelan una variación conjunta entre los caudales líquidos y la cantidad de sedimentos en suspensión aportados por la sub-cuenca Cruces. Los datos que presentan mayor dispersión, en relación a la línea de regresión, pudieron haber sido influidos por el desprendimiento de material proveniente de la vía, pues la presente estación se encuentra a un costado de la carretera Loja-Zamora.

- **ESTACIÓN "QUEBRADA MILAGROS" (ECQM)**

Para determinar las relaciones entre nivel-caudal y posteriormente caudal-concentración de sedimentos en suspensión se partió de los datos contemplados en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Aforos utilizados para la calibración de las curva de gastos líquidos y de sólidos en suspensión en la Estación "Quebrada Milagros", Zamora Chinchipe, 2007-2008.

Nro	DATOS DE CAUDALES LÍQUIDOS			DATOS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN		
	Fecha/Hora	Nivel (mm)	Q _L (m ³ /s)	Fecha/Hora	Q _L (m ³ /s)	C _{SS} (g/s)
1	03/05/07 15:20	143	0,1160	07/11/07 12:00	0,155	1,41
2	03/05/07 17:00	187	0,1890	22/12/07 11:00	0,075	0,46
3	06/04/07 15:30	107	0,0539	06/01/08 15:21	0,519	2,50
4	09/05/07 15:45	319	0,7535	23/01/08 11:56	0,099	0,88
5	20/05/07 10:50	134	0,0785	07/02/08 13:40	0,292	0,07
6	26/05/07 11:40	100	0,0593	09/02/08 12:20	0,057	0,33
7	25/09/07 14:20	137	0,1980	23/02/08 12:30	0,317	0,01
8	17/11/07 12:05	108	0,1363	11/03/08 10:50	0,024	0,06
9	08/12/07 12:00	54	0,0472	19/04/08 12:30	0,513	0,75
10	15/01/08 10:35	39	0,0415	26/07/08 13:30	0,510	4,36
11	16/02/08 13:15	97	0,0747	30/07/08 11:10	0,156	2,02
12	23/02/08 11:30	80	0,0650	09/08/08 11:35	0,259	0,78
13	04/03/08 10:30	49	0,0396			
14	06/03/08 11:10	53	0,0414			
15	11/03/08 10:50	48	0,0349			
16	18/03/08 13:45	49	0,0326			
17	05/04/08 11:50	46	0,0393			
18	19/04/08 12:30	230	0,5130			
Caudal Promedio Q_L: 0,145 m³/s				Promedio de sólidos en suspensión C_{SS}: 1,13 g/s		

eriores se han ajustado los datos de niveles de agua y de caudales a una curva de tipo potencial, obteniéndose para la presente estación dos curvas, la primera es válida para el cálculo de caudales con niveles iguales o menores a 100 mm, mientras que la segunda curva será utilizada cuando el sensor registre niveles mayores a 101 mm, las expresiones se describen a continuación:

- Cuando $h \leq 100\text{mm}$:

$$Q = 0,00144x^{0,85}$$

- Cuando $h > 101\text{ mm}$:

$$Q = 6,74E-06x^{2,00}$$

Para la obtención de la ecuación de regresión de sedimentos en suspensión, se aplicó el modelo de regresión lineal, con el cual se formuló la ecuación que describe en términos matemáticos la relación entre estas variables:

$$C_{ss} = 7,175x - 0,033$$

A continuación, se presenta las gráficas, tanto de las curvas para los caudales líquidos como para los sólidos:

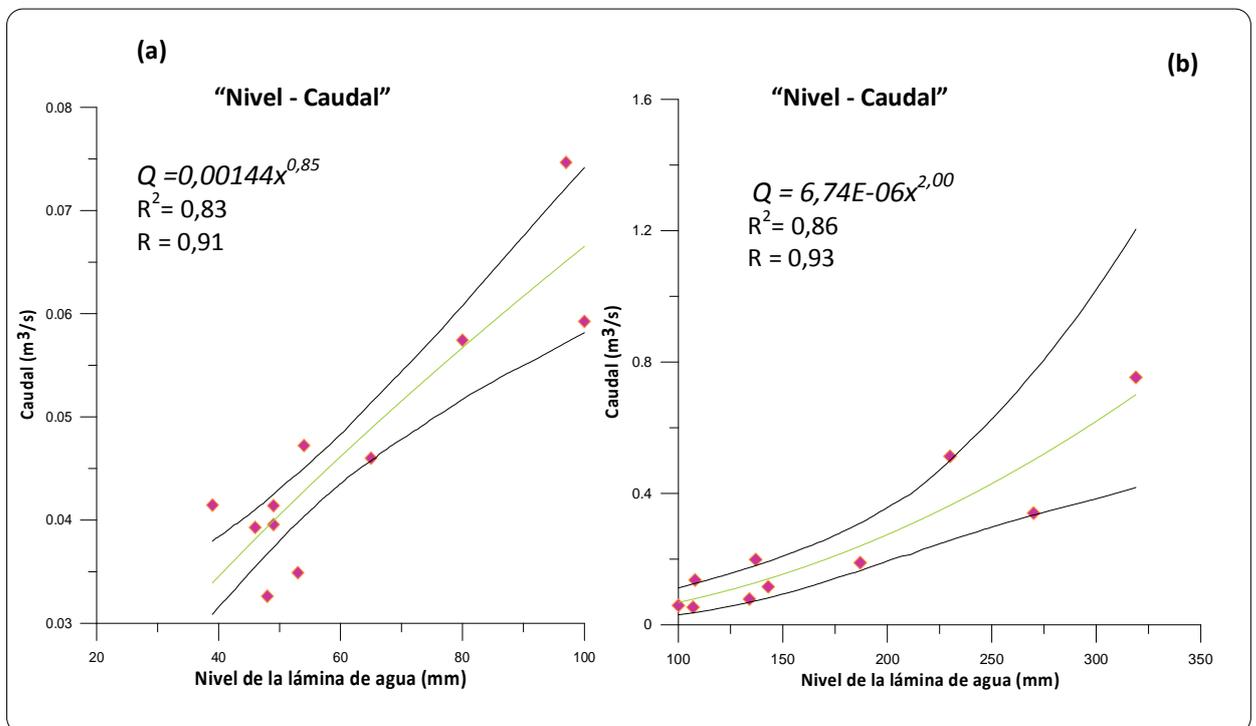


Figura 22. Diagramas de dispersión y ajuste de las curvas de descarga líquida, 2008.

observar que en la primera (22.a) alrededor del 60% de los valores se encuentran dentro de los límites de confianza calculados con un grado del 95 %, mientras que para la segunda curva (valores mayores a 101mm) el 90% de los valores experimentales se encuentran dentro de éstos intervalos, nótese que la relación entre nivel y caudal corresponde a una curva de tipo potencial; los coeficientes que determinan la validez estadística de estas curvas (R^2 y R) son iguales a: 0,83, 0,91 y 0,86, 0,93 respectivamente. En esa estación la obtención de dos curvas para el cálculo de caudales permite obtener datos más reales de caudales máximos y mínimos.

Por otro lado, en el grafico correspondiente a los sólidos suspendidos (Figura 23), se puede apreciar que las concentraciones durante el periodo de investigación presentaron una mayor dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia (lineal), a pesar de esta dispersión los coeficientes de validación son aceptables y son iguales a: 0,78 y 0,8 para R^2 y R respectivamente.

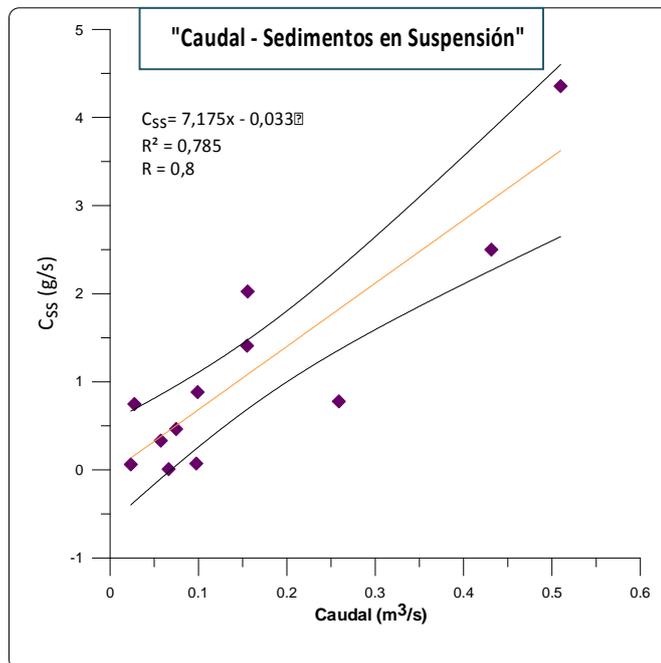


Figura 23. Curva de descarga sólida para la estación Quebrada Milagro, 2008.

Los datos de los aforos con los cuales se trabajó para construir las curvas de descarga para la Estación PL, se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Aforos realizados en la Estación "Planta Eléctrica", Zamora Chinchipe, periodo Abril 2007-Junio 2008.

Nro	DATOS DE CAUDALES LÍQUIDOS			DATOS DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN				
	Fecha/hora	Q (m ³ /s)	Nivel mm)	Fecha/hora	Q (m ³ /s)	C _{ss} (g/s)	Ln Q	Ln C _{ss}
1	07/04/2007 10:00	4,13	245	06/11/07 10:06	7,01	7257,46	2,61	8,89
2	11/04/2007 14:00	3,92	214	17/11/07 10:45	12,38	2139,65	2,52	7,67
3	29/04/2007 11:30	5,47	322	22/11/07 14:24	16,01	4007,83	2,84	8,30
4	18/05/2007 13:50	4,27	307	22/12/07 9:35	6,74	503,40	1,91	6,22
5	05/10/2007 9:06	2,58	221	31/12/07 14:20	3,25	78,89	1,18	4,37
6	12/10/2007 11:45	2,24	203					
7	16/10/2007 11:10	2,34	213	19/01/08 11:10	2,87	11,95	1,06	2,48
8	04/11/2007 15:00	1,94	190	23/01/08 11:02	2,61	10,99	0,96	2,40
9	07/11/2007 16:00	2,59	239	07/02/08 12:30	12,70	2354,46	2,71	7,76
10	04/12/2007 10:50	2,15	222	09/02/08 10:36	4,07	14,65	1,18	2,68
11	08/12/2007 11:00	2,83	241	16/02/08 12:15	9,59	692,55	2,26	6,54
12	12/12/2008 10:00	2,20	226	17/02/08 10:45	19,80	4784,95	3,22	8,47
13	15/01/2008 9:15	2,91	227	21/02/08 13:13	7,12	116,59	1,96	4,76
14	22/01/2008 9:30	2,42	266	23/02/08 12:50	5,20	34,20	1,33	3,53
15	09/02/2008 10:35	4,08	308	01/03/08 11:50	5,91	34,93	1,78	3,55
16	23/02/2008 12:50	5,22	346	11/03/08 12:04	3,00	29,21	0,75	3,37
17	04/03/2008 9:25	4,49	313	14/06/08 10:36	3,53	35,11	1,26	3,56
18	05/03/2008 17:10	3,46	284	16/06/08 9:30	16,30	7257,46	2,61	8,89
19	06/03/2008 12:30	3,78	269	17/0608-10:50	40,0	2139,65	2,52	7,67
20	11/03/2008 12:05	3,00	221					
21	15/03/2008 12:05	2,53	198					
22	29/03/2008 12:35	2,17	175					
23	05/04/2008 12:40	2,74	182					
24	30/04/2008 11:45	2,88*	231					
25	16/06/2008 9:00	16,36	632					
26	16/06/2008 18:30	26,27	768					
27	17/06/2008 9:50	40,47	914					
Promedio Caudal₁*: 3,18 m³/s				Promedio de sólidos en suspensión C_{ss}: 4159,07 g/s				
Promedio Caudal₂: 27,7 m³/s								

La estación ECPL, corresponde al último punto de aforo por lo tanto es el más importante, pues este recepta las descargas líquidas y sólidas provenientes de

La variación en sus caudales es muy interesante, de acuerdo a los registros obtenidos, se puede apreciar que existen caudales que van desde 1,9 m³/s en el mes noviembre hasta 40 m³/s en junio, permaneciendo para el resto de meses con relativa estabilidad (aprox. 3,18 m³/s); en cuanto a los sedimentos lo que se puede observar en general, es que éstos van en aumento de acuerdo al caudal, pero existen eventos en los cuales la cantidad de sedimentos transportada hasta la sección de aforo es considerable y no mantiene el patrón del resto de eventos, en estos casos se puede decir que la mayor parte de la carga sólida llega del aporte de las sub-cuencas Q. Navidades y Zurita donde se llevan a cabo actividades de extracción de pétreos, otra factor que pudo haber influido son los constantes deslizamientos en los márgenes del río, así como la erosión del lecho ocasionada por la velocidad del flujo.

