



INCO-CT2004-510739

EPIC FORCE

Evidence-based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt

Instrument: Specific Targeted Research Project
Thematic Priority: Specific Measures in Support of International Cooperation, Developing Countries, A.2 Rational Use of Natural resources, A.2.1 Managing humid and semi-humid ecosystems

Deliverable D16

**Flood response analysis for EPIC FORCE focus Areas
Lise and Panama Basins (Chanchan Basin), Ecuador**

Equipo EPIC FORCE

Universidad de Cuenca

**Felipe Cisneros Espinoza, Cristian Coello, Marco Ramirez, Esteban Pacheco,
Diego Mora, Pedro Cisneros, Bert De Bievre**

Due date of deliverable: Month 32

Actual submission date: Month 32

Start date of Project: 1 February 2005 Duration: 36 months

Organisation name of lead contractor for this deliverable: Universidad Politécnica de Madrid
Revision (final)

Projects co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)		
Dissemination Level		
PU	Public	X
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission Services)	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

EXECUTIVE SUMMARY

The EPIC FORCE project intends to elaborate adequate resource strategies and policies based on a profound study on the forest-water relation and to develop a model that evaluates the different management practices and the response of the catchments in extreme situations.

The objective of this paper is to characterize the different responses of the vegetation cover on extreme rainfall events. It intends to prove that, with a maximum intensity of rain, the hydrological responses of the catchments don't change, which means that the effects on the cover decrease.

The developed research level concluded a large quantity of analyses and studies that allow establishing new research directions. These will be of high utility to generate new knowledge in fields where the scientific know-how is strengthened in sciences and technology.

Research catchment

The study area concerns the catchment of the Chanchán River, situated in the central south of Ecuador, with an area of 1490 km², characterized by a mixed cover and different land use and a morphology and relief corresponding to mountains with strong slopes. Extreme precipitations occurring during the Niño phenomenon caused important hydrological events.

Research micro catchments

Seven micro catchments have been selected within the project zone and its surroundings to do a specific analysis. They are all characterized by a predominant vegetation cover with a maximum size of 10 km². The defined covers are: pastures, native woods, Paramo grasslands (Pajonal), Paramo Pinewoods, bush, agriculture with pastures and micro catchments with different land use.

The paper expounds a detailed analysis of these seven micro catchments: In the first place the principal characteristics were defined: Geomorphology, land use, climate, soil, hydro physical qualities, etc.

Additionally, a study of the Guabalcón River catchment, part of the Chanchán River catchment, was made. The motive for this selection was the hydrological wood restoration considered in this project. Its baseline has been formed and characterized.

Collection data

An extensive hydro meteorological network has been installed to collect climatic and hydrologic information. Pluviographs, level sensors, sediment measuring station and climate stations were used to characterize the behaviour of all catchments involved in the project.

A landslide inventory was made for the Chanchán catchment. This study evaluated a macro landslide killing more than hundred people. Within the theme of extreme events, information about the Niño phenomenon events during the last 30 years was compiled, identifying precipitations that exceed a return period of 100 years.

For the detail study a compilation of information on precipitation, discharge and Eto of the studied micro catchments was made. Additional to this, historical registers of Chanchán and neighbouring catchments were processed in order to analyse the events historically.

Analysis

Based on the data collected since the beginning of the project and the available historical data the following types of analyses were performed: Duration curves, recurrence periods for historical maxima, sediment production, landslide events, changes in land use, Duration Intensity and Frequency curves (IDF). These analyses were all applied on the Chanchán catchment and the studied micro catchments.

The analysis shows that conserved micro catchments with little alteration present favourable characteristics of discharge regulation during summertime. Alternating micro catchments show an unfavourable hydrological behaviour by presenting an immediate hydrological response on the events of maximum discharge, much higher in comparison with the other catchments.

A more detailed analysis was made by separating the micro catchments in analysis groups according their climatic origin and their localization. Three groups have been researched. One, located in the south of Ecuador, has micro catchments of Pajonal and paramo pine woods showed that a different vegetation cover did not have any effect and resulted in a similar hydrological response for high rainfall events in zones with a considerable return period.

Soil use and impact

Intensive fieldwork provided the impressions of the researchers in the Chanchán catchment about threats of extreme events, developed problems, wood treatment in the zone, etc.

In addition, the impact of land use and its response on maximum events have been discussed. A preliminary analysis of the behaviour of micro catchments and its reaction on extreme precipitations has been realized.

General conclusions

The knowledge of the conservation of hydrographical catchments and the correct management of the natural resources is indispensable. The research results allow to obtain a better knowledge of the hydrology in high mountain locations which is the basis to establish Paramo and hydrographical catchments policies.

RESUMEN EJECUTIVO

Antecedentes

El proyecto EPIC FORCE pretende elaborar estrategias y políticas de manejo adecuado de los recursos en base a un estudio profundo de la relación bosque-agua, desarrollar un modelo que evalúe las diferentes prácticas de manejo y la respuesta de las cuencas ante eventos extremos.

El presente informe tiene como objetivo caracterizar las diferentes respuestas de la cobertura vegetal a los eventos extremos de precipitación, se pretende comprobar la hipótesis de que a mayor intensidad del evento las respuestas hidrológicas de las cuencas son las mismas, es decir el efecto de la cobertura disminuye.

El nivel de investigación desarrollado determinó una gran cantidad de análisis y estudios que permitieron establecer un sin número de nuevos caminos de investigación, los cuales serán de mucha utilidad para generar nuevo conocimiento en campos donde el saber científico se verá fortalecido en el área de las ciencias y la tecnología.

Cuenca de Investigación

La zona general de estudio es la cuenca del río Chanchán, ubicada al centro Sur del Ecuador con una área aproximada de 1490 km², esta caracterizada por una cobertura mixta y diferentes usos del suelo, la morfología y relieve corresponde a zonas de montaña con pendientes muy altas, las precipitaciones extremas ocurridas durante los diferentes años del fenómeno del Niño han ocasionado eventos hidrológicos importantes.

Micro cuencas de Estudio

Se seleccionó siete micro cuencas dentro de la zona de proyecto y de sus alrededores para un análisis específico, cada una de ellas se caracteriza por una cobertura vegetal predominante, el tamaño máximo de estas es de 10 km². La coberturas determinadas son: Pastos, Bosque Nativo, Pajonal en el paramo, Bosque de Pinos en el paramo, Matorral, Agricultura mas Pastos y una micro cuenca con diferentes usos de suelo.

El informe expone un análisis detallado de estas siete micro cuencas; en primer lugar se definieron sus principales características: Geomorfología, uso del suelo, clima, suelos, propiedades hidrofísicas, etc.

Adicional a esto se estudia a la cuenca del río Guabalcón perteneciente a la cuenca del río Chanchan, esta fue seleccionada con motivo de la restauración hidrológica forestal contemplada dentro del proyecto, su línea base ha sido levantada y caracterizada.

Recolección de Datos

Una extensa red hidrometeorológica fue instalada para la recolección de información climática e hidrológica, dentro de este equipo constan pluviografos, sensores de nivel, estación de medición de sedimentos, estaciones climáticas, que permitieron caracterizar el comportamiento de todas las cuencas involucradas en el proyecto.

Un inventario de deslizamientos fue realizado para la cuenca del Chanchán, el estudio evaluó un macro deslizamiento que produjo la muerte de mas de un centenar de personas. Dentro del tema de eventos extremos se recopiló información de los eventos del Fenómeno del Niño ocurridos durante los últimos 30 años, identificándose precipitaciones que superan los 100 años de periodo de retorno

Para el estudio puntual se ha recolectado información de precipitación, caudal y Eto para las micro cuencas de estudio, adicional a esto se procesaron registros históricos del Chanchán y cuencas vecinas para análisis histórico de eventos.

Análisis

Se caracterizó con la base de datos recolectada desde el inicio del proyecto mas registros históricos disponibles, el análisis de: Curvas de Duración, Periodos de Retorno para máximos históricos, producción de sedimentos, incidencia de deslizamientos, cambios de uso del suelo, curvas de Duración Intensidad y Frecuencia para precipitaciones acumuladas, todo esto aplicado en la cuenca del Chanchán y micro cuencas de estudio.

El análisis reveló que micro cuencas conservadas y con poco grado de alteración presentan características favorables de regulación de caudal en época de verano, micro cuencas alteradas presentaron un comportamiento hidrológico desfavorable al presentar una respuesta hidrológica inmediata a los eventos presentando un caudal máximo específico elevado en comparación con las demás.

Un análisis más determinante se efectuó separando a las micro cuencas por grupos de análisis de acuerdo al régimen climático y a la localización de las mismas. Tres grupos fueron investigados; uno de ellos localizado al sur del Ecuador con las micro cuencas de Pajonal y Bosque de Pinos en el paramo respectivamente demostraron que la distinta cobertura vegetal no tuvo efecto alguno para impedir una similar respuesta hidrológica ocasionada por precipitaciones elevadas en la zona de un considerable periodo de retorno.

Uso e impacto del Suelo

Un intenso trabajo de campo logro receptar las impresiones de los autores en la cuenca del río Chanchán, las amenazas ante eventos extremos, los problemas generados, el manejo forestal de la zona, etc.

Se discute además el impacto del uso del suelo y su respuesta a eventos máximos, se realiza un análisis preliminar del comportamiento de las micro cuencas y su respuesta a precipitaciones extremas.