A continuación se describen las ecuaciones que se utilizarán en lo posterior para la obtención de gastos en este sitio, la primera, que servirá para obtener caudales cuando el nivel de la lámina de agua registre valores menores o iguales a 350 mm y la segunda para caudales con niveles mayores a este valor. Al igual que en las curvas anteriores se logró un mejor ajuste utilizando la función de tipo potencial, por lo tanto las ecuaciones resultantes quedaron expresadas de la siguiente manera:

- Cuando $h \leq 350\text{mm}$:

$$Q = 0.0002x^{1.292}$$

y,

- Cuando $h > 350\text{mm}$:

$$Q = 3E-05x^{2.080}$$

Para la concentración de sólidos en suspensión, la ecuación quedó descrita de la siguiente forma:

$$C_{ss} = e^{2.862(\ln Q) - 0.043}$$

ueden observar cada una de las curvas establecidas para la estación de la Planta Eléctrica, (a) y (b) para descargas líquidas y (c) para sólidas

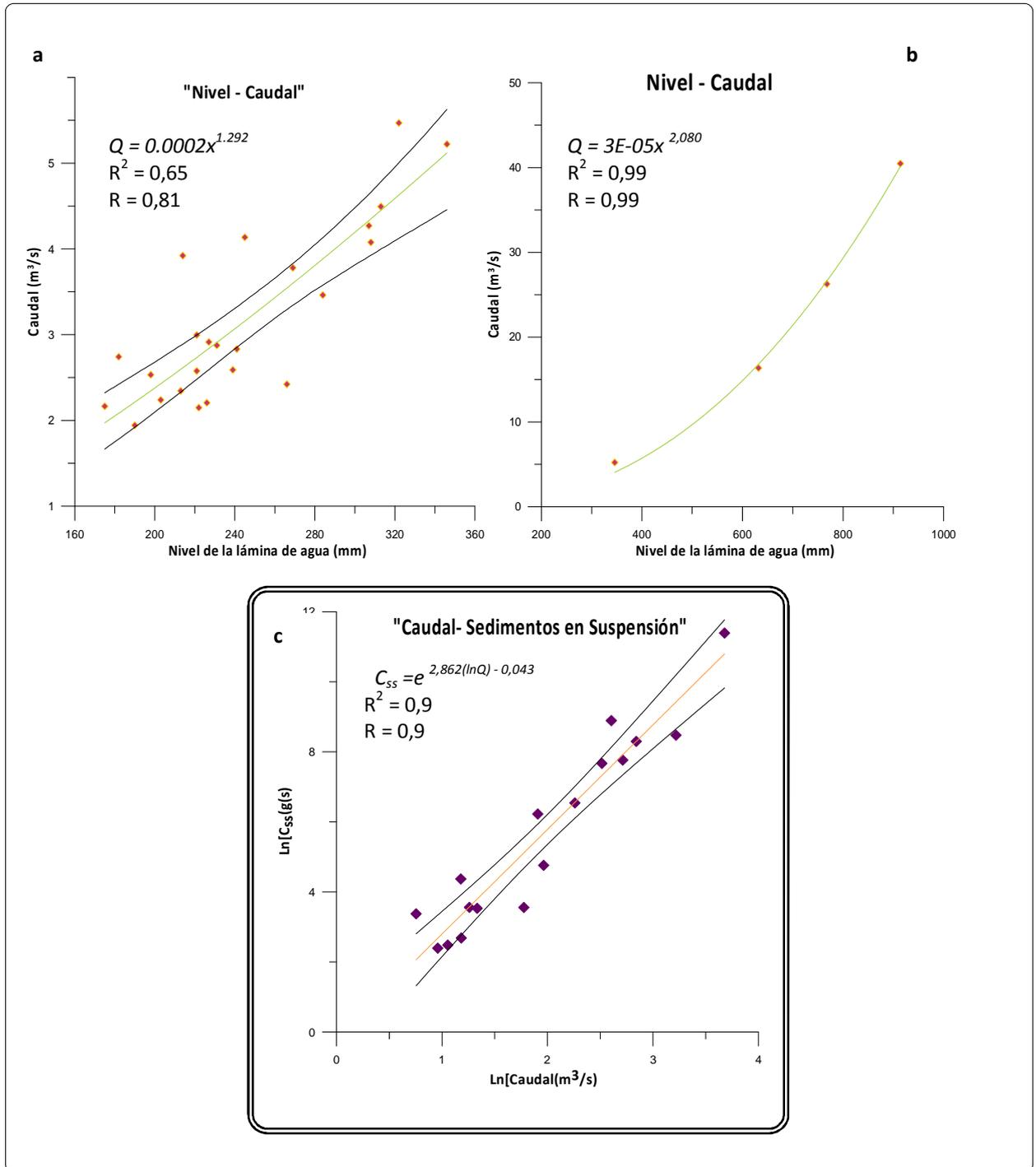


Figura 24. Curvas ajustadas para gastos líquidos y sólidos en la Estación "Planta Eléctrica", 2008.

sión correspondientes a las descargas líquidas, los eventos de máximos caudales fueron separados del resto de datos, ya que en este sitio los caudales varían significativamente, desfavorablemente para caudales máximos (b) solo se obtuvieron cuatro datos, pero, sin embargo éstos sirvieron para generar una ecuación que describe el comportamiento de caudales altos con respecto al nivel; los datos de la figura (a) muestran la dispersión en relación a la línea de tendencia en donde se puede observar que del total el 60% se agrupa dentro de los intervalos de confianza, de igual manera en la figura (c) podemos ver que en el mismo porcentaje anterior, los datos se encuentran dentro de estos límites y que la relación funciona para concentraciones sólidas superiores a 10,14 g/s, pudiendo aseverar que los modelos aplicados a los datos son altamente satisfactorios, pues éstos arrojan coeficientes de correlación de 0,81, 0,99 y 0,9 para las figuras a, b y c, respectivamente.

4.2. RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN Y NIVELES DE TURBIEDAD

Para establecer la relación entre las variables (turbiedad y sedimentos), se tomaron en cuenta, para la primera, los aforos realizados manualmente y los valores calculados con las ecuaciones de regresión, y para la segunda, los niveles registrados en cada uno de los sensores de turbiedad. Durante la fase experimental, se obtuvieron alrededor de 8 640 datos mensuales por cada sensor de turbiedad, de los cuales aproximadamente el 88% son erróneos. En las estaciones donde se llevó a cabo la investigación, se logró obtener un registro de niveles de turbiedad para un periodo promedio de cuatro meses, en los cuales, la mayor parte de los datos registrados por cada sensor fueron valores negativos y valores que sobrepasaron el rango permitido de medición (1000 NTU), las posibles causas que pudieron haber influido en los resultados son las siguiente²⁷: presencia de burbujas de aire, esta es la principal causa de error al determinar la turbidez cuando el flujo de los cauces presenta velocidades altas y cambios repentinos de dirección (como en ECFH, ECPL), también se debe tener en cuenta que la presencia de coloides, materia orgánica y minerales en el agua tienen gran influencia sobre los valores de turbiedad (Ver Tabla 2., en Apéndice 3), y el

²⁷ Tomado de: <http://members.tripod.com/Arturobola/turbi.htm>; Velasco, 2004 & Guideline of turbidity sensor.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

*il de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
"San Francisco", Zamora Chinchipe*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ue pueden dañar u ocasionar fisuras en los lentes del sensor, este último factor, pudo haber sido la causa más probable del averío ocurrido en las estaciones ECQC, ECPL y ECFH, pues este tipo de arrastre, en las estaciones mencionadas, se daba con relativa frecuencia. A continuación se presenta detalladamente para cada una de las estaciones de muestreo los datos obtenidos.

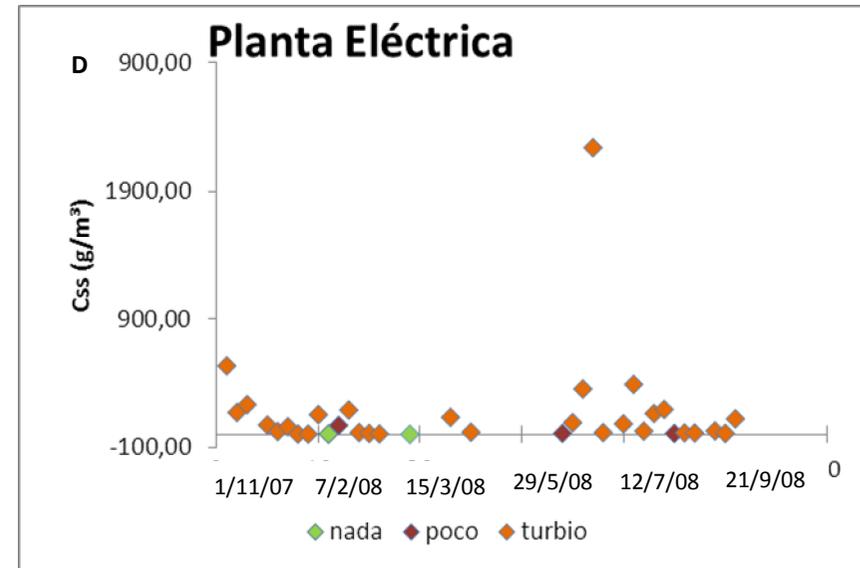
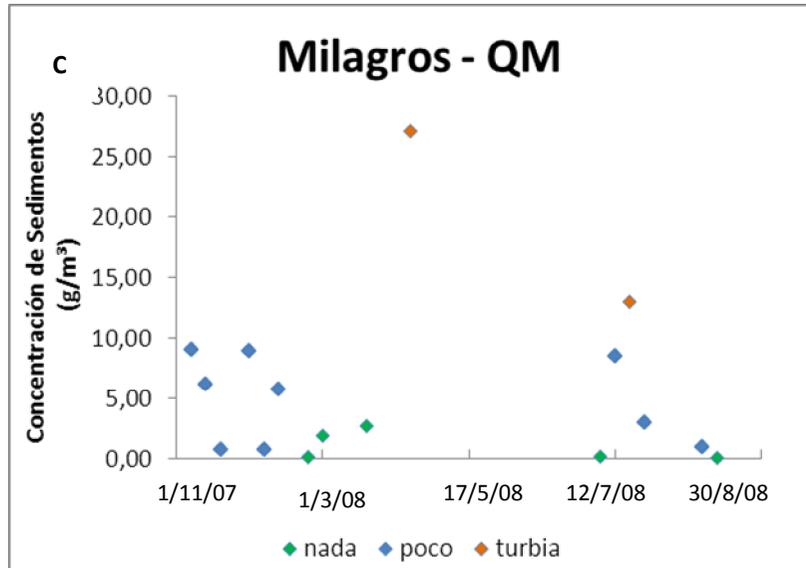
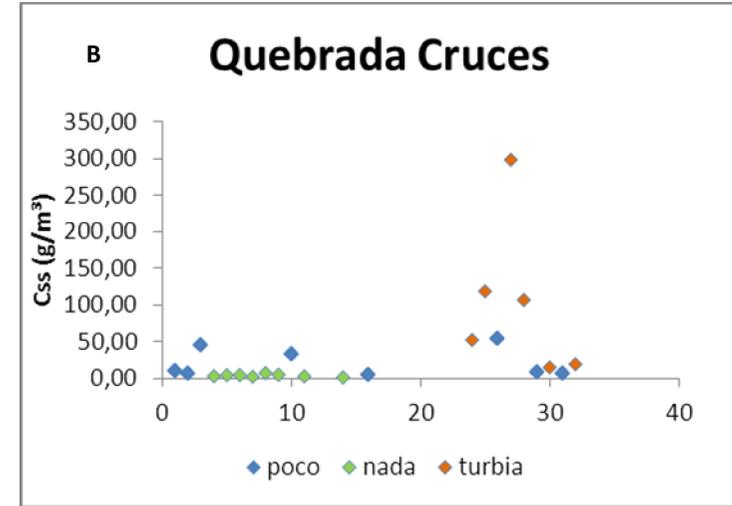
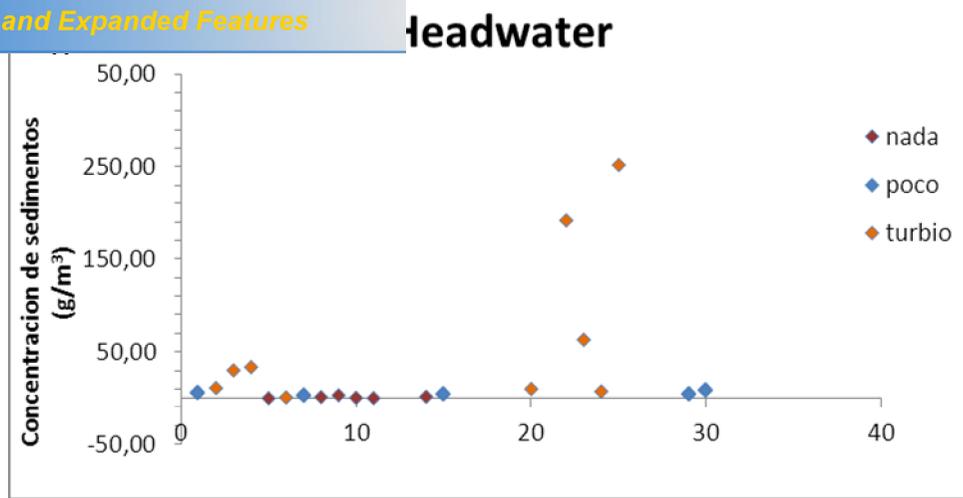


Figura 25. Determinación visual de la turbiedad y su relación con los sedimentos en suspensión, periodo 2007-2008.

la distribución de las variables en las gráficas de las estaciones ECFH, ECQC, ECQM, tiene una ligera similitud, pues la turbiedad que se observó, en su mayor parte presenta niveles bajos y medios, mientras que, por lo contrario en la estación ECPL (en donde existe un mayor número de datos determinados en el campo), se puede apreciar que los niveles de turbiedad son en su mayor parte altos, su ocurrencia pudo estar influenciada, básicamente, porque al ser el último punto de aforo en ésta se concentra la mayor carga de sólidos suspendidos proveniente de gran parte de las sub-cuencas que conforman este sistema hidrográfico.

En las gráficas (a, b, c y d) se puede apreciar a simple vista, que los *niveles de turbiedad tomados cualitativamente*²⁸ tienden a aumentar o disminuir de acuerdo a la variación de las cantidades de sedimentos en suspensión (Css), y es lógico pensar mientras mayor sea la Css mayor será la turbiedad; pero teóricamente este análisis no puede ser determinado mediante observaciones de campo, pues al ser la turbiedad un parámetro ocasionado por la dispersión de la energía lumínica a su paso a través del líquido, ésta solo puede ser medida usando técnicas ópticas, ya que las observaciones de campo solo sirven para tener una ligera idea de lo que puede ocurrir en relación a estas variables, teniendo que contar con datos cuantitativos para establecer la influencia real de los sedimentos en los valores de turbidez (Sun, *et al.* 2001).

Con estas referencias, se eligieron los valores de los sensores que no presentaban valores negativos, ni mayores a 1000 NTU y se construyeron las curvas de tendencia para cada estación, obteniéndose los siguientes resultados:

²⁸ En este caso se refiere a parámetros cualitativos determinados mediante observación: Niveles de turbiedad: Alto (turbio), Medio (poco turbio) y bajo (nada turbio).

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

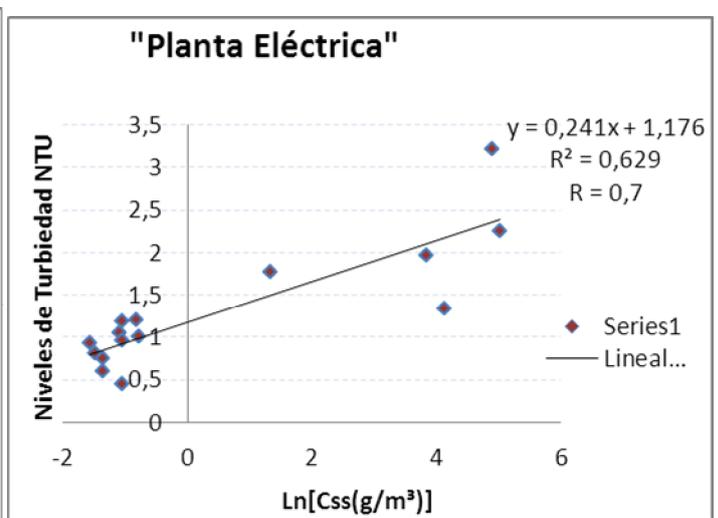
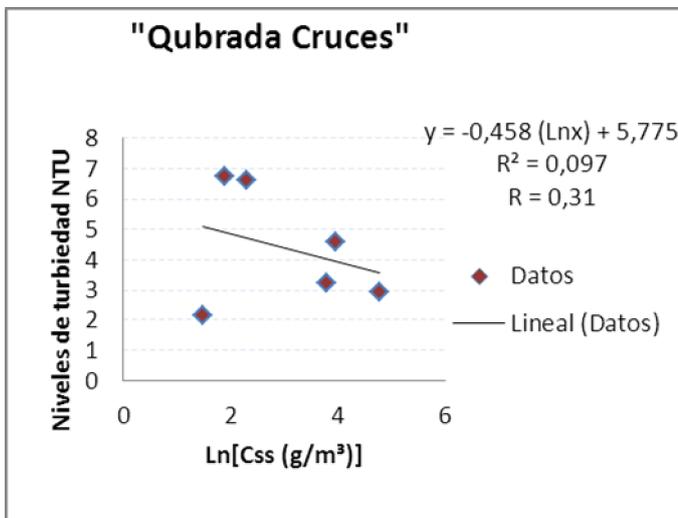
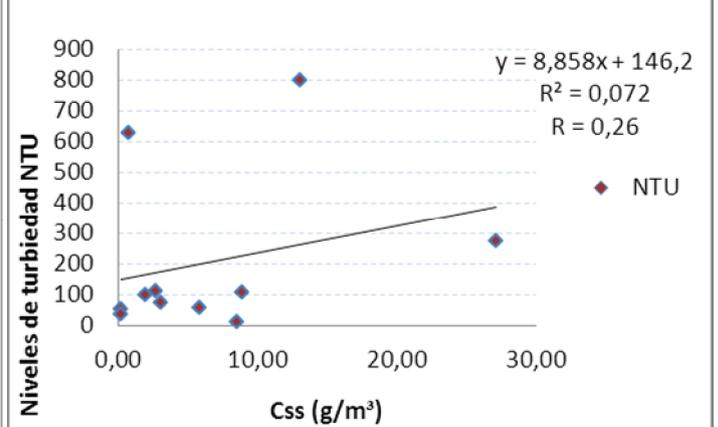
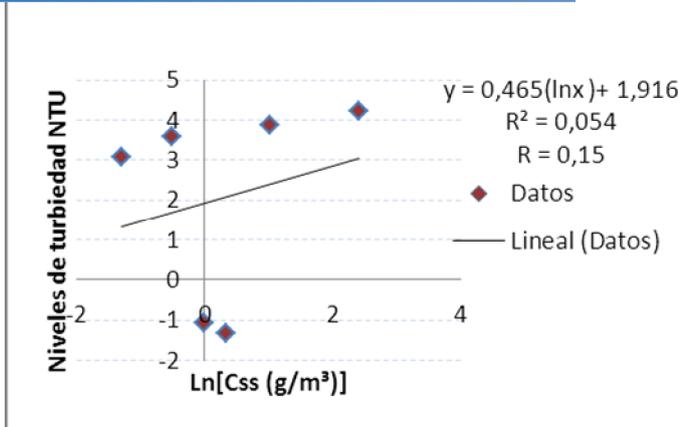


Figura 26. Diagramas de dispersión y curvas de tendencia para las estaciones en estudio, 2008.