Conclusiones Generales

La importancia del conocimiento de la conservación de cuencas hidrográficas y el buen manejo de los recursos naturales se vuelve imprescindible. Los resultados de la investigación permitieron tener un conocimiento más profundo de la hidrología de sitios de alta montaña, lo cual servirá como base para establecer políticas de manejo de páramos y cuencas hidrográficas.

INDICE DE CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	ii
RESUMEN EJECUTIVO	iv
INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
SECTION 1	1
INTRODUCTION	1
Descripción del Análisis.....	1
SECTION 2	1
DESCRIPTION OF FOCUS AREA	1
CUENCA DEL RIO CHANCHAN	1
Generalidades	1
Localización.....	1
Morfología y relieve	2
Geología	2
Clima	3
Uso de suelo y vegetación	3
Suelos	4
Eventos extremos.....	4
SECTION 3	6
DESCRIPTION OF PROYECT FOCUS BASINS.....	6
LISE Y PANAMÁ	6
Modelo de Elevación Digital (DEM)	7
Suelos	7
Propiedades Físicas e hidrofísicas	8
Uso del Suelo.....	8
ORTIGAS, RÍO GRANDE Y CAPARINA.....	9
Localización.....	9
Suelos	10
Uso del suelo	12
PINOS Y MARIANZA	12
Clima	13
Vegetación y Uso del Suelo (Guzmán 2004)	13
Suelos	14
GUABALCON.....	15
Ubicación.....	15
Geomorfología.....	16
Uso del suelo	16
Cobertura vegetal.....	18
Relación espacial de los diferentes tipos de cobertura entre la Cuenca del río Chanchán y la micro cuenca del río Guabalcón	20
Geología	20
Clima	21
Edafología.....	23
SECTION 4	25
DATA COLLECTION	25
EQUIPAMIENTO	25

Precipitación	25
Medición del caudal.....	25
Medición de datos climatológicos (Cálculo de Eto).....	26
Red de Monitoreo	27
Sedimentos	28
Deslizamientos	29
Uso del suelo	31
Información disponible referente a eventos máximos.....	32
SECTION 5	34
DATA ANALYSIS	34
CURVAS DE DURACIÓN.....	34
Cuenca del río Chanchán.....	34
Micro cuencas de estudio	34
Flood Frequency Curves.....	36
Análisis de eventos extremos en la cuenca del río Chanchán	36
Análisis de caudales máximos para la estación Chanchán Km. 90 + 180 FF.CC..	37
RECONSTRUCCION DE LA CRECIDA A FINALES DE 1982	39
Recopilación de Información.....	39
Modelación	42
Estimación mediante modelización hidrodinámica en MIKE 11	42
Estimación mediante Manning	44
Conclusión.....	45
CARACTERISTICAS DE LOS EVENTOS EXTREMOS	45
NIÑOS EXCEPCIONALES.(El fenómeno el niño 1997 – 1998 memoria, retos y soluciones (CAF))	45
PRODUCCION DE SEDIMENTOS.....	53
Descripción de la Estación (ISCO).....	54
Curva de descarga sólida de sedimentos en suspensión para la estación en el río Chanchán en Huigra	54
Capacidad de transporte de sedimentos en suspensión en el río Chanchán	57
ANALISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS.....	58
Resultados del análisis de vulnerabilidad.....	58
Análisis del mapa de Geología	58
Análisis del Mapa de Pendientes	59
Mapa del Perfil del Suelo	60
Mapa de Aspecto (azimut de la dirección de la pendiente).....	61
Mapa de Uso actual de Suelo	62
Mapa de susceptibilidad del área de estudio en la cuenca del río Chanchán	63
Construcción de escenarios probabilísticos de disparo de deslizamientos debido a precipitaciones	64
Conclusiones Generales sobre deslizamientos	64
MICRO CUENCAS DE ANALISIS.....	67
Grupo 1	67
En la Figura 46 no consta el evento en Panama de 405 l/s/km ² , debido a que por motivos de ilustracion de la figura la micro cuenca de Lise no presenta un evento tan extremo y la grafica perderia calidad en la interpretación de los eventos.	68
Grupo 2	68
Grupo 3	69
ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE GUABALCÓN.....	71
Análisis de Caudales.....	72

Análisis de sedimento de la Cuenca de Guabalcón	73
Indicios de deslizamientos en Piñancay	75
Caracterización del lecho de fondo del río Guabalcón.....	76
ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL CHANCHÁN.....	77
Análisis de Caudales.....	77
Producción de sedimentos para la cuenca del río Chanchán.....	77
SECTION 6	80
DISCUSSION OF LAND USE IMPACT.....	80
ANALISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCHÁN	80
Percepción de los actores a cerca de los eventos ocurridos en la cuenca del río Chanchán	80
Percepción de los actores sobre los peligros que amenazan a la cuenca del río Chanchán	81
Percepción de problemas ocasionados por el fenómeno el Niño en la cuenca del río Chanchán.....	81
Otros problemas generados por la ocupación y uso del territorio en la cuenca del Río Chanchán	82
Percepción sobre el manejo forestal y su situación en la cuenca del Río Chanchán	82
Detección de cambios de uso del Suelo mediante imágenes satelitales	84
Respuestas y contrastes de los eventos máximos entre las diferentes cuencas de estudio.....	85
Conclusiones.....	88
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXO	91
Precipitaciones acumuladas de 1 a 40 días y periodos de retorno para los eventos de deslizamientos en la cuenca del río Chanchán.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características generales de las micro cuencas	6
Tabla 2.- Características morfométricas de las cuencas	7
Tabla 3.- Características de los suelos de Lise	8
Tabla 4.- Características de los suelos de Panamá	8
Tabla 5.- Uso del Suelo para las micro cuencas Lise y Panamá	9
Tabla 6.- Ubicación de las micro cuencas de estudio.....	9
Tabla 7.- Características morfométricas de las cuencas	10
Tabla 8.- Características generales de la micro cuencas	10
Tabla 9.- Resultados de los análisis de laboratorio	11
Tabla 10.- Parámetros del Modelo de Van Genuchten obtenidos para la obtención de curvas de retención de agua en el suelo.....	11
Tabla 11.- Cobertura vegetal en las cuencas del Río Grande, Caparina y Ortigas.....	12
Tabla 12.- Características generales de las micro cuencas del Páramo.....	13
Tabla 13.- Características morfométricas de las cuencas	13
Tabla 14.- Características de los suelos del Páramo.....	15
Tabla 15. Rangos de pendientes por superficie ocupada y como porcentaje del total del área.....	16
Tabla 16.- Características Morfométricas de la micro cuenca de análisis.....	16
Tabla 17.- Uso del suelo en la micro cuenca del Guabalcón.....	18
Tabla 18.- Cobertura vegetal en la micro cuenca del río Guabalcón	19
Tabla 19.- Desviación Estándar para las coberturas entre las cuencas del río Chanchán y Guabalcón	20
Tabla 20 .- Principales litofacies, superficie que ocupan y % del área en la micro cuenca del río Guabalcón.....	21
Tabla 21.- Intensidades máximas horarias para la micro cuenca del río Panamá:	21
Tabla 22.- Intensidades máximas horarias para la micro cuenca del río Lise	22
Tabla 23.- Precipitaciones máximas para la micro cuenca del río Panamá.....	22
Tabla 24.- Precipitaciones máximas para la micro cuenca del río Lise	22
Tabla 25.- Precipitación máxima en 24 horas e Intensidad máxima en 30 minutos para los 7 pluviógrafos en el área de estudio.....	22
Tabla 26.- Temperatura media, máxima y mínima anual y precipitación máxima en 24 horas registrada en las estaciones de Pachamama y Chunchi	23
Tabla 27.- Principales grupos de suelos en la Micro cuenca del río Guabalcón	24
Tabla 28.- Características de las micro cuencas de estudio.....	27
Tabla 29.- Equipos instalados para el proyecto EPIC FORCE	28
Tabla 30.- Red de Pluviógrafos, sensores y estación de clima para cada micro cuenca de estudio.....	28
Tabla 31.- Resumen de los deslizamientos en la cuenca del río Chanchán, años 1983-2005	30
Tabla 32.- Caudales máximos Instantáneos	37
Tabla 33.- Caudal estimado para diferentes periodos de retorno	38
Tabla 34.- Caudales máximos Instantáneos	38
Tabla 35.- Caudal estimado para diferentes periodos de retorno	39
Tabla 36.- Ecuador. Precipitaciones observadas y períodos de retorno de El Niño excepcional de 1982-83	45

Tabla 37.- Ecuador. Valores de las anomalías de temperatura del aire en diferentes sitios de la costa	48
Tabla 38.- Ecuador. Zona costera: El Niño 1997-98. Precipitaciones acumuladas (período enero 1997 a julio 1998)	49
Tabla 39.- Precipitaciones registradas la semana del deslizamiento de Chunchi.....	53
Tabla 40.- Caudal Líquido (Q) – Caudal Sólido (QS)S para el Río Chanchán en Huigra.	54
Tabla 41.- Concentraciones medias determinadas a través de los aforos sólidos vs. Concentraciones puntuales obtenidas a partir de muestreos con la ISCO para el Río Chanchán en Huigra.	56
Tabla 42.- Resultados obtenidos para la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y diámetros límites de partícula para el Río Chanchán.....	57
Tabla 43.- Análisis del mapa geológico en la vulnerabilidad.....	59
Tabla 44.- Análisis del mapa de pendientes en la vulnerabilidad	60
Tabla 45.- Resultados del análisis del mapa de perfil de suelos.....	60
Tabla 46.- Resultados del análisis del mapa de aspecto.	61
Tabla 47.- Análisis del mapa de uso actual del suelo en la vulnerabilidad	62
Tabla 48.- Comparación de los diferentes modelos de acuerdo al estadístico ROC.....	63
Tabla 49.- Análisis de los resultados de la regresión logística.....	64
Tabla 50.- Equipo de Monitoreo Instalado en la cuenca de Guabalcón	71
Tabla 51. Análisis de sedimentos para la cuenca alta del río Guabalcón.....	74
Tabla 52 Análisis de sedimentos para la cuenca media del río Guabalcón.....	75
Tabla 53.- Registros de sedimentos en suspensión producto de deslizamientos.....	76
Tabla 54 Granulometría del lecho de fondo del río Guabalcón	76
Tabla 55 Criterios de gradación para el sedimento del lecho.....	77
Tabla 56 Análisis de sedimentos para el río Chanchan en Huigra	78
Tabla 57.- Tipo de Amenazas presentes en la Cuenca del Río Chanchán.....	81
Tabla 58.- Coberturas y características de las diferentes micro cuencas de estudio	85
Tabla 59.- Estadístico de contraste para precipitaciones	87
Tabla 60.- Estadístico de Contraste para caudales	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación del la cuenca del Chanchán	2
Figura 2.- Cuenca del río Chanchán	6
Figura 3.- Localización de la micro cuencas	6
Figura 4.- DEM de la micro cuenca de Lise.....	7
Figura 5.- Mapa de Suelos Lise y Panamá	8
Figura 6.- Localización de la micro cuencas	9
Figura 7.- Bosque montano Ortigas.....	10
Figura 8.- Mapa de suelos para las micro cuencas	11
Figura 9.- Localización de la micro cuencas de páramo	12
Figura 10.- Ubicación de la cuenca del Chanchán y Guabalcón.....	15
Figura 11.- Cobertura vegetal en la cuenca del río Chanchán y Guabalcón	19
Figura 12.- Mapa de suelos de la cuenca de Guabalcón.....	23
Figura 13.- Pluviógrafos instalados “Rain Collector II y HOBO datalogger”	25
Figura 14.- Transductor de Presión (Global water instrument, USA).....	26
Figura 15.- Sección de control.- Vertedero triangular instalado en Lise.....	26
Figura 16.- Estación meteorológica en Marianza (Campbell).....	26
Figura 17.- Estación Automática ISCO Modelo 6712.	29
Figura 18.- Zonas inestables de la cuenca del río Chanchán.....	31
Figura 19.- Geología de la cuenca del río Chanchán.....	31
Figura 20.- Usos del suelo en la cuenca del río Chanchán.	32
Figura 21.- Usos del suelo para las micro cuencas del Bulubulu.	32
Figura 22.- Curva de Duración para la cuenca del Río Chanchán	34
Figura 23.- Curvas de Duración para las micro cuencas de Estudio	35
Figura 24.- Gumbel frequency curve of annual floods on Chanchán River.....	37
Figura 25.- Gumbel frequency curve of annual floods on Angas AJ. Chanchán.....	39
Figura 26. Curva de descarga en el Río Chanchán y lectura del valor de caudal para la altura correspondiente.....	43
Figura 27.- Perfil Longitudinal del rio Chanchan a la crecida máxima	43
Figura 28.- Secciones Transversales del rio Chanchan	43
Figura 29.- Ecuador. Anomalías estacionales de lluvias durante El Niño 1982-83	46
Figura 30.- Ecuador. Zona costera: anomalías de precipitación durante 1997-98	50
Figura 31.- Respuesta hidrológica en FF.CC 90+180 del evento originado en Pachamama-Tixán	53
Figura 32.- Sección de control de la estación sobre el Río Chanchán en Huigra.....	54
Figura 33.- Estación de monitoreo ISCO bajo el Puente Unión en el Río Chanchán en Huigra.	54
Figura 34.- Curva de Descarga de Sólidos en Suspensión para el Río Chanchán en Huigra.	55
Figura 35.- Concentraciones puntuales ISCO vs. Concentraciones Medias Determinadas por Muestras Manuales para el Río Chanchán en Huigra.	56
Figura 36.- Capacidad de Sedimentos en Suspensión para el Río Chanchán en Huigra en función del Gasto Líquido.	57
Figura 37.- Vulnerabilidad geológica y área acumulada en los deslizamientos.....	59
Figura 38.- Vulnerabilidad de las pendientes y área acumulada en los deslizamientos. 60	

Figura 39.- Vulnerabilidad del perfil del suelo y área acumulada en los deslizamientos.	61
.....	61
Figura 40.- Orientación de las áreas codificadas	61
Figura 41.- Vulnerabilidad del aspecto y área acumulada en los deslizamientos.	62
Figura 42.- Vulnerabilidad del uso actual de suelo y área acumulada en los deslizamientos	62
.....	62
Figura 43.- Resultado del análisis de regresión del Full Model	64
Figura 44.- Hidrogramas de las micro cuencas de Lise y Panamá	67
Figura 45.- Curvas IDF para las micro cuencas de Lise y Panamá	67
Figura 46.- Comportamiento Qesp-T para Lise y Panamá	68
Figura 47.- Hidrogramas de las micro cuencas de Ortigas, Rio Grande y Caparina	69
Figura 48.- Curvas IDF para las micro cuencas de Ortigas, Rio Grande y Caparina	69
Figura 49.- Hidrogramas de las micro cuencas de Pinos y Pajonal	70
Figura 50.- Curvas IDF para las micro cuencas de Pinos y Pajonal	70
Figura 51.- Comportamiento Qesp-T para Pinos y Pajonal	71
Figura 52.- Curvas de descarga para los sitios de monitoreo	72
Figura 53 Respuesta Hidrológica de las zonas de la cuenca del río Guabalcón	72
Figura 54 Hietograma de precipitaciones dentro de la cuenca del Guabalcón	73
Figura 55 Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Saguin	74
Figura 56.- Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Piñancay	75
Figura 57 Curva de descarga e Hidrograma para el invierno de 2007 en el río Chanchán	77
.....	77
Figura 58 Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Huigra	78
Figura 59.- Ubicación geográfica de las siete micro cuencas	85
Figura 60.- Diagrama de Caudales Máximo, Mínimos y Medios	86
Figura 61.- Análisis de caudales máximos y Mínimos	86
Figura 62.- Respuesta hidrológica para dos grupos de micro cuencas	86
Figura 63.- Precipitación en la micro cuencas del Paramos	87
Figura 64.- Diagramas de Caja para los valores de precipitación y caudal	87

SECTION 1

INTRODUCTION

El proyecto EPIC FORCE pretende elaborar estrategias y políticas de manejo adecuado de los recursos en base a un estudio profundo de la relación bosque-agua, desarrollar un modelo que evalúe las diferentes prácticas de manejo y la respuesta de las cuencas ante eventos extremos.

Para esto es imprescindible realizar un diagnóstico detallado y cuidadoso de las cuencas de estudio, lograr describir sus características esenciales es de fundamental importancia para obtener de acuerdo a los resultados conclusiones reales que lleven a desarrollar estrategias y planes de manejo integral de los recursos.

El presente informe tiene como objetivo caracterizar las diferentes respuestas de la cobertura vegetal a los eventos extremos de precipitación, se pretende comprobar la hipótesis de que a mayor intensidad del evento las respuestas de las cuencas son las mismas, es decir el efecto de la cobertura disminuye.

El nivel de investigación desarrollado determinó una gran cantidad de análisis y estudios que permitieron establecer un sin número de nuevos caminos de investigación, los cuales serán de mucha utilidad para generar nuevo conocimiento en campos donde el saber científico se verá fortalecido en el área de las ciencias y la tecnología.

Descripción del Análisis

La zona general de estudio es la cuenca del río Chanchan, caracterizada por una cobertura mixta y diferentes usos del suelo, dentro de ésta se monitorean dos micro cuencas correspondientes a matorral y pastos, cada una presenta un comportamiento distinto a precipitaciones máximas. En virtud a la necesidad de caracterizar diferentes coberturas se han monitoreado otras micro cuencas cuyo uso del suelo esta predominado por una cobertura en especial, es así que micro cuencas de bosque nativo, bosque de pinos, pajonal y agricultura forman parte esencial de este análisis.

El documento expone un análisis detallado de las siete micro cuencas que han sido monitoreadas para caracterizar su respuesta hidrológica ante eventos considerados extremos, se definen sus principales características: Geomorfología, uso del suelo, clima, suelos, etc.

Se ha recolectado información de precipitación, caudal y Eto para las micro cuencas de estudio, adicional a esto se procesaron registros históricos del Chanchán y cuencas vecinas para análisis histórico de eventos. Se caracterizaron en el análisis: Curvas de Duración, Periodos de Retorno para máximos históricos, producción de sedimentos, incidencia de deslizamientos, cambios de uso del suelo, curvas de Duración Intensidad y Frecuencia para precipitaciones acumuladas, todo esto aplicado en la cuenca del Chanchán y micro cuencas de estudio.

Actualmente se está monitoreando la cuenca del río Guabalcón, esta es una micro cuenca perteneciente a la cuenca del Río Chanchán y está caracterizada por diferentes usos del suelo, constituyéndose una muestra de alta significancia de las características de la cuenca de estudio.

Se discute además el impacto del uso del suelo y su respuesta a eventos máximos, se realiza un análisis preliminar del comportamiento de las micro cuencas y su respuesta a precipitaciones extremas.