Las curvas de tendencia indican que los niveles de turbiedad (obtenidos mediante los sensores WQ710) con respecto a C_{ss} , en las primeras estaciones tienen una correspondencia muy débil, pues se puede apreciar que los datos experimentales se encuentran muy dispersos con relación a cada una de las líneas de regresión, además los coeficientes de validación (R y R^2) presentan valores cercanos a 0 por lo tanto los modelos aplicados no son admitidos para determinar sedimentos en suspensión a partir de niveles de turbidez, sin embargo, en la estación correspondiente a ECPL, se puede observar que aunque los datos no tienen un buen ajuste a la línea de regresión existe una ligera correspondencia entre estas variables. En este caso, los resultados sugieren dos cosas: la primera que el fracaso de los modelos estadísticos se debe a la calidad de los datos de entrada, pues, los sensores no respondieron, por lo tanto los

...es, o que, la composición de los sedimentos es muy variada y por lo cual los niveles de turbiedad medidos varían en su precisión. Para determinar la primera suposición, a continuación se muestran gráficas de los valores registrados por cada uno de los canales que forman cada sensor:

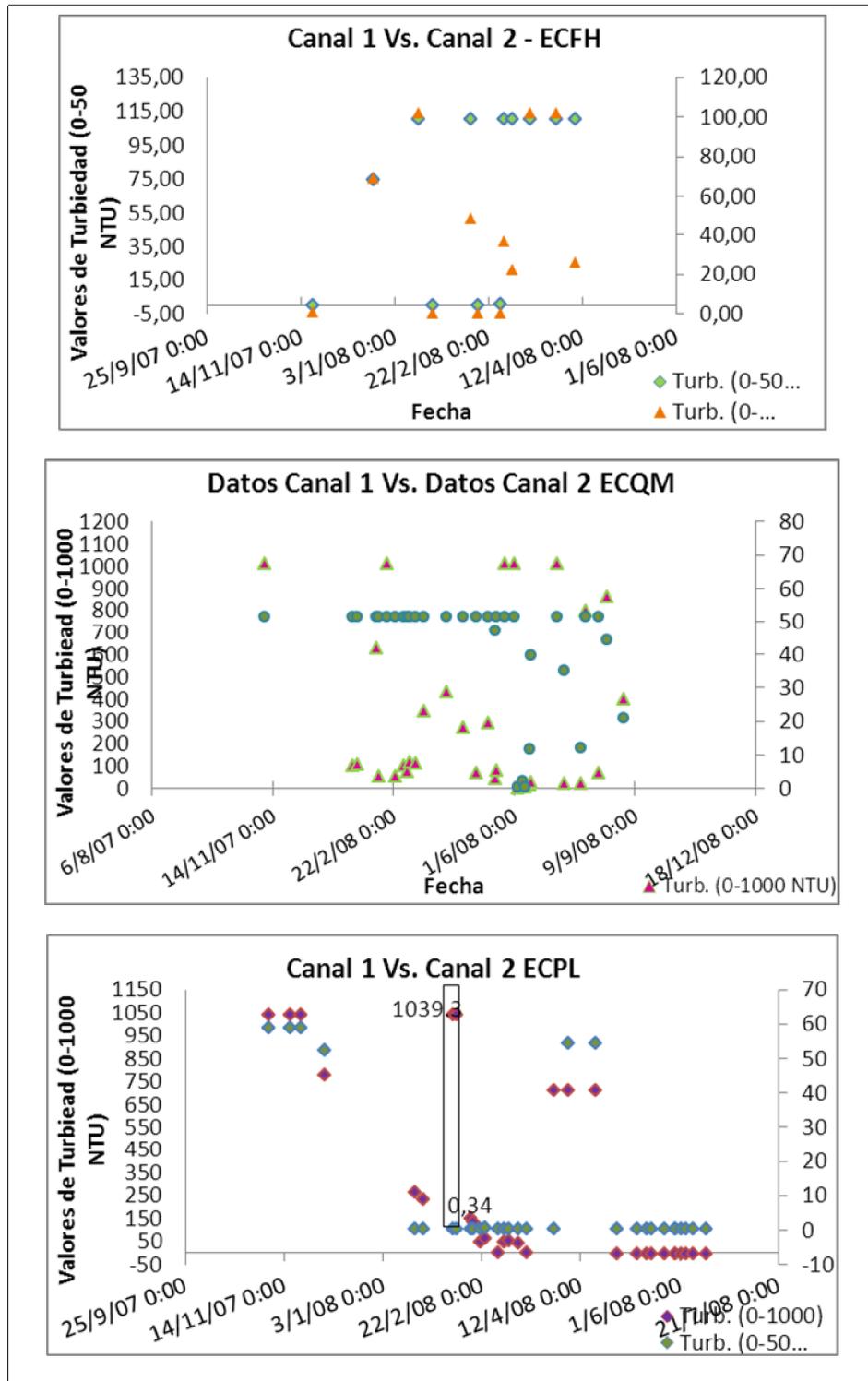


Figura 27. Distribución de los valores de los canales 1 y 2 de los sensor de turbiedad, 2008.

var que los datos registrados por cada uno de los canales de los sensores presentan variaciones, en muchos casos, exorbitantes, pues si bien es cierto aunque presentan rangos de medida diferentes, los valores medidos por ambos canales fueron efectuados en el mismo periodo (día y hora) y bajo las mismas condiciones, por lo tanto los valores registrados deberían haber tenido cierta similitud. Como estos sensores son susceptibles a cambios repentinos del color, también pudo éste haber sido un factor que influyó en las medidas. En la grafica correspondiente a ECPL, se puede observar cómo difieren los valores de un canal a otro, en el recuadro se puede apreciar que mientras el canal correspondiente a las mediciones de 0 – 50 NTU registra 0,34 NTU el otro canal (0-1000) registra valores superiores 1000 NTU, en la mayoría de los sitios de investigación, los sensores pudieron haber sido afectados por factores como la gran cantidad de sedimentos de fondo que durante el periodo de investigación se observó en cada una de las estaciones.

4. 3. VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

En primer lugar se realizó la caracterización morfométrica de cada una de la subcuencas de estudio, con la finalidad de tener una visión teórica del comportamiento hidrológico, para lo cual se calcularon los siguientes parámetros:

Cuadro 5. Parámetros morfométricos de la Sub-cuencas del Rio San Francisco, 2008.

Parámetros de Forma	C. San Francisco	Sbc. ECFH	Sbc. ECQC	Sbc. ECQM	Sbc. ECPL
Rango Altitudinal	1600-3200	1880 -3200	1800 -2520	1760-2640	1680-3200
Área (km ²)	84,15	34,96	0,76	1,32	76,9
Perímetro (km)	41,139	36,72	4,7	7,36	49,9
Longitud Axial (km)	13,14	7,89	1,5	2,5	10,76
Long. Cauce (km)	17,7	11,08	1,89	3,5	14,8
Longitud de drenaje (Km)	104,28	42,62	1,89	3,5	95,0
Factor de forma	1,25	1,24	1,08	1,79	1,59
Parámetros de Relieve					
Pen. Med. Cauce (%)	8,9	9,3	23	21	8,1
Pen. Med. Cuenca (%)	50	47	50	55	58
Altitud media (msnm)	2451,6	2350,5	2173,5	2209,4	2400
Parámetros de Drenaje					
Dens. Drenaje (km/km ²)	1,23	1,22	2,4	2,6	1,23

una cuenca pequeña que cuenta con una superficie de 84,15 Km², presenta una forma que tiende a ser oval- redonda lo que implica que en época de lluvias de alta intensidad, ocurran crecidas de magnitudes considerables y en tiempos relativamente cortos, presenta una pendiente media de 50% la misma que indica que su relieve es bastante accidentado, este parámetro es importante porque tiene mucha influencia sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, pues mientras mayor sea la pendiente media, la velocidad del flujo en la superficie aumenta afectando notablemente el periodo de infiltración y aumentando la escorrentía superficial, lo que a su vez ocasiona que el tiempo de concentración sea más corto, para esta cuenca en particular la respuesta frente a un aguacero es de aproximadamente dos horas²⁹.

Además tiene una pendiente media del cauce equivalente a 8,9%, por lo que se puede decir que presenta un flujo de tipo torrencial, propio de las cuencas de montaña, el mismo que se caracteriza por las altas velocidades y la gran capacidad de transporte de sedimentos. En lo concerniente a la red hidrográfica de este sistema, los cauces en su mayor parte se concentran en la cuenca alta y media con patrones de flujo dendríticos y valores de la densidad de drenaje equivalentes a 1,23 que muestran que la cuenca presenta un drenaje normal. En general los cursos son de régimen hidrológico permanente, es decir que son corriente que conducen agua todo el tiempo y siempre están alimentadas, totalmente o en parte por aguas subterráneas (Aparicio, 2001).

- **Análisis Espacial:** Teniendo en cuenta que los procesos de erosión son el resultado de una serie de fenómenos complejos, los mismos están íntimamente asociados con las características geo-litológicas, morfológicas e hidrológicas locales, se consideró, para la caracterización espacial del fenómeno de producción de sedimentos en suspensión, cuatro sub-cuencas, las mismas que se detallarán a continuación:

²⁹ El tiempo de concentración (respuesta hidrológica) fue calculado mediante la ecuación que plantea el método californiano.

Esta zona tiene una superficie de 34,96 Km², cuenta con una red de drenaje que alcanza los 42,6 km, cuya densidad es igual a 1,2; lo que indica que al igual que en toda la cuenca, en esta sub-cuenca existe un buen sistema de drenaje de las aguas provenientes de las precipitaciones. En relación a su ubicación esta zona se encuentra antes de la estación de aforo ECFH que corresponde la parte alta de la cuenca, presenta dos tipos de formaciones geológicas: Chinguinda-Isimanchi (Paleozoico, Triásico) y unidad Chinguinda-Sabanilla³⁰. Su cobertura vegetal en su mayoría está dominada por Bosque lluvioso Montano (parte media y baja de la sub-cuenca) y Matorral húmedo montano y páramo (Parte alta). Se distribuye en un rango altitudinal comprendido entre los 1800 y 3200 msnm y presenta pendientes de aproximadamente 47%.

Durante el periodo Junio 2007 - Mayo 2008, para la presente estación, se calculó una producción de sedimentos en suspensión equivalente a 3 038,61 toneladas, con una degradación específica de 86,9 ton/km²/año. Teniendo en cuenta que esta sub-cuenca es equivalente al 43% de la superficie del Sistema Hidrográfico "San Francisco", se puede determinar que al ser su aporte del 9,2% del total de sedimentos generados a nivel de la cuenca, su estado de conservación es relativamente bueno, pues el alto grado de endemismo, en relación a su flora como a su fauna, ha permitido que se lo catalogue como un área de alta prioridad para la conservación, razón por la cual forma parte del Parque Nacional Podocarpus (PNP)³¹.

Sin embargo, es importante tener en cuenta, que siendo el área con menor intervención, produce anualmente cinco veces más sedimentos en suspensión por cada km² que el área de pastizales, las causas pueden estar sujetas principalmente a las particularidades de los suelos que caracterizan a cada una de estas zonas, pues en la estación ECFH, los suelos presentan mayor nivel de saturación que en ECQC, lo que ocasiona que se produzcan escorrentías con mayor rapidez, ya que la lluvia al caer sobre un suelo húmedo alcanza

³⁰ Tomado de Base de Datos Microrregión: òFormaciones Geológicasö.

³¹ Información obtenida del Proyecto Microrregión: òImportancia Ecológica y Formaciones Vegetalesö.

de infiltración final. A menudo la erosión y la cantidad de lluvia que cae en una estación o en un año están relacionadas con este factor. (Wischmeier y Smith, 1958).

- **Subcuenca (ECQC):**

Este sitio se encuentra en la parte nor-oriental de la cuenca, se distribuye desde los 1800 a 2520 msnm, tiene una superficie de 0,76 km² lo que representa el 0,9% de la Cuenca y aproximadamente es equivalente al 18,3% de la superficie que se encuentra cubierta por pastizales, se caracteriza porque gran parte de su extensión ha sido intervenida y su cubierta vegetal predominante son los pastos aunque también existen pequeños remansos de bosque en la parte más alta, en este sitio se desarrolla como actividad productiva la ganadería.