SECTION 2

DESCRIPTION OF FOCUS AREA

CUENCA DEL RIO CHANCHAN

Generalidades

En relación a las condiciones generales de este sector y del país mismo, pueden apreciarse diferentes zonas climáticas, caracterizadas principalmente por su ubicación con respecto al nivel medio del mar. La variación en la altura provoca en consecuencia una gran variedad en parámetros como temperaturas y precipitación. En el Ecuador, a su parte este se la ha denominado Oriente, en este sector predomina un clima cálido tropical siempre húmedo.

El régimen de precipitaciones en esta zona, se determina por la ubicación dentro de la zona de convergencia intertropical, lo cual significa una evapotranspiración alta, presión atmosférica baja y mucha precipitación durante todo el año, con un máximo en julio.

Por otra parte en el Oeste del país, la Costa, se diferencia claramente una estación húmeda y seca debido a la influencia principal de dos factores: la primera por la presencia en la mayor parte del año de la corriente fría de Humboldt y la segunda por la presencia de agua caliente en el Océano Pacífico frente a la costa ecuatoriana en los meses de Enero hasta Mayo, período en el cual se registran las precipitaciones en la parte central, el clima de la sierra es de vertiente seca de montaña, la mayoría de veces las precipitaciones se producen con dos máximos en Abril y Octubre. . En determinados años, en el sector costanero y en parte de la cordillera se presenta un fenómeno climatológico que provoca una excesiva presencia de lluvias, al que se denomina como ENOS¹.

En determinados años, la corriente cálida en el Pacífico se intensifica y avanza más hacia el Sur hasta el Norte del Perú, fenómeno que se conoce como fenómeno del niño. El cual provoca una excesiva presencia de lluvias. Los fenómenos “El Niño” más intensos de las últimas décadas se presentaron en los años 1983 y 1998.

Localización

La cuenca intramontana del Río Chanchán se ubica en la región Andina del centro del Ecuador, en la Sierra Occidental entre las siguientes coordenadas 741151-9776650 por el norte, 764622-9766493 por el este, 762745-9742253 por el sur y 705132-9750703 en el oeste. Altitudinalmente el punto más bajo esta a : 340 ms.n.m y el más alto a 4480 m.s.n.m. (ver Figura 1)

¹ El Niño Oscilación Sur

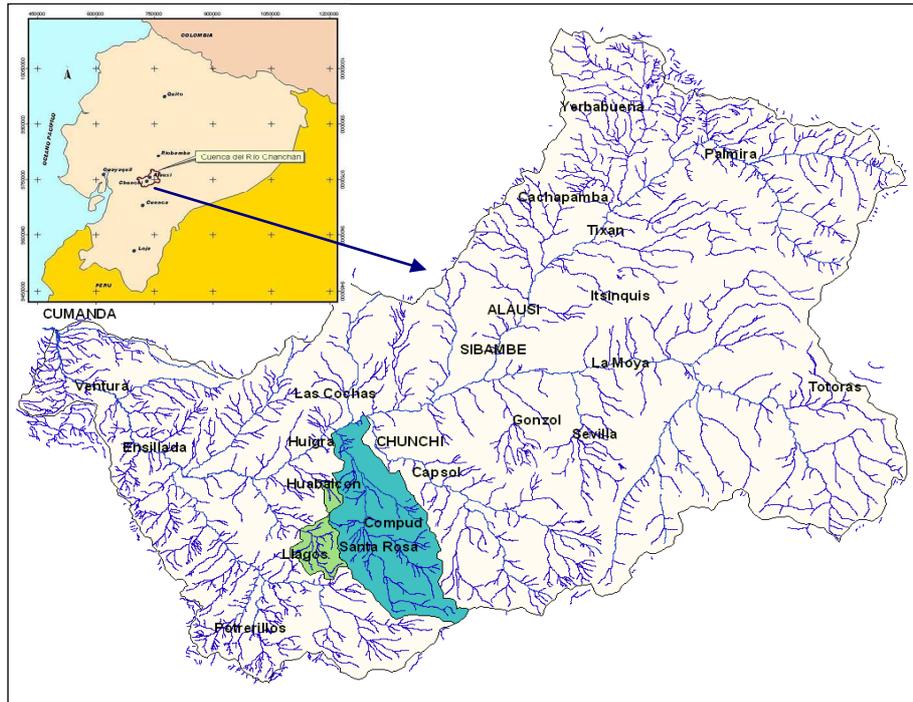


Figura 1.- Ubicación del la cuenca del Chanchán

Morfología y relieve

El río Chanchán forma parte del sistema hídrico de la cuenca del río Guayas, que desemboca en el Pacífico. Está formado por la unión de los ríos Alausí y Guasuntos, que nacen en los páramos de la cordillera oriental. Aguas abajo recibe la afluencia de los ríos Machángara, Blanco, Chinguncay, Chilicay y Azul por la orilla derecha, y Huatacsí, Guabalcón, y Angas por la orilla izquierda.

El punto más alto en la cordillera Occidental se encuentra en el sur de la cuenca: la loma Boliche (4480 ms.n.m.), en la parte alta de la subcuenca del río Chullabamba. En la cordillera Real el punto más alto es Aquililloma (4198 ms.n.m.). La zona más baja se encuentra en Cumandá, en el oeste de la cuenca, donde confluye el río Azul con el Río Chanchán (340 ms.n.m.).

Las zonas más planas, con pendientes en el rango (0 – 12 %), se encuentran en el este (Pungapala, San Francisco, Palmira, Totoras) y la parte más baja (San Jacinto, San Vicente) de la cuenca. En las otras zonas, predominan las pendientes extremas (> 45 %).

Las laderas muestran relieves abruptos. Las cimas de los contrafuertes son redondeadas. La abundante precipitación pluvial en las partes medias y bajas de la cuenca, la profunda meteorización de las rocas, la escasa cohesión de los piroclastos, la alta permeabilidad de las rocas ígneas y las fuertes pendientes de las laderas, son factores que marcan un alto riesgo de inestabilidad de taludes, cuyas manifestaciones son frecuentes, especialmente en los alrededores de Chunchi.

Geología

La cuenca intramontana del Río Chanchán se ubica entre las cordilleras Real y Occidental de Los Andes; las dos cordilleras se formaron en dos episodios orogénicos: Paleozoico y Mesozoico, respectivamente. Los metasedimentos de la cordillera Real constituyen el basamento

de una posterior sucesión volcano-sedimentaria desarrollada en un arco de islas. Los basaltos de fondo marino constituyen una parte de la secuencia ofiolítica que acrecionó el margen del continente suramericano durante el Cretáceo. La gran falla Bulubulu marca esta sección acrecionada. La sedimentación ocurrida durante las etapas posteriores volvió a acrecionar el margen continental, quedando como evidencia de la sutura el sistema de fallas del río Chimbo. Posteriormente, el volcanismo continental cubrió los prismas en eventos de deposición subaérea y fluvio-lacustrina.

Los rasgos estructurales dominantes son las grandes fallas orientadas en sentido aproximado NE-SO y NNE-SSW. Las principales fallas marcan los contactos entre las varias unidades litoestratigráficas. La falla Chimbo separa las rocas de la unidad Macuchi de las turbiditas del grupo Angamarca. La falla Multitud, en el SE, separa el grupo Angamarca de los basaltos de la unidad Pallatanga. La falla Bulubulu separa la unidad Pallatanga del basamento metamórfico.

Clima

El clima es frío en los páramos de las dos cordilleras, al norte de la cuenca la topografía es mucho más plana que en el resto de la cuenca, esto ha permitido el desarrollo de la actividad agrícola en esta región ya que por lo general los páramos están cubiertos por pajonal (*Stippa* sp.) y tienen una enorme importancia en la regulación del ciclo hidrológico siendo muy sensible este ecosistema y vulnerable a procesos erosivos o de degradación irreversibles.

En cotas más bajas de la cuenca se presentan los denominados valles interandinos con un rango de temperaturas entre 12° C y 22° C, con producción agrícola, ganadera y forestal.

Además de la altitud, las características hidro-meteorológicas están influenciadas principalmente por las corrientes marinas de Humboldt y del Niño que repercuten en el clima dominado por el ascenso de masas de aire húmedo proveniente del océano pacífico

Uso de suelo y vegetación

En cuanto se refiere al uso de suelo, se determina la predominancia de espacios ocupados con cultivos 37%, páramo en un 25%, vegetación arbustiva 17% ,sobre el área de bosque natural 12% y pastos 7.5 %.

De la zona de vegetación natural predominan los páramos, seguido del bosque natural y la vegetación arbustiva. Por su parte los cultivos de ciclo corto ocupan superficies mayores a los cultivos perennes, los primeros muy dispersos en toda la cuenca y los segundos muy localizados en la parte baja.

Los pastos y los cultivos generalmente se encuentran asociados, dependiendo del grado de importancia, es decir, cuando a veces el pasto es predominante o en ocasiones hay una predominancia de los cultivos de ciclo corto.

No existen acciones importantes de conservación de suelos, de forestación o reforestación. Son muy escasos los lugares donde han existido acciones de siembra de especies naturales de la zona, y menos aún con otras especies.

Suelos

Alrededor del 50% de la superficie, contiene suelos del orden de los Inceptisoles (US: Soil Taxonomy, 1975) en las partes más altas y frías se presentan Andepts así como Psamments que presentan materiales menos meteorizados. Las zonas cubiertas con Mollisoles están en un 15 % y predominan Udolls y Ustolls dependiendo del clima.