Los resultados obtenidos en esta estación muestran que a pesar de ser una zona altamente intervenida el aporte de sedimentos es mínimo (Ver Figura 28), pues anualmente esta sub-cuenca genera 2,23 toneladas, lo que sugiere que la estructura y los agregados que forman los suelos en este sitio son estables, además, tal como lo cita Evans (1980), las escorrentías y la propia erosión procedentes de buenos pastizales son realmente pequeñas, los escurrimientos son bajos debido a que las tasas de infiltración del agua a través de las superficies cubiertas de vegetación son altas en comparación con las del suelo desnudo (Woodward,1943), asimismo, cuando las gotas chocan contra la vegetación (pastos), éstas inhiben el movimiento de las partículas del suelo y reducen la velocidad del agua corriente, disminuyendo así el proceso de erosión.

- **Subcuenca (ECQM):**

Esta zona se ubica en la parte baja de la Cuenca "San Francisco", se encuentra cubierta por Bosque Montano en la parte baja y Paramo en la parte alta pero a diferencia de la primera, ésta presenta pendientes más pronunciadas (inclusive mayores a 70%) y condiciones hidroquímicas distintas³². Tiene una extensión de

³² De acuerdo estudios preliminares realizados por los investigadores del Grupo Frede-Bauer.

lia de 2209,4 msnm; en relación a los suelos, según Schrupf (1999), éstos pertenecen al orden de los Inceptisoles y en consecuencia son suelos jóvenes, poco desarrollados que generalmente se localizan en sectores húmedos, éstas características establecen, que pueden estos suelos, tener menor estabilidad que los suelos maduros, por lo tanto su nivel de erodibilidad disminuye ya que este factor se relaciona esencialmente con la estabilidad de los agregados de la superficie (citado en Kirby y Morgan, 1980)

A pesar de que se esperaba que en ese sitio el aporte de sedimentos sea menor que en ECQC, el cálculo efectuado dio como resultado un total de 23,4 toneladas anuales de sedimentos que equivalen al 0,07% del total y una degradación específica de 17,7 ton/km²/año, las causas probables de este suceso pueden deberse principalmente al tipo de suelo y las fuertes pendientes que caracterizan este sitio, pues uno de factores que tienen gran influencia en la variación de la producción de sedimentos es precisamente el relieve, además de los parámetro climáticos (precipitación, escorrentía)³³ que pudieran estar ocasionando un desgaste paulatino de la capa superficial del suelo.

- **Subcuenca (ECPL):**

Corresponde a la última zona de estudio, ésta abarca los tres sitios anteriores y por eso se la considera la zona más importante. Su extensión es de aproximadamente 76,92 km² y corresponde el 92% del total de la cuenca, en este sitio se encuentra la última estación de aforo y es en donde se ha realizado el cálculo de sedimentos en suspensión para toda la Cuenca "San Francisco". Si se observa el Cuadro 6, a simple vista se distingue que el valor calculado para esta zona es demasiado elevado (P_{ss} : 33 051,5 ton/año y D_e : 429,2 ton/km²/año) considerando que el nivel de conservación de la cuenca es bastante bueno, la razón por la cual se tienen estos valores principalmente se debe a la explotación de pétreos que tiene lugar aguas arriba en el sector denominado Zurita y

³³ Ahnert, 1970, Stallard, 1988, Pinet y Souriau, 1988, citados en Restrepo, 2005.

Como se puede apreciar en la figura ilustrada a continuación nos podemos dar cuenta que aproximadamente el 90% de sedimentos en suspensión proviene de las zonas que no se han considerado en este estudio, básicamente, se intuye que la procedencia de la mayor cantidad de sedimentos son consecuencia de las actividades mencionadas anteriormente en las quebradas señaladas, en general estas actividades aumentan el material sólido que llega al río. Otro factor que sin duda influye en el proceso de producción de sedimentos, son los deslizamientos que se llevan a cabo en los márgenes del río, eventos que aumentan su ocurrencia en épocas invernales (ver Figura 32., en Apéndice 3).

Cuadro 6. Características de cada zona en estudio y su respectivo aporte de sólidos en suspensión, Loja, periodo 2007-2008.

Zonas o Subcuencas	Cubierta Vegetal* (%)	Actividades de protección y/o productivas	Área total de la zona en estudio Km ²	Pss Ton/Año	De Ton/Año/Km ²
ECFH	Bosque	Protección	34,96	3038,61	86,92
	Páramo				
ECQC	Pastizales	Ganaderas	0,76	2,23	2,94
	Bosque				
ECQM	Bosque	Protección	1,32	23,44	17,75
	Paramo				
ECPL	Bosq./Paramo	Mixtas	76,90	33051,30	429,18
	Area Interv.				

Pss: Producción de Sedimentos en suspensión

De: Degradación Específica

* Valores aproximados

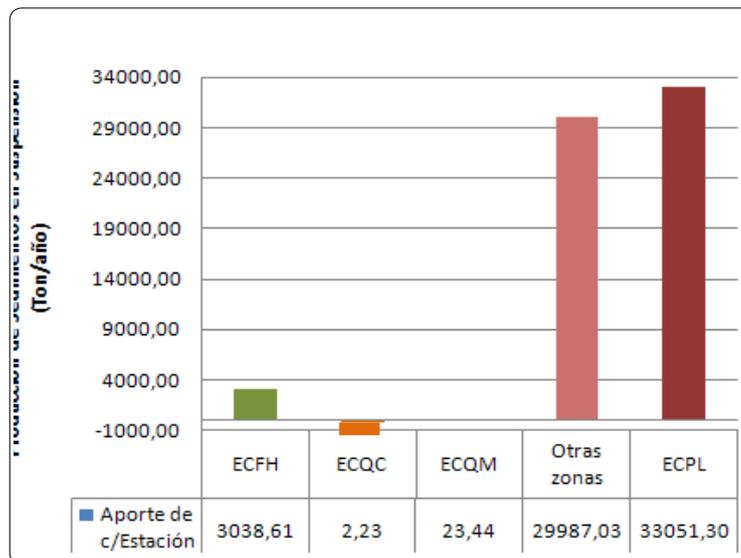


Figura 28. Producción de sedimentos en suspensión por cada sub-cuenca, 2007-2008

la figura y cuadro anterior, existe una marcada diferencia en cada una de las áreas estudiadas, las variaciones en relación a la producción de sedimentos son el reflejo de las condiciones de cada zona, incluyendo clima, suelos, topografía, vegetación, y uso de la tierra. De acuerdo con Restrepo (2005), usualmente los dos últimos parámetros tienen mayor impacto sobre la cantidad de sedimentos en una región hidrográfica, pues estas características controlan las propiedades de demanda de evapotranspiración, tasas de infiltración y por lo tanto la cantidad e intensidad de escorrentía expresada en reducciones de agua o en aumentos del caudal durante eventos o flujos extremos, lo que a su vez ocasiona que la tasa de sedimentos aumente o disminuya, respectivamente.

- **Análisis Temporal:**

Una vez obtenidas las precipitaciones medias diarias y mensuales para los meses comprendidos entre Junio 2007 y Mayo 2008, se establecieron los periodos de máximas lluvias (Junio, Agosto, Septiembre, Noviembre, Febrero-Mayo) y de estiaje (Julio, Octubre, Diciembre-Enero) con los cuales se estableció el comportamiento de los sedimentos en suspensión en relación a las estaciones climáticas. Según los registros de las precipitaciones en este periodo, se puede evidenciar que se trata de un año lluvioso que presenta una distribución de precipitaciones diferente a años anteriores (de acuerdo a los registros del 1997-2000, las estaciones de lluvias y seca presentaban una tendencia definida, ver p.54), con picos inusuales en los meses de Noviembre y Febrero y escasez de lluvias en el mes de Julio.

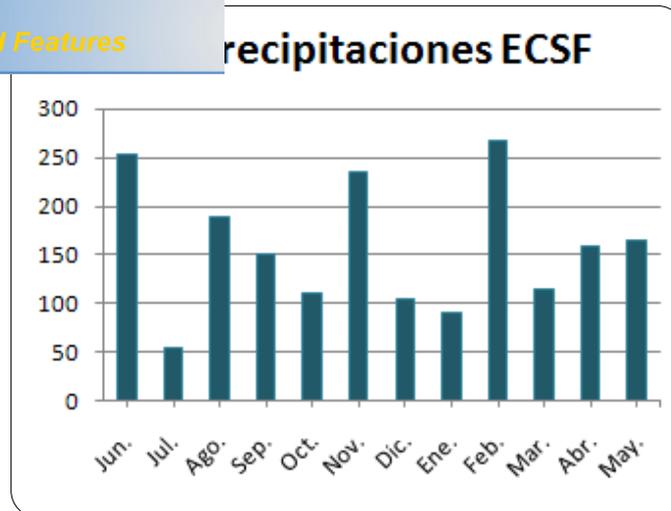


Figura 29. Precipitaciones medias mensuales de la estación "San Francisco" periodo Junio 2007- Mayo 2008.

A escala global, los estudios sobre la variabilidad temporal de la producción de sedimentos se han orientado a identificar los parámetros naturales que controlan este proceso, pero, sin embargo, aún existen ciertas divergencias en cuanto a qué factores ocasionan mayor impacto en este proceso hidrológico, algunos investigadores concuerdan en que, la producción de sedimentos es controlada principalmente por factores como: la actividad tectónica y la configuración del relieve, en tanto que parámetros climáticos como precipitación, escorrentía, temperatura, presentan un papel secundario al explicar la variación en la producción de sedimentos (Ahnert, 1970, Stallard, 1988), otros autores sugieren que el proceso depende de la precipitación media anual, con una respuesta ampliamente regulada por la cobertura vegetal y el tipo de clima dominante (Holeman, 1968, citado en Restrepo, 2005). No obstante investigaciones más recientes, sugieren que la producción de sedimentos es más una función de un conjunto combinado de parámetros físicos que de un solo factor en particular. En la presente investigación se tomó en cuenta la variabilidad de los sedimentos en suspensión en función de los caudales y las precipitaciones; en las graficas ilustradas a continuación, se puede observar cómo en la mayor parte de estaciones, el fenómeno varía de un periodo climático a otro y con descargas específicas de agua, también cómo influyen las actividades inducidas por el hombre en estos procesos.