Otro grupo de suelos bastante extenso en toda la cuenca lo constituyen los Entisoles, que son suelos en formación poco desarrollados y que presentan procesos de cementación por silicatos limitando su profundidad, predominan los Durandeps y los menos fértiles Dystrandeps, la superficie que cubren esta en el 25 %. El resto del área lo constituyen asociaciones entre estos grupos predominantes y también áreas marcadas como sin suelo y sin información.

Eventos extremos

Los eventos extremos de precipitación en la zona están relacionados con el fenómeno denominado “EL Niño”. Mucho ha sido escrito acerca de su ocurrencia y ciclidad, así como de su incremento en frecuencia y/o intensidad.

Un episodio de El Niño causa que la ocurrencia de una estación normal de lluvias en las zonas costeras de las provincias de El Oro, Guayas, Los Ríos y Manabí, que dura de Enero a Abril, pase a ser mucho más intenso (la precipitación puede ser como 4-5 veces los valores normales), y también más largo (Noviembre - Junio). En las montañas Andinas la lluvia excepcional ocurre en las pendientes orientadas hacia el oeste de la cordillera Occidental hasta una altitud de aproximadamente 3000 m.

Las consecuencias de estos eventos en las planicies de la región costera del país, consiste principalmente en la inundación de áreas agrícolas y naturales. En las zonas montañosas el principal problema se consiste los deslizamientos de tierra, con el consecuente bloqueo de caminos y posibles daños a poblaciones, que en algunos casos producen la pérdida de vidas humanas y animales. En general, durante un episodio de El Niño, las precipitaciones son demasiado altas, por lo que el desarrollo de la agricultura es casi imposible. Esta falta de la producción agrícola produce un gran impacto en el país, produciendo entre otros problemas, la necesidad de importar alimento.

La mayoría de los daños ocurren típicamente durante y después de la lluvia intensiva con una duración de 10 a 24 horas, cayendo en el suelo ya saturado por acontecimientos previos de lluvia, ocasionando inundaciones muy peligrosas para las poblaciones del sector como Huigra y Chanchán.

Cuando un fenómeno de El Niño golpea una parte grande del Ecuador, las consecuencias para la economía nacional son considerables. Se estima que las pérdidas producidas por el Niño de 1982-1983 igualan 10% del PIB² anual y 14% del PIB en el 1997-1998.

La pérdida de vidas humanas es común en la Sierra por entierro bajo deslizamientos, y en el área Costera por ahogamiento debido a inundación. Durante los últimos acontecimientos de El Niño centenares de vidas se han perdido. Los daños en la infraestructura producidos en la Sierra, son provocados principalmente por los deslizamientos que destruyen los caminos (inclusive la vía panamericana) y poblados, mientras que en el área costera, son los puentes de los caminos que cruzan los ríos que bajan de las pendientes occidentales de los Andes, los que

² Producto Interno Bruto

sufren los mayores daños, al ser destruidos o removidos de sus lugares de emplazamiento por la fuerza del agua.

Un tipo particular del acontecimiento es el represamiento de ríos por deslizamientos, causando inundación aguas arriba del dique, y daños graves por arrastre e inundación aguas abajo del embalse en el cauce del río, cuando el nivel del dique es superado o roto por el agua retenida.

SECTION 3

DESCRIPTION OF PROYECT FOCUS BASINS

LISE Y PANAMÁ

La cuenca de estudio del proyecto EPIC FORCE es la cuenca del Río Chanchán que tiene una área aproximada de 1409km², dentro de esta cuenca existe dos micro cuencas que han sido monitoreadas para este estudio, tanto Lise y Panamá tienen características totalmente diferentes, la ubicación de estas dentro de la cuenca del Chanchán se indica en la Figura 2.

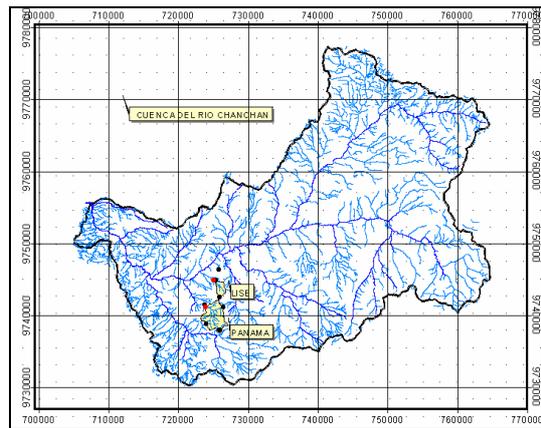


Figura 2.- Cuenca del río Chanchán

La selección de estas micro cuencas es en virtud que Lise no se encuentra alterada y tiene vegetación natural como su cobertura, mientras que Panamá se encuentra alterada con deforestación, constituyéndose se uso en pastos y prácticas agrícolas, lo que hace de estas micro cuencas sean especiales para el proyecto.

Las características de estas micro cuencas se muestran en la Tabla 1 y la ubicación en la Figura 3 siguiente

Cuenca	Lise	Panamá
Tipo de Suelo	Umbric Leptosol	Cambisol, Leptosol
Uso del Suelo	Vegetación Natural	Ganadería Extensiva
Estado	Deforestado	Alterada
Cobertura Vegetal	Matorral	Pastos

Tabla 1.- Características generales de las micro cuencas

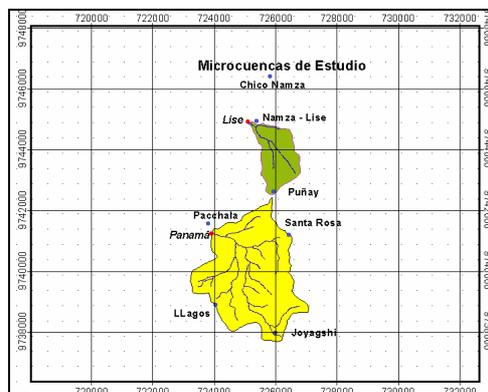


Figura 3.- Localización de la micro cuencas

El clima tiene dos estaciones marcadas: invierno (diciembre-mayo) y verano (junio-noviembre), la precipitación media anual para Lise bordea los 700mm, mientras que Panamá presenta una precipitación media anual aproximada de 1000 mm , los suelos son ricos en materia orgánica con una alta capacidad de retención de agua. La topografía es bastante escarpada con fuertes pendientes (Crespo, 2006), sus principales características se muestran en la Tabla 2

Característica	Lise	Panamá
Área (ha)	234.2	1001.1
Perímetro (m)	6845	15139
Cota máxima (m s.n.m)	3240	3100
Cota mínima (m s.n.m)	1680	2053
Desnivel máximo (m)	1560	1047

Tabla 2.- Características morfométricas de las cuencas

Modelo de Elevación Digital (DEM)

Se ha recopilado información topográfica la misma que es producto una restitución aerofotogramétrica a escala 1: 25.000. Se ha usado interfase de ArcView como herramienta para calcular el DEM en la micro cuenca en estudio. El tamaño de la celda escogido fue de 25 x 25 m. Este procesamiento se muestra en la Figura 4.

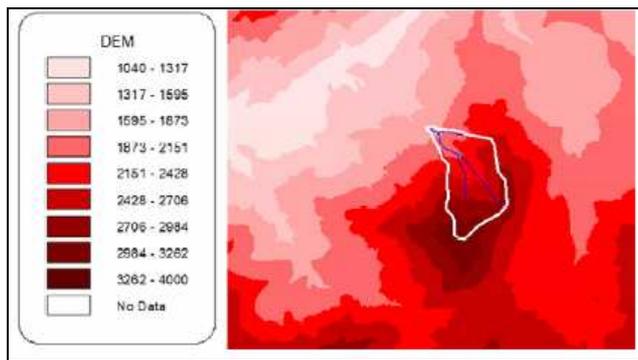


Figura 4.- DEM de la micro cuenca de Lise

Suelos

La información existente es escasa o nula en la zona, por lo que se ha levantado información mediante la descripción de 4 calicatas y la comprobación vía transectos. Se ha tomado muestras alteradas e inalteradas (anillos de Kopecky) para los análisis de laboratorio en cada uno de los sitios. Los suelos se han clasificado mediante el World Referente Base for Soil Resources (WRB) (FAO/ISRIC/ISSS, 1998). Este levantamiento le ilustra en la Figura 5 , la cuenca de Panamá está caracterizada por la presencia de Cambisoles y Leptosoles, mientras que para la micro cuenca de Lise existe el predominio de suelos Leptosoles.

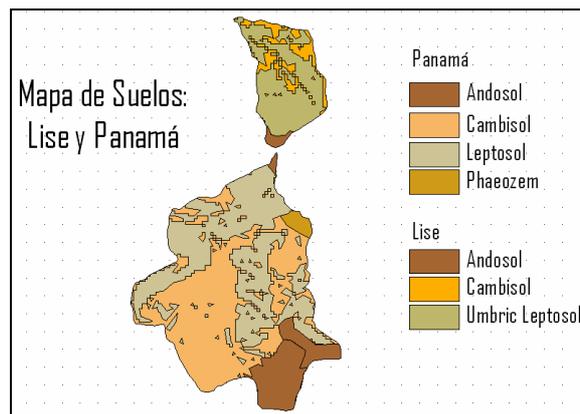


Figura 5.- Mapa de Suelos Lise y Panamá

Propiedades Físicas e hidrofísicas

A partir de muestras de campo, calicatas y ensayos de laboratorio se determinaron las características de estas dos micro cuencas de estudio, las cuales se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4 a continuación.

Tabla 3.- Características de los suelos de Lise

Parámetro	Suelo					
	Leptosol		Andosol		Cambisol	
Horizonte	A	Ac	O	A	Ap	Ac
Ks (mm/h)	8,2	3,98	47,18	40,06	3,52	26,16
FC (pF=2) %	0,54	0,47	0,57	0,66	0,48	0,54
WP (pF=4,2) %	0,24	0,33	0,43	0,15	0,3	0,4
% Arena	38	44	28	46	35	30
% Limo	36	28	52	38	33	40
% Arcilla	26	28	20	16	32	30
Densidad Aparente (gr/cm ³)	1,21	1,57	1,29	0,77	1,57	1,18
% Carbono = 0,58MO (%)	3,19	1,754	5,57	0,23	1,97	0,81

Fuente: Laboratorio de Hidrofísica de Suelos PROMAS

Tabla 4.- Características de los suelos de Panamá

Parámetro	Suelo					
	Phaeozems		Cambisol		Andosol	
Horizonte	A	Bt	A	B	A	B
Ks (mm/h)	1,13		0,15		0,32	
% Arena	27	17	27	41	51	33
% Limo	43	41	47	37	41	49
% Arcilla	30	42	26	22	8	18
Densidad Aparente (gr/cm ³)	1,36		0,68		0,68	
% Carbono = 0,58MO (%)	3,15	0,29	8,41	2,146	6,728	3,422

Fuente: Laboratorio de Hidrofísica de Suelos PROMAS

Uso del Suelo

Se ha recopilado información mediante inspección visual y se ha realizado el levantamiento mediante puntos de GPS. El uso del suelo predominante en Lise es matorral con presencia de bosque pequeño mixto, así como de pajonal de cobertura baja (Crespo, 2006), Panamá esta caracterizada por pastos. Sin embargo mediante la utilización del SIG, se determinó los diferentes tipos de coberturas para las dos micro cuencas, las cuales se especifican en la Tabla 5.

Cobertura	Lise		Panamá	
	Ha	%	Ha	%
Bosque siempreverde montano	9,54	4,07	6,21	0,62
Pajonal	1,17	0,50	2,07	0,21
Área degradada con cobertura	4,14	1,77	22,59	2,25
Cultivos	1,62	0,69	1,89	0,19
Pastos	28,17	12,01	573,03	57,19
Matorral húmedo montano	162,36	69,22	165,6	16,53
Área sin cobertura vegetal	2,88	1,23	27,9	2,78
Bosque Eucalipto	9,72	4,14	7,02	0,70
Espinar seco montano bajo	0,81	0,35	0	0
Bosque siempreverde montano bajo	8,19	3,49	0	0
Pajonal-pastos	0,45	0,19	0,45	0,04
Cultivos y pastos	0,99	0,42	15,75	1,57
Eucalipto-cultivos y pastos	1,08	0,46	13,95	1,39
Agricultura /pastos de secano	3,42	1,46	165,51	16,52
Area Total	234,54		1002,0	

Tabla 5.- Uso del Suelo para las micro cuencas Lise y Panamá

ORTIGAS, RÍO GRANDE Y CAPARINA

Localización

Estas micro cuencas de estudio se encuentran localizadas en la zona de la cuenca alta y media del Río Bulubulu, dentro del cantón Cañar, provincia del Cañar. En la Figura 6 se presenta un mapa del sitio del proyecto y la ubicación geográfica de las micro cuencas. Además se indican los sitios donde se han ubicados los sensores de medición. La ubicación en coordenadas y la altitud correspondiente de las secciones de control instaladas se indican en la Tabla 6.

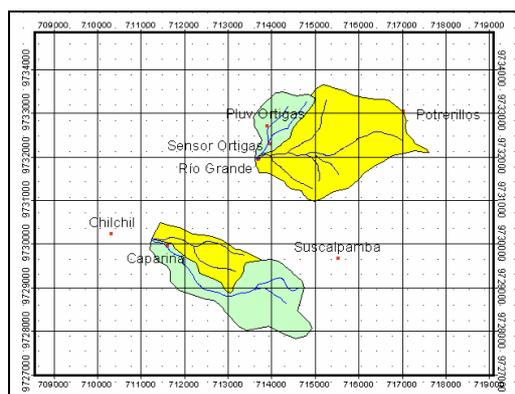


Figura 6.- Localización de la micro cuencas

Ubicación			
Sensor	UTM x	UTM y	Altura (ms.n.m)
Ortigas	713907	9732284	2305
Canal Río Grande	713611	9731939	2230
Caparina	711544	9729950	1982

Tabla 6.- Ubicación de las micro cuencas de estudio

El clima tiene dos estaciones marcadas: invierno (diciembre-mayo) y verano (junio-noviembre), la precipitación media anual para Ortigas y Río Grande bordea los 1200mm, mientras que Caparina presenta una precipitación media anual aproximada de 1000mm

El relieve de la zona en estudio se encuentran en la lateral oeste de la cordillera occidental de la sierra ecuatoriana, en la transición sierra – costa, por lo cual presenta un relieve pronunciado y accidentado con la presencia de pendientes pronunciadas, aspectos muy comunes en las micro cuencas de montaña, sus características se muestran en la Tabla 7.

Característica	Ortigas	Río Grande	Caparina
Área (ha)	0.99	5.49	3.5
Perímetro (m)	4750	10545	10853
Cota máxima (m s.n.m)	2880	3280	2840
Cota mínima (m s.n.m)	2305	2230	1982
Desnivel máximo (m)	575	950	858

Tabla 7.- Características morfométricas de las cuencas

La razón principal por la cual se eligió la micro cuenca de Ortigas es porque su cobertura vegetal, en casi toda su área de drenaje, es bosque natural primario (ver Figura 7). De esta forma esta cuenca servirá como modelo de referencia o patrón para estimar la respuesta hidrológica en zonas de similares características una vez que sea implementado el modelo hidrológico.



Figura 7.- Bosque montano Ortigas

Las características generales de estas micro cuencas se presentan en la Tabla 8.

Cuenca	Ortigas	Río Grande	Caparina
Tipo de Suelo	Andosol	Andosol Leptosol	Andosol Cambisol
Uso del Suelo	Bosque nativo	Ganadería y Agricultura	Agricultura
Estado	Inalterado	Alterada	Alterada
Cobertura Vegetal	Bosque nativo	Mixta	Pastos

Tabla 8.- Características generales de la micro cuencas

Suelos

Para realizar los estudios edafológicos se procedió con recorridos de identificación mediante barrenaciones a lo largo de transectos con el propósito de ubicar las diferencias más representativas en cuanto a los tipos de suelos. Una vez determinados los tipos de suelos, se seleccionaron sitios para un análisis con mayor detalle identificando los perfiles para proceder a tomar la información que permita determinar el grupo al cual corresponde cada suelo dentro del área del proyecto.

Además se recopilaron muestras de los horizontes superficiales y sub-superficiales para realizar los análisis de laboratorio respectivos. Con la información obtenida se pudo proceder a clasificar estos suelos encontrando que pertenecen a los grupos Andosol, Cambisol y Leptosol (Ver Figura 8)

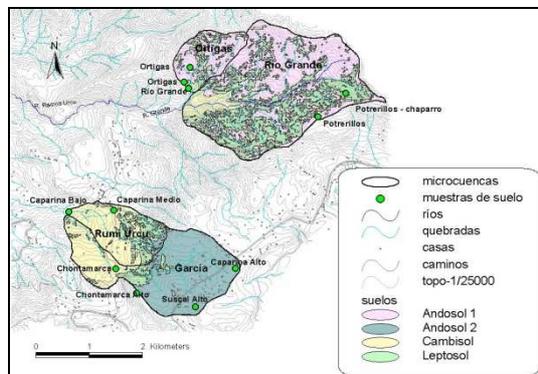


Figura 8.- Mapa de suelos para las micro cuencas

Características químicas y físicas de los suelos

Mediante ensayos de laboratorio se determinó el pH tanto en agua (H₂O) como en cloruro de potasio (KCl) y en las muestras cuyas características observadas en el campo correspondían a las de un Andosol se analizó el pH en fluoruro de sodio (NaF) cuyo dato es importante para determinar la presencia de materiales volcánicos típicos de estos suelos, además se analizó la textura y el contenido de materia orgánica (MO) los resultados se presentan en la Tabla 9. Esta información permitió determinar el grupo de suelos al cual pertenecen las micro cuencas.

Tabla 9.- Resultados de los análisis de laboratorio

Muestra	pH			MO	Arena	Limo	Arcilla	Densidad	Grupo	Calificador
	(H ₂ O)	(KCl)	(NaF)							
Río Grande Ap	6	5	10.9	18	42	43	15	0.58	Andosol	Umbrico
Ortigas Ap	5.6	4.7	11.1	9.1	50	35	15	0.82	Andosol	Umbrico
Caparina alto Ap	6.3	5.4	11.1	15	44	41	15	0.71	Andosol	Umbrico
Caparina medio Ap	6	4.4	10.4	1.3	34	35	31	1.10	Cambisol	Dystrico
Río Grande Bw	5.7	1.3		1.3	46	35	19	1.40	Cambisol	Districo

Fuente: Laboratorio de Hidrofísica de Suelos PROMAS

Se analizó las propiedades hidrofísicas de estas cuencas, a continuación en la Tabla 10 se presenta un resumen de los parámetros del modelo de van Genuchten para la obtención de la curva de retención de agua en el suelo.

Tabla 10.- Parámetros del Modelo de Van Genuchten obtenidos para la obtención de curvas de retención de agua en el suelo

Lugar	Horizonte	θ_s	θ_r	α	n	m
		(cm ³ .cm ⁻³)	(cm ³ .cm ⁻³)	1.cm ⁻¹		
Ortigas	Ap	0.62	0.170	0.0012	2.301	0.565
Río Grande	Bw	0.524	0.000	0.0331	1.100	0.091
Río Grande	Ap	0.714	0.000	0.0059	1.088	0.081
Caparina Medio	Ap	0.549	0.288	0.0011	1.620	0.383
Caparina Alto	Ap	0.717	0.287	0.0013	2.081	0.519

Fuente: Laboratorio de Hidrofísica de Suelos PROMAS

Uso del suelo

Se realizó un reconocimiento de la zona para definir las clases de cobertura, con el objetivo de empezar la recolección de sitios de entrenamiento y verificación utilizando un GPS. Posteriormente mediante la utilización del GIS se determinaron las clases de cobertura para estas micro cuencas, el resumen se presenta en la Tabla 11 a continuación.

	Río Grande		Caparina		Ortigas	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Pastos	184.3	33.3	290.9	94.2	21.9	22.0
Bosque Montano	156.4	28.3	3.51	1.1	73.1	73.6
Chaparro	212.1	38.4	14.4	4.7	4.3	4.4
Total	552.9		308.8		99.3	

Tabla 11.- Cobertura vegetal en las cuencas del Río Grande, Caparina y Ortigas

Se observa que en las micro cuencas Río Grande predomina el chaparro (38.4 %), y en la Quebrada San Anselmo (Ortigas) el bosque montano (73.6 %). La clase pastos es la que cubre mayoritariamente a Caparina (94.2 %). En esta micro cuenca se nota una mayor intervención humana y quedan muy pocos relictos de bosque montano sobretodo en las partes más inaccesibles. Además el hecho de estar cerca de la carretera, sin duda ha contribuido para que grandes áreas se hayan convertido en zonas de pastos destinados a la ganadería. Otro factor preponderante es que la topografía en estas dos quebradas se presenta menos accidentada que en los otros casos y existen muchas zonas planas.

PINOS Y MARIANZA

Localización.- Dos micro cuencas con diferente cobertura vegetal fueron identificadas por medio de una imagen satelital y fotografías aéreas que posteriormente fueron localizadas con precisión en la correspondiente visita de campo, las mismas que se encuentran en zonas de páramo. Estas micro cuencas se ubican al noroeste de la ciudad de Cuenca (ver Figura 9), la carretera principal de acceso es la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal.

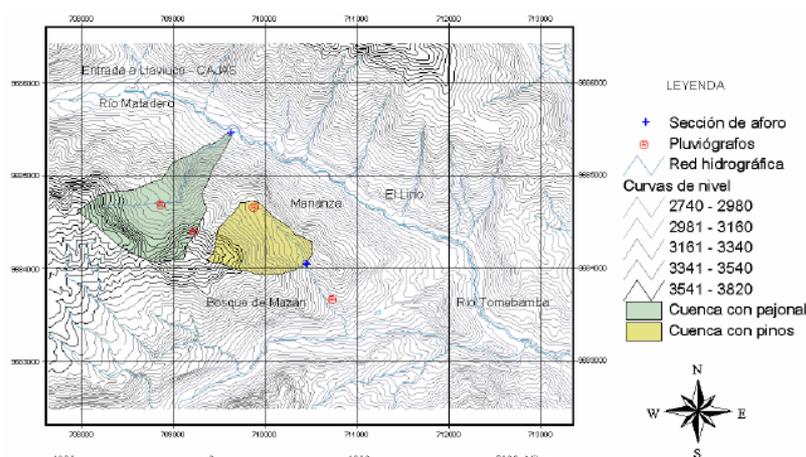


Figura 9.- Localización de la micro cuencas de páramo

Para conocer el área exacta de cobertura vegetal predominante se realizó un levantamiento con G.P.S., presentando para la micro cuenca con pajonal un 86.4 % del área de la misma como vegetación predominante y un 98 % de pinos en la otra micro cuenca. En ambas cuencas se distingue áreas con bosque nativo secundario cuya extensión correspondería al área restante de

cada micro cuenca. El resumen se indica en la Tabla 12 así como las características de la cuenca ilustradas en la Tabla 13.

Cuenca	Pajonal	Pinos
Tipo de Suelo	Andosol	Andosol
Uso del Suelo	Ganadería Extensiva	Pinos
Estado	Inalterada	Forestada
Cobertura Vegetal	Pajonal	Pinos

Tabla 12.- Características generales de las micro cuencas del Páramo

Característica	Pajonal	Pinos
Área (ha)	1.003	0.590
Perímetro (m)	4816	3102
Cota máxima (m s.n.m)	3740	3700
Cota mínima (m s.n.m)	2980	3240
Desnivel máximo (m)	760	460

Tabla 13.- Características morfométricas de las cuencas

Clima

El páramo está caracterizado por un clima frío y húmedo. La precipitación es extremadamente variable en espacio y tiempo. Generalmente, las intensidades de lluvia son bajas. Los vientos pueden ser muy fuertes y altamente variables en dirección, debido a las pendientes fuertes y lo accidentado de la topografía (Buytaert, 2004).

El clima de los páramos andinos es el característico de los trópicos fríos con una temperatura media inferior a los 7°C. La precipitación en los páramos depende de la ubicación específica del páramo, sin embargo podemos tomar la referencia calculada para el Parque Nacional Cajas (PNC) realizada en base a estaciones de las vecindades del parque y al empleo de polígonos de Thiessen (Guzmán y Tobar, 2002); es pertinente aclarar que, se hace referencia al Parque Nacional Cajas, por la cercanía y similitud de condiciones de este, con las micro cuencas que son objeto de estudio; así la precipitación media anual estimada para el PNC, correspondiente al período 1965 – 1995, es de 1.066 mm, habiendo disminuido en un año al valor de 829 mm y alcanzando a su vez los 1.343 mm en otro. A nivel referencial en el último año en Marianza se registro precipitaciones que superaron los 1000mm.

Vegetación y Uso del Suelo (Guzmán 2004)

Es importante destacar la importancia del páramo no desde el punto de visto de cantidad de especies, puesto que comparado con otros ecosistemas tropicales éste contiene una riqueza menor, pero sí destacar la singularidad de las especies que coexisten en él (Smith y Cleef, 1988).

La composición florística de la vegetación de un páramo puede cambiar drásticamente de un lugar a otro, dentro de un mismo rango altitudinal, dependiendo de la geomorfología (ladera, valle, cumbre), el nivel de anegación, la vertiente atlántica o pacífica, etc. Estos diferentes ensambles de especies pueden clasificarse en unidades a través del paisaje en función de sus diferencias florísticas, climáticas o edáficas (Serrano y Minga. 2002).

El páramo herbáceo es la comunidad vegetal mejor representada en los páramos aledaños a la ciudad de Cuenca sobre todo en el Parque Nacional Cajas y es la comunidad vegetal predominante en la micro cuenca de Marianza.

El uso del suelo está bien definido para ambas micro cuencas de páramo en caso de la micro cuenca de pajonal el uso es exclusivo para ganadería extensiva, mientras que la micro cuenca de pinos es propiamente ocupada por bosque.

Suelos

El ecosistema conocido como páramo en la zona andina está ubicado altitudinalmente sobre los 3000-3500 m s.n.m. El relieve de los páramos andinos en general se caracteriza por su gran irregularidad, con variaciones abruptas entre los planos aledaños a los cauces de los ríos y las escarpas de los picos montañosos. La variedad de formaciones y combinaciones de irregularidades determinan el relieve de páramo andino como irregular, con pendientes predominantes superiores al 25%.

El suelo más común en páramos es de origen volcánico y se lo conoce técnicamente con el nombre de Andosol, del japonés que significa “tierra negra”. Este color Negro viene del alto contenido de materia orgánica, que por bajas temperaturas no se descompone rápidamente. Además, el aluminio de la ceniza volcánica y la materia orgánica se combinan para formar vesículas muy resistentes a la descomposición por edafofauna.

Estos complejos se llenan de agua; ésta es retenida por un periodo relativamente largo y liberada lenta y constantemente. Es por esto que el páramo no debe considerarse un productor de agua (que viene de la lluvia, los deshielos, la neblina) sino un recogedor de ella y un regulador de su flujo (Malangón y Pulido, 2000; Podwojeski y Poulénard, 2000).

Aunque normalmente se distingue más de un horizonte en el páramo, en su mayoría están caracterizados por los Andosoles los cuales tienen un color negro característico con altos contenidos de humedad de hasta un 80% de volumen de agua en capacidad de campo (Buytaert et al., 2002).

La materia orgánica normalmente está alrededor del 8% en la superficie del horizonte de suelo en tanto que en los perfiles más oscuros asciende sobre 30%. Una de las características es su untuosidad o su tixotropía que es el efecto de volverse resbaloso o aceitoso cuando es sometido a presión.