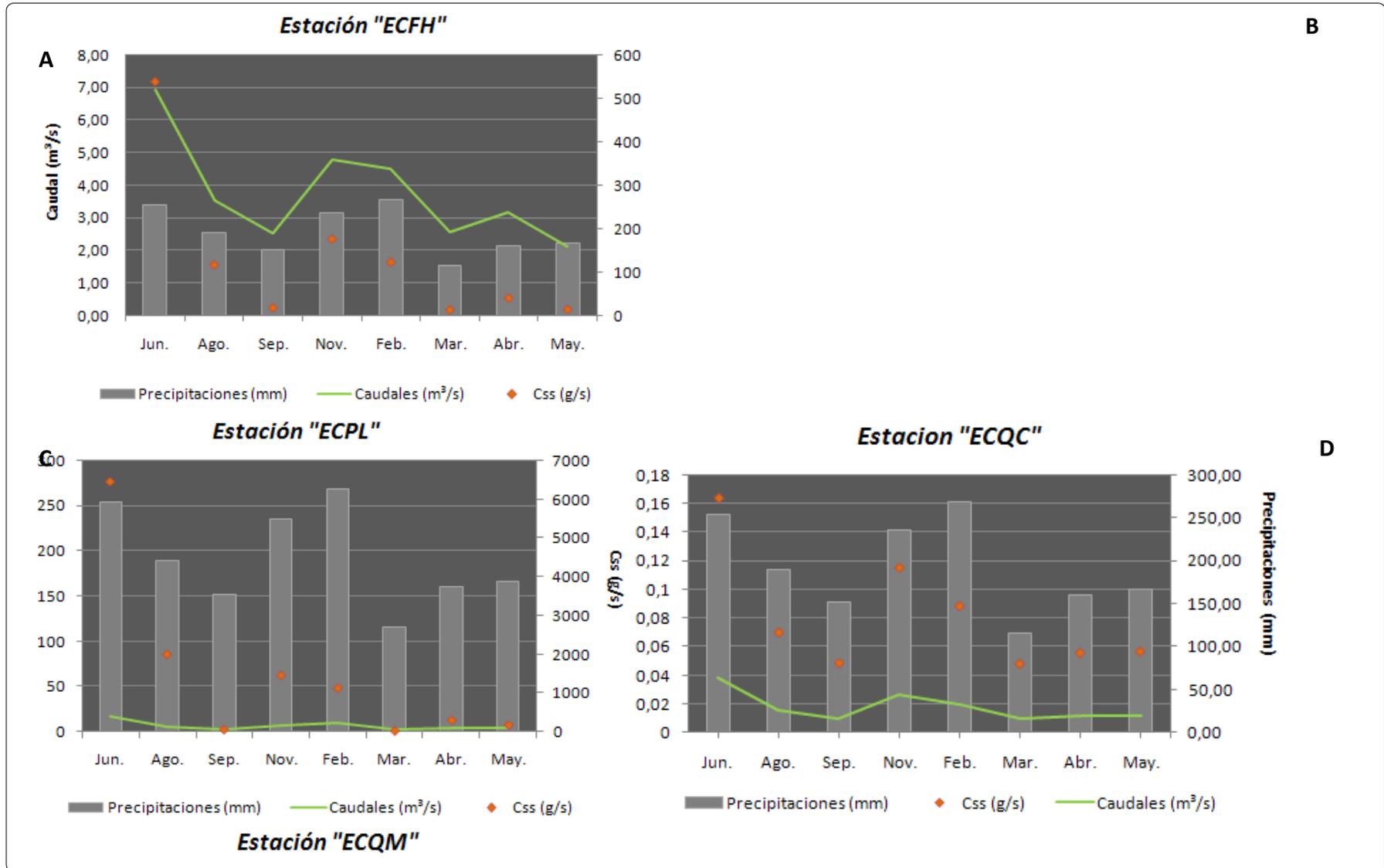


Figura 30. Variabilidad de los sedimentos suspendidos en relación a caudales y eventos de fuertes precipitaciones, periodo 2007-2008.

gráficas expuestas en la figura anterior, se puede

apreciar, que la variabilidad temporal de los sedimentos en suspensión presenta una fuerte dependencia con el caudal, pues a medida que éste se incrementa, el sistema fluvial es más eficiente y por ende más competente para transportar mayor cantidad de carga sólida en suspensión. En las gráficas a y c de la Figura 30, es mucho más evidente cómo el patrón de distribución de los sedimentos se relaciona con los caudales y éstos a su vez con las precipitaciones, pues si se observa el comportamiento de estas variables en los meses de Junio, Noviembre (2007) y Febrero (2008), donde se registran los mayores eventos, tanto de caudales como de precipitaciones (ver Apéndice 3, Cuadro 8), se puede apreciar claramente como en las estaciones -ECFH y ECQC- se incrementa visiblemente el valor de los sedimentos en suspensión llegando a concentraciones de hasta 536,6 y 0,16 g/s respectivamente.

En el caso de ECPL, el patrón de distribución es el mismo pero presenta ciertas particularidades, pues en la gráfica b, se puede apreciar que para el mes de Junio el incremento de la carga sólida en suspensión es exorbitante con valores que llegan a 6 439,2 g/s, pues este punto aforo además de recibir toda la carga que aporta cada una de las sub-cuencas que conforman el sistema, está expuesto a procesos de erosión propia de los cauces, así como los deslizamientos ocasionados en los márgenes del río e incremento de sólidos por actividades mineras.

Por otro lado, en cuanto a la producción de sedimentos y su relación con las precipitaciones, si se observa el Cuadro 9, expuesto en el Apéndice 3, se muestra claramente que la relación media entre el aporte de las cuatro estaciones y las precipitaciones es del 66%, lo que sugiere que aproximadamente en este porcentaje varía la carga sólida en relación a los eventos de máximas lluvias, y el porcentaje restante de sedimentos puede estar influenciado por procesos que ya se han mencionado anteriormente.

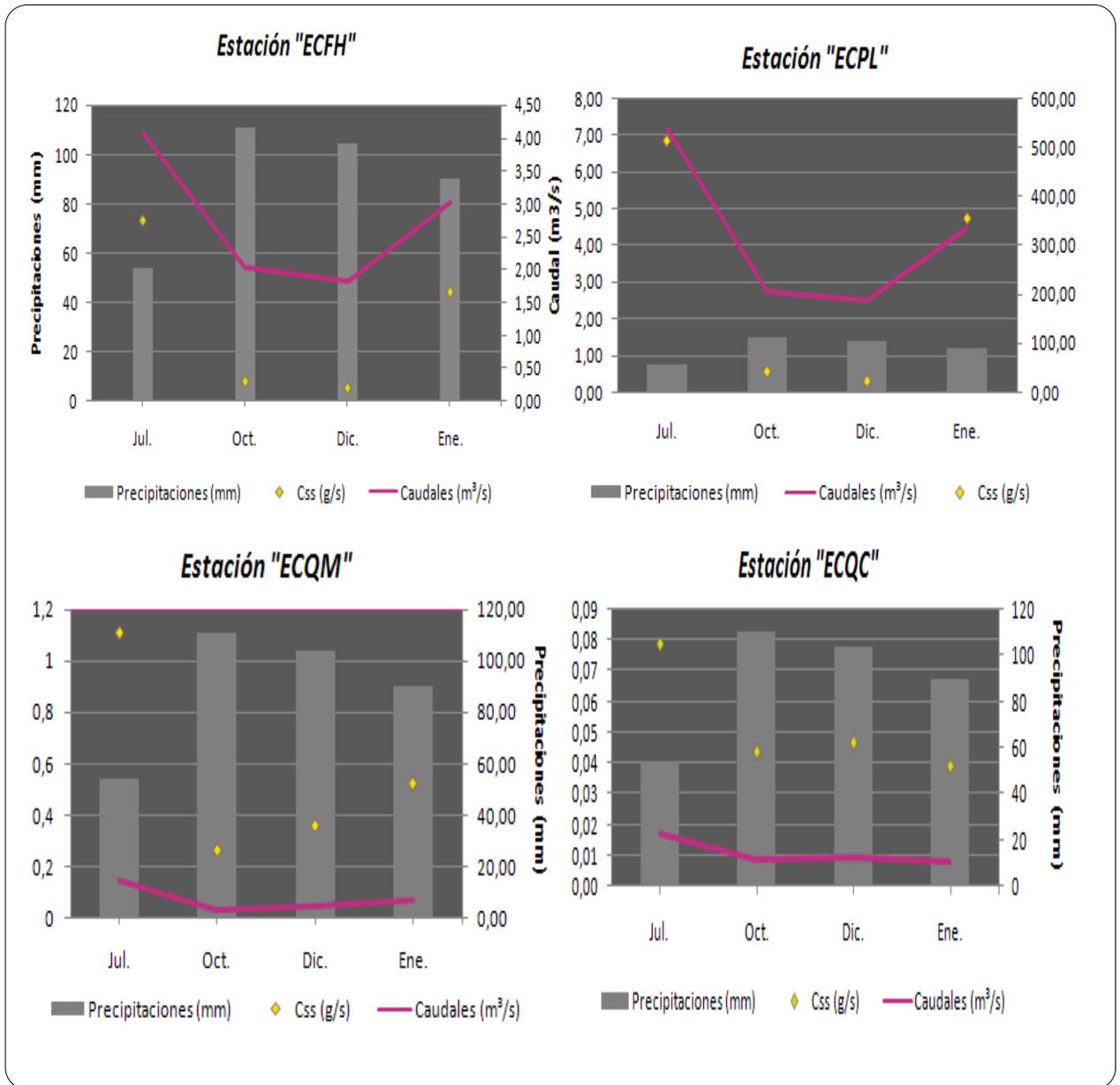


Figura 31. Variabilidad de sedimentos en suspensión durante el periodo de estiaje, 2007-2008.

Los meses más secos registrados durante el periodo Junio 2007-Mayo 2008, correspondieron a julio, octubre, diciembre y enero de los cuales el mes con menor precipitación fue julio con 54,3 mm (Registros de PREDICT), al observar la gráfica se puede apreciar que, al igual que en el periodo lluvioso, las concentración de los sedimentos suspendidos se encuentran en su mayor parte, en función de los caudales. Lo curioso en este periodo, es que a pesar de que las lluvias son relativamente escasas,

ales considerables, con valores máximos de 7,15 m/s

en ECPL.

4.4. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN GENERADO EN LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO

La tasa anual de sedimentos en suspensión que se produjo durante el periodo mencionado anteriormente fue de 33 051,3 ton., este valor fue calculado mediante las ecuaciones de regresión elaboradas en el objetivo uno. Obtenido este valor, se creyó conveniente utilizar la metodología de Fleming para confrontar los resultados, esta metodología arroja el valor de la tasa anual de sedimentos en suspensión en función al caudal medio anual (en pies³) considerando la cubierta vegetal (Ver tabla 1, p.46).

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Cuadro 7. Cálculo de la tasa de Producción Anual de Sedimentos en Suspensión mediante el uso de dos metodologías para la Cuenca San Francisco, 2009.

<i>Pss (ton/año)</i>	<i>Pss (ton/año)</i>	<i>Error (%)</i>
<i>Datos Reales</i>	<i>Ecuación de Fleming</i>	
33 051,5	25 817, 6	22 %

De los resultados que se exhiben en la tabla anterior, se puede inferir que la aplicación de la ecuación de Fleming resulta a simple vista, es razonablemente confiable, pues tiene bastante relación con los resultados obtenidos de manera experimental ya que el porcentaje de error es de 22%; sin embargo aunque el valor se asemeja al valor estimado, es importante tener en cuenta que esta metodología sólo considera como único parámetro en la determinación de la producción anual de sedimentos la cobertura vegetal, sin tomar en cuenta que existen otros parámetros que influyen en estos procesos, factores cuya influencia ha sido ampliamente abordada en cada uno de los acápites de la presente investigación, por lo tanto, los resultados obtenidos con esta metodología sirven únicamente como una base referencial de las dinámicas que se llevan a cabo dentro de un sistema hidrográfico.

v. CONCLUSIONES

La revisión conceptual que se ha llevado a cabo, sumada a los objetivos previstos y los resultados obtenidos han permitido establecer las siguientes conclusiones:

- Las ecuaciones propuestas para cada una de las estaciones en estudio (ECFH, ECQC, ECQM y ECPL), tanto para el cálculo de caudales líquidos como sólidos definen satisfactoriamente la relación entre las variables investigadas (nivel-caudal; caudal-sedimentos en suspensión) con valores de correlación comprendidos entre 0,81 y 0,9.
- De acuerdo a investigaciones y trabajos realizados en varias partes del planeta, en relación a las curvas de descargas líquidas, se ha podido establecer que los datos de caudales se ajustan de mejor manera a curvas de tipo potencial, ya que sus altos niveles de correlación permiten obtener cálculos muy cercanos a la realidad, en este estudio es posible corroborar esta teoría observando los modelos estadísticos presentados en el primer objetivo.
- El mayor aporte de sedimentos en suspensión, considerando la cubierta vegetal y las actividades antrópicas, revelan que la zona de pastizales (ECQC) presenta menor aporte de sólidos con una degradación específica de 2,2 ton/km²/año mientras que en zonas cubiertas con Bosque (ECFH y ECQM) los valores ascienden hasta 86 y 17, 7 ton/km²/año respectivamente.
- La tasa de producción anual de sedimentos en suspensión para la cuenca del Río San Francisco en relación a su estado de conservación es muy alta, ésta asciende a 33 051, 3 toneladas, de las cuales el 90% está asociado a las actividades extractivas que se llevan a cabo en la zona de Zurita y Navidades, deslizamientos en los márgenes del río y cambios en la morfología del cauce.

- El aporte realizado por la estación de mayor superficie ECFH, representa el 9,2% del total generado en la cuenca, lo que confirma que la mayor cantidad de sólidos se generan por actividades ajenas a los procesos naturales que controlan este fenómeno.
- La producción de sedimentos en suspensión, que aporta la cuenca del Rio San Francisco se incrementa notablemente en época de caudales altos, principalmente en la última estación, donde se ha registrado concentraciones de 2 139,6 g/s con caudales líquidos de 40 m³/s.
- Los valores de turbiedad obtenidos con los sensores, demuestran que este tipo de dispositivos no son aptos para estudios en ríos de montaña, pues presentan alta susceptibilidad a cambios en las medidas por diferentes factores como, las fluctuaciones en el color del agua, además la velocidad del flujo que interviene en las dinámicas de arrastre de fondo de los cauces, lo que a su vez ocasiona, en muchos casos, la ruptura o fisura de los lentes de los sensores.
- La metodología de Fleming arroja valores anuales de sedimentos en suspensión con un margen de error del 22%, considerando que esta ecuación sólo toma en cuenta la cubierta vegetal del sitio en estudio, se puede aplicar en ocasiones en las que no se cuenten con datos suficientes y para estudios en los que se necesite tener un valor de sedimentos en suspensión referencial.

VI. RECOMENDACIONES

- Considerando que, los valores de concentración son datos instantáneos que varían no sólo con el caudal líquido, sino con la profundidad de la toma de muestra, las mediciones de sedimentos deberían hacerse con instrumentos automáticos (por ejemplo: turbisonda o muestreadores láser), pues las colectas de forma manual siempre aumentan la incertidumbre en los cálculos. Esta situación se hace más crítica en época de avenidas, pues las mediciones se hacen más complicadas y los errores de seguro aumentan.
- Se debería, en lo posible, realizar un estudio minucioso de la composición de los sedimentos en suspensión recolectados durante este periodo de investigación para estimar su procedencia, asimismo seguir con el estudio de turbiedad, pues en investigaciones realizadas en otras partes del planeta se han obtenido datos altamente satisfactorios que en mucho de los casos se suelen utilizar para el monitoreo de ríos.
- Para estudios en los que se deba emplear sensores de cualquier tipo, se debe tener en cuenta las características de éstos y su validación en el campo, pues muchas de las veces se adquieren equipos que no satisfacen con las expectativas de los investigadores y demandan de costos elevados.
- Teniendo en cuenta que la producción de sedimentos en suspensión depende de múltiples factores de tipo climatológico, de relieve e hidrológico, se debería considerar el estudio más detallado de estos parámetros y su incidencia sobre el fenómeno en investigación.

VII. **BIBLIOGRAFIA:**

- ⊗ AGUIRRE, J. 1980. Hidráulica de sedimentos. Mérida, Venezuela. 267 p.
- ⊗ APARICIO, F. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México. 303 p.
- ⊗ ARBOLEDA, J. 2000. Teoría y práctica de la purificación *del agua*. McGraw-Hill. 3ra ed. Colombia. 793 p.
- ⊗ ARTIGAS, J. *et al.* 2006. Methodology to estimate the total sediment transport in mountainous river basins. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Venezuela 29 (3).
- ⊗ BATISTA, J. 2004. Transformar el uso de la tierra en cuencas hidrográficas para reducir el aporte de sedimentos a bahías, estuarios y desembocaduras de los ríos. (en línea). En: Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Consultado el 15 de Octubre del 2007, Formato html, Disponible en: <http://www.mappinginteractivo.com/prin-iber.asp>
- ⊗ BAVER, L; GARDNER, W.H; GARDNER, W. 1972. Física de suelos. México. p. 481.
- ⊗ BUSSMAN, R.W. 2001. The montane reforest of Reserva Biologica San Francisco (Zamora Chinchipe, Ecuador) - vegetation zonation and natural regeneration –Dic ErDE.
- ⊗ BUSSMAN, R.W. 2005. Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. Rev. peru. biol. 12(2): 203 – 216.
- ⊗ BUSSMAN, R.W. 2006. La Diversidad florística andina y su importancia por la diversidad cultural – ejemplos del norte del Perú y Sur del Ecuador. Lyonia (U.S.A) 10 (12):4-5.
- ⊗ CHÁVARRI, E. 2004. En Curso de hidrología aplicada: *Evapotranspiración*. Universidad Agraria la Molina. p. 1.
- ⊗ CHANSON, H. 2002. Hidráulica del flujo en canales abiertos. p. 205-206.
- ⊗ CHAPRA, S; CANALE, R. 1999. Métodos numéricos para Ingenieros. Capítulo 17: regresión por mínimos cuadrados. McGraw-Hill. 3ra ed. México. D.F. 965 p.
- ⊗ CHOW, V.T; MAIDMENT, D.R; MAYS, L. W. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia. 573 p.

- ⊗ COELLO, M. 2003. Estimación de la Producción y transporte de sedimentos en la cuenca alta del Río Yaque del norte y del río Guanajuma República Dominicana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE, Centro Agronómico Tropical de Enseñanza e Investigación. 68 p.
- ⊗ DIAZ, M. LOJÁN M. 2003. Fenología y propagación en vivero de especies forestales nativas del bosque protector "El Bosque". Tesis Ing. Forestal. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. p. 21.
- ⊗ FARIAS, H; BORSELLINO, M; PILAN M. 2003. Técnicas para la estimación de la producción de sedimentos en cuencas con escasos datos hidrológicos. aplicaciones en la región NOA. *En Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA 2003*. Argentina. s.p.
- ⊗ GOLLER, R. 2004. Biogeochemical consequences of hydrologic conditions in a Tropical Montane Rain Forest in Ecuador. Alemania. p. 11-12.
- ⊗ GONZÁLEZ, A. 1999. Fundamento de hidrología en superficies, Loja, Ecuador.
- ⊗ GUY, H. 1969. Techniques of water-resources investigations of the United States geological survey. Chapter C-1: Laboratory theory and methods for sediment analysis.USA. p. 12-13
- ⊗ HERAS, R. 1972. Manual de hidrología; La erosión y la sedimentación y técnicas específicas en Hidrología. Madrid, España. p. 15-16.
- ⊗ IROUME, A. 2003. Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la Cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile. *Rev. Bosque (Valdivia) 24 (1):125-135*.
- ⊗ KIRBY, M; MORGAN, R. 1984. Erosión de los suelos. Limusa, México. p. 141-157.
- ⊗ JIMÉNEZ, F. 2005. Gestión integral de cuencas actuales. CATIE Recursos, *Rev. Ciencia y Decisión*. No.2. s.p.
- ⊗ LINSLEY, R; KOHLER, M; PAULHUS, J. 1985. Hidrología para ingenieros. McGraw-Hill. 2da ed. México. 382 p.
- ⊗ LLAMAS, J. 1993. Hidrología general: principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. s.p.

⌘ MARCANO, Jose, en línea, Formato html. Disponible en internet:

<http://www.jmarcano.com/glosario/glosario.html>

⌘ MARTÍN, J. 1997. Hidrología Fluvial. Barcelona. España. 204 p.

⌘ MARTÍNEZ, M. R. et al. 2001. Relación sedimentos – erosión en la cuenca alta del Papaloapan. *En XI Congreso Nacional de Irrigación*. México.

⌘ MATOS, R. 1999. PEQUEÑAS OBRAS HIDRÁULICAS, CAPÍTULO 2: LA CUENCA ANDINA Y SU MANEJO SOSTENIBLE. EDICIÓN DE INTERNET. CONSULTADO EL 28 DE OCTUBRE DEL 2007. DISPONIBLE EN LÍNEA:

<HTTP://WWW.UNESCO.ORG.UY/PHI/LIBROS/OBRASHIDRAUL/CAP2.HTML>.

⌘ MONSALVE, G. 2002. Hidrología en la ingeniería. 2da ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 382 p.

⌘ NAREA, D; TAMAYO, M. 2006. Transporte de sedimentos en suspensión en ríos de montaña. Tesis Ing. Civil. Cuenca, Ecuador, Universidad de Cuenca, Escuela de Ingeniería. 365 p.

⌘ PORRAS, J.P. 2007. La cuenca hidrográfica. (en línea). Formato pdf. Consultado el 23 de Noviembre del 2007.

⌘ RAMOS, C.L. 2001. Modelamiento Ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva de la Cuenca media y alta del Río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Agraria La Molina. p. 6

⌘ RESTREPO, J.C; RESTREPO, J.D. 2005. Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos de la Cuenca del Río Magdalena. *Rev. Académica de Colombia* 29 (111): 239 – 254 p.

⌘ RESTREPO, J. D. 2005. Los sedimentos del río Magdalena; Reflejo de la crisis ambiental. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín. s.p.

⌘ RAFAELLI, S. *et al.* 1998. Estudio de la producción de sedimentos en la cuenca montañosa del Río Iruya (Argentina). *En XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Oxaca-México

⌘ RUIZ, R. S/a. Correlación. Departamento de Biblioteconomía y Documentación. Universidad de Granada, España, 25 p.