Las propiedades físicas típicas de los Andosoles son: densidad aparente baja, típicamente menor a 0.9 Mg/m^3 con valores menores a 0.3 Mg/m^3 encontrados en Andosols altamente hidratados, baja densidad aparente, una alta capacidad de retención de agua, un alto valor de deshidratación irreversible, una buena estabilidad de los microagregados, poca dispersión coloidal, alta susceptibilidad a la erosión y una alta friabilidad cuando seco (estado polvizo, baja densidad, agregados flotantes).

La macro porosidad es altamente desarrollada en el horizonte superficial, pero hay una macro porosidad restringida en el horizonte subsuperficial. (Deckers et al., 1998).

Además algunos autores describen a los Andosols como suelos con un excelente drenaje debido a su alta porosidad y su ubicación en terrenos con altas pendientes (FAO, 2001). Las propiedades hidrofísicas propias de los suelos de Marianza se resumen en la Tabla 14 siguiente.

Tabla 14.- Características de los suelos del Páramo

Micro cuenca	Pajonal						Pinos
Suelo	Andosol						Andosol
Horizonte	Ah	Au1	Ah1	Ah2	A	AC	A
Ks (mm/h)	44		14.46			10.15	19,55
FC (pF=2) %	0.75		0.74	0.75		0.75	0,61
WP (pF=4,2) %	0.45		0.46	0.41		0.41	0,41
% Arena	37	41	41	35	45	33	
% Limo	36	34	34	32	24	34	
% Arcilla	27	25	25	33	31	33	
Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.52		0.5	0.48		0.46	0,69
% Carbono = 0,58MO (%)	7.2	5.9	8.5	7.3	3.9	3.1	

Fuente: Laboratorio de Hidrofísica de Suelos PROMAS

GUABALCON

Ubicación

La cuenca del Río Guabalcón (Figura 10) se ubica en la región Andina del centro del Ecuador, en la Sierra Occidental en el cantón Chunchi, pertenece a las parroquias Compud y Llagos, geográficamente esta entre las coordenadas 728331, 9749477 N; 734230, 9734487 S; 725834, 9741798 O y 735237, 9735495 E. Altitudinalmente el punto más bajo esta a 1370 y el más alto a 4420 ms.n.m.

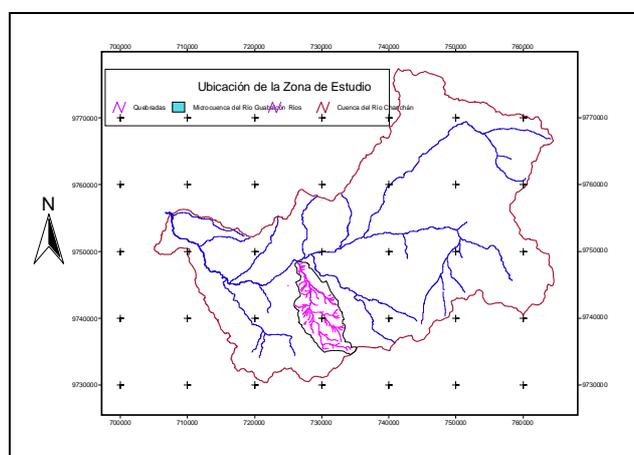


Figura 10.- Ubicación de la cuenca del Chanchán y Guabalcón

El río Guabalcón forma parte del sistema hídrico de la cuenca del río Chanchán, que desemboca en el Pacífico. Está formado por la unión de los ríos Guabalcón y Turmas, que nacen en los páramos. Aguas arriba recibe la afluencia de las quebradas Compud, Cuchicorral, Tinajeras además de otras pequeñas quebradas.

Dentro de la cuenca se encuentran poblados como Piñancay, Pasoloma, Verdepamba y Compud, muy cerca también se encuentran los poblados de Chunchi y Huigra, Capsol, Santa Rosa y Joyagshi.

Geomorfología

Para este análisis se utilizó una base topográfica en escala 1:10000, con este mapa topográfico se construyó un Modelo Digital de Elevación (DEM) del mismo que se derivó el mapa de pendientes en el cual se reclasificaron las pendientes utilizando rangos preestablecidos los mismos que se pueden ver en la Tabla 15.

Clase	Rango %	Ha	% del área
1	0-12	268.34	4.1
2	12-25	1166.97	17.7
3	25-50	2426.98	36.9
4	50-75	1930.23	29.4
5	75-100	656.43	10.0
6	>100	127.39	1.9
Total		6576.34	100

Tabla 15. Rangos de pendientes por superficie ocupada y como porcentaje del total del área

La micro cuenca presenta un paisaje montañoso en donde predominan las pendientes fuertes entre el 25 y el 75 % de inclinación, pendientes muy fuertes representan el 10% del área total y extremadamente fuertes con más del 100% de inclinación cerca de 2 %. Las tierras planas son pocas alrededor del 4% y las onduladas de hasta el 25 % de inclinación están ocupando un 18 % del área total.

Como puede observarse en la micro cuenca predominan las pendientes fuertes, y las partes más planas se encuentran en la margen derecha del río, mientras lo accidentado de la topografía se ubica en la margen izquierda, las laderas muestran relieves abruptos. Las cimas de los contrafuertes son redondeadas. Las características morfológicas se presentan en la Tabla 16.

Cuenca	Guabalcón
Área (km ²)	65.83
Perímetro (Km.)	41.85
Pendiente media de la cuenca (%)	56
Longitud de Máximo Recorrido (Km.)	18.5
Pendiente del cauce máximo (%)	16
Índice de Compacidad	1.44
Forma de la cuenca	Ovalada Alargada
Factor Forma	0.19
Tipo de Relieve	Accidentado
Tiempo de Concentración (min)	189

Tabla 16.- Características Morfométricas de la micro cuenca de análisis

Uso del suelo

Se han ubicado 5 diferentes zonas con diferentes usos del suelo en la micro cuenca:

Zona 1, deshabitada y cubierta con una vegetación típica de páramo con una gran extensión plana en la planicie de Tinajeras (sur de la micro cuenca), nombre derivado de la presencia de grietas muy grandes en el suelo que están cubiertas por el pajonal y en donde los vaqueros del páramo reportan graves accidentes ya que en ellas es posible caerse y quedar atrapado tanto reses como jinetes, estas cavidades se han desarrollado por el arrastre del suelo por la escorrentía. Esta zona es utilizada para pastoreo comunal.



Continúa esta ecología hacia la Zona 2 con el descenso por la quebrada Tinajeras que presenta un cañón profundo en forma de V ocasionado por el arrastre de tierras por el hielo en la época glaciaria, esta quebrada permanece estable gracias a la cobertura vegetal de pajonal, en cotas más bajas la cobertura es de bosques y principalmente chaparro que la protege de acciones erosivas por el torrente o por la lluvia, esto se nota también en las otras quebradas que descienden desde las cotas más altas.



La Zona 3 presenta un paisaje con terrazas coluviales y laderas escarpadas con el cerro Puñay dominando el flanco oeste, y con torrentes de agua que descienden desde los paramos mas altos, aquí tenemos áreas como Cullun, Sawin Paccha, Compud dedicadas a la producción de leche, son zonas con pastizales irrigados.



La Zona 4 con características mas degradadas debido a la inestabilidad del suelo se presenta en el valle de Piñancay con sus aledaños en Verdepamba, Pasaloma, Salaceo, Guaycoguabalcón, esta es una región agrícola y ganadera cuyos productos son de ciclo corto, predominando una rotación de maíz, fréjol, pepino (dulce) entre los principales cultivos comerciales, se observan cicatrices de movimientos de masa superficiales, áreas con pobre drenaje que se convierten en potenciales derrumbes, los mismos que son comunes y mortíferos al llegar eventos de lluvia fuertes como los que se presentan durante el fenómeno del Niño.



La región correspondiente a la Zona 5 de la micro cuenca se encuentra en cotas más bajas aquí la micro cuenca se estrecha formando un cañón profundo con abismos impresionantes, se aprecian algunas terrazas aprovechadas por los pobladores para la agricultura bajo riego, sin embargo la gran mayoría de esta parte de la cuenca corresponde a tierras inaprovechables dominadas por una cobertura de especies arbustivas y herbáceas propias de climas semiáridos y que sufren los embates del fuego causado periódicamente por los pobladores en la región.



En la Tabla 17 se presenta las 5 zonas y la superficie que ocupan dentro de la micro cuenca.

Zona	Uso	Ha	%
1	Páramo pajonal	975.36	14.8
2	Chaparro pajonal	1133.96	17.2
3	Pastos chaparro	2776.74	42.2
4	Cultivos pastos	1221.93	18.6
5	Maleza cultivos	475.11	7.2
Total		6583.10	100.0

Tabla 17.- Uso del suelo en la micro cuenca del Guabalcón

Cobertura vegetal

Utilizando una Imagen satelital Landsat para realizar una clasificación supervisada de la cobertura se logró desarrollar el mapa de la cobertura vegetal de la cuenca del río Chanchán. Con esta información y mediante una computación de las superficies ocupadas con cada tipo de cobertura dentro de la cuenca se establecieron los porcentajes de presencia de cada una de ellas, de igual manera se procedió para la micro cuenca del río Guabalcón.

En cuanto se refiere al uso de suelo, se determina la predominancia de espacios ocupados con pastos el 36%, agricultura y pastos de secano el 11 % páramos en un 15%, área de bosque natural 15 %, vegetación arbustiva 10%, entre otros, los cultivos de ciclo corto ocupan superficies mayores a los cultivos perennes, los primeros muy dispersos en toda la cuenca y los segundos muy localizados en la parte baja. Los pastos y los cultivos