- ⌘ SILVA, M. 2003. Transporte de sedimentos en ríos. (en línea). Bogotá- Colombia. Consultado el 25 de Octubre del 2007. Disponible en línea: <http://www.geocities.com/gsilvam/fluval.htm>
- ⌘ VÁSQUEZ, A. 2000. Manejo de cuencas altoandinas. Perú. Tomo 1, 516 p.
- ⌘ VELASCO, F. 2001. Sistemas de análisis. Analizadores de proceso (Turbidez). Proyecto ICUE. Terragona, Cambrils. 42 p.
- ⌘ VEGA, D. 2004. Estructuras de medición de caudal. Vertederos de pared delgada-rectangular y triangular. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba. 37 p.
- ⌘ VIDE, J.P. 1997. Ingeniería fluvial. Edicions UPC (Universidad Politècnica de Catalunya). España. 204 p.
- ⌘ VILLÓN, M. 2002. Hidrología. 2da ed. Perú. p. 21 - 23.
- ⌘ YASIN, S. 2001. Water and nutrient dynamics in microcatchments under montane rain forest in the south Ecuadorian Andes. Ph. D. Thesis. Alemania. s.p.
- ⌘ WALPOLE, R. et al. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice-Hall Hispanoamericana. 6ta ed. México. Capítulo 11. p. 362
- ⌘ WILCKE, W. et al. 2003. Soil properties on a chronosequence of landslides in montane rain forest, Ecuador. s.p
- ⌘ <http://www.uniamazonia.edu.co/portal/perdiz/Textos/Informe%20a%20FCE%20febrero%202006.doc>.
- ⌘ http://agro.uncor.edu/~ceryol/documentos/ecofisiologia/GUIA_AGUA.pdf.
- ⌘ <http://vppx134.vp.ehu.es/met/html>
- ⌘ <http://inicia.es/de/vuelo/PBV/PBV13.html>

VIII.

APÉNDICES

Apéndice 1. Hoja de muestreo para sedimentos en suspensión y aforos, Zamora Chinchipe, 2007-2008.

Hoja de muestreo para Sedimentos en Suspensión:

Fecha:	Hora:	Estación: EC ____			
Color de agua:		Nivel:			
Clima:		pH:	EC:	T°C:	
Cantidad Filtrada:					
Peso del filtro antes de (A):		Peso del filtro después (B)		Peso del sedimento: B-A	
Tiempo en horno: Desde: Hasta:		T°C en Horno:		Tipo de Filtro: GF/F, GF/D, plegado	
Comentarios					

Hoja para aforos:

Fecha:	Hora	Estación:	Nivel de agua:		
	<i>Distancia desde la orilla (cm)</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	<i>Velocidad superficie</i>	<i>Velocidad en la mitad</i>	<i>Velocidad en el fondo</i>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

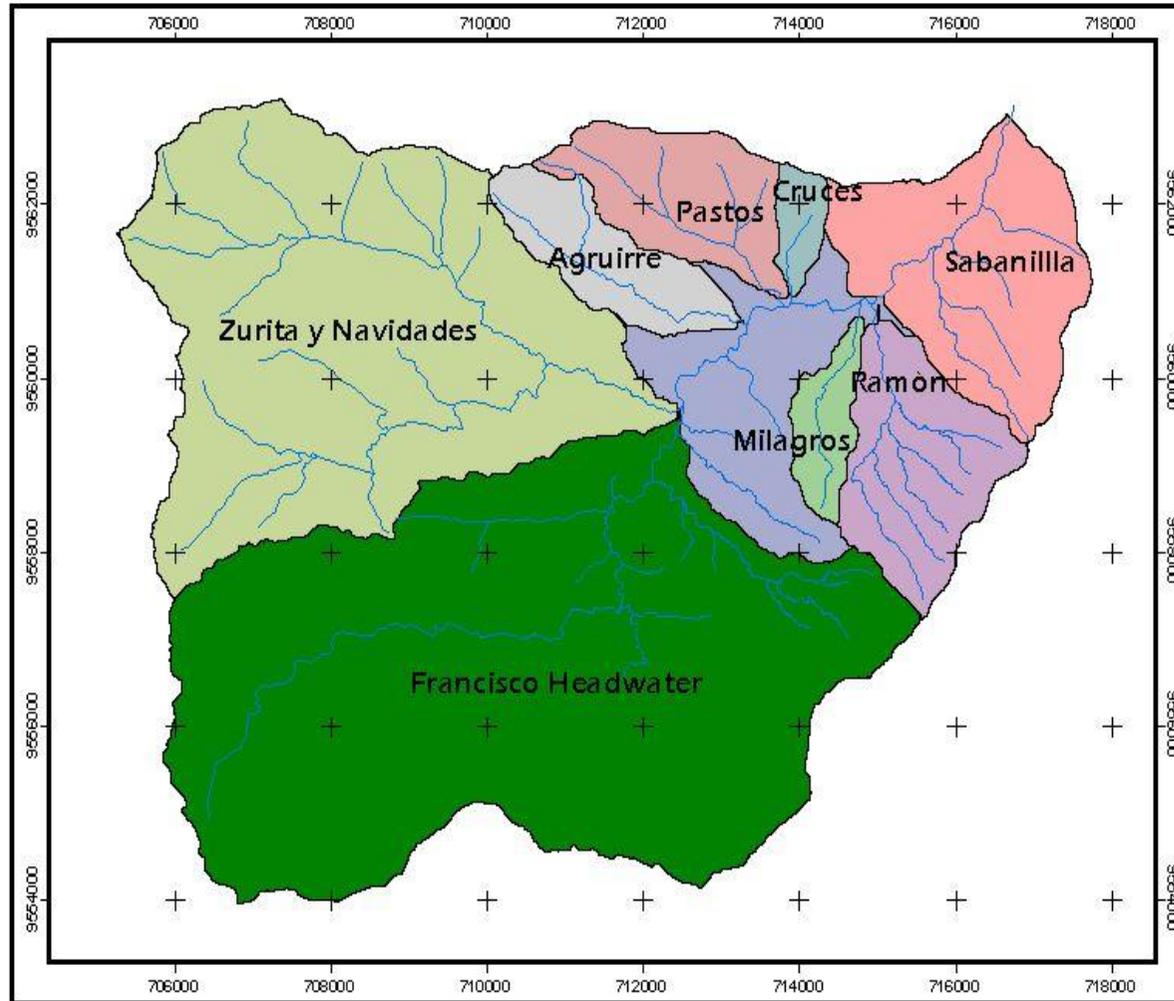
[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

*Variabilidad Espacial y Temporal de la Producción de Sedimentos en Suspensión en la
Cuenca del Río "San Francisco", Zamora Chinchipe*

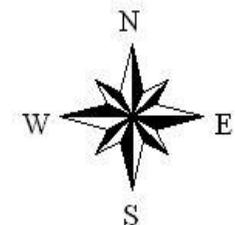
Sub-cuencas de investigación del Grupo B3.2 Frede- Breuer, 2007-

Estación	Ecuación	R ²
$Q_{(ECFH)} = f[Q_{(ECPL)}]$	$y = 0,295x + 1,724$	0,78
$Q_{(ECQM)} = f[Q_{(ECPL)}]$	$y = 0,022x + 0,012$	0,73
$Q_{(ECQC)} = f[Q_{(ECPL)}]$	$y = 0,002x + 0,003$	0,64
$Q_{(ECQC)} = f[Q_{(ECQZ)}]$	$y = 0,046x - 0,015$	0,64

Subcuencas "G.FREDE"



Natalia S



Apéndice 3. Tablas, Cuadros y Figuras

Tabla 2. Factores que afectan la turbiedad.

Componentes de la carga del flujo	Ejemplos	Propiedades que afectan los niveles de turbiedad
Materia Orgánica Disuelta	Ácidos fulvicos, ácidos húmicos,	Algunos ácidos orgánicos dan al agua una coloración amarillenta, que algunos instrumentos detectan rápidamente.
	Formas iónicas de minerales	Las concentraciones demasiado bajas no afectan los niveles de turbidez.
Materia Orgánica suspendida	Polen, microorganismos, semillas y finas partículas	Variación en el color, forma, tamaño, densidad.
	Kaolinita, cuarzo, ilita	Variaciones en color, forma, tamaño, densidad, fluorescencia y refracción.

Fuente: SUN, H. et al. 2001.

Tabla 3. Precipitaciones medias mensuales para San Francisco, provincia de Zamora Chinchipe, periodo Junio 2007-Mayo 2008.

Mes	Precipitaciones (mm)
Junio	253,30
Julio	54,30
Agosto	189,50
Septiembre	151,50
Octubre	110,90
Noviembre	235,10
Diciembre	104,30
Enero	90,20
Febrero	268,10
Marzo	115,10
Abril	160,00
Mayo	165,70

Fuente: Grupo PREDICT.

Cuadro 8. Caudales y concentraciones de sedimentos suspendidos para periodo de lluvias y estiaje, Zamora Chinchipe, periodo Junio 2007-Mayo 2008.

Periodo de Lluvias				Periodo de Estiaje			
ECFH				ECFH			
Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
Jun.	253,30	536,65	6,91	Jul.	54,30	73,00	4,11
Ago.	189,50	116,66	3,54	Oct.	110,90	8,19	2,05
Sep.	151,50	17,82	2,55	Dic.	104,30	5,62	1,83
Nov.	235,10	175,66	4,80	Ene.	90,20	44,18	3,04
Feb.	268,10	122,28	4,50	ECPL			
Mar.	115,10	12,94	2,56	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
Abr.	160,00	40,20	3,17	Jul.	54,30	513,38	7,15
May.	165,70	14,10	2,13	Oct.	110,90	43,80	2,75
ECPL				Dic.	104,30	24,35	2,48
Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)	Ene.	90,20	355,55	4,46
Jun.	253,30	6439,16	17,33	ECQC			
Ago.	189,50	2000,22	5,93	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
Sep.	151,50	65,60	3,25	Jul.	54,30	0,08	0,02
Nov.	235,10	1457,75	7,35	Oct.	110,90	0,04	0,01
Feb.	268,10	1128,44	9,40	Dic.	104,30	0,05	0,01
Mar.	115,10	30,93	2,85	Ene.	90,20	0,04	0,01
Abr.	160,00	304,81	4,46	ECQM			
May.	165,70	179,53	4,32	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
ECQC				Jul.	54,30	1,11	0,15
Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)	Oct.	110,90	0,27	0,03
Jun.	253,30	0,16	0,04	Dic.	104,30	0,36	0,05
Ago.	189,50	0,07	0,02	Ene.	90,20	0,52	0,07
Sep.	151,50	0,05	0,01	ECQM			
Nov.	235,10	0,12	0,03	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
Feb.	268,10	0,09	0,02	Jul.	54,30	1,11	0,15
Mar.	115,10	0,05	0,01	Oct.	110,90	0,27	0,03
Abr.	160,00	0,06	0,01	Dic.	104,30	0,36	0,05
May.	165,70	0,06	0,01	Ene.	90,20	0,52	0,07
ECQM				ECQM			
Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)	Meses	Prec.(mm)	Css (g/s)	Q (m ³ /s)
Jun.	253,30	2,47	0,34	Jul.	54,30	1,11	0,15
Ago.	189,50	1,04	0,14	Oct.	110,90	0,27	0,03
Sep.	151,50	0,60	0,08	Dic.	104,30	0,36	0,05
Nov.	235,10	0,55	0,07	Ene.	90,20	0,52	0,07
Feb.	268,10	0,54	0,07	ECQM			

Cuadro 9. Correlaciones para establecer dependencia de los sedimentos en suspensión con variables climatológicas.

Estación	Correlaciones (r)			
	Pss-Pll	Pss-Ps	Pss-Cmax	Pss- Cmin
ECFH	0,65	0,94	0,92	0,99
ECQC	0,77	0,89	1	0,99
ECQM	0,58	0,55	1	1
ECPL	0,66	0,6	0,9	0,9

Pss: Producción de Sedimentos en suspensión

Pll: Periodo Lluvioso

Ps: Periodo Seco

Cmax: Caudales máximos

Cmin: Caudales mínimos



Figura 32. Deslizamientos en los márgenes del río San Francisco, Zamora Chinchipe, 2007-2008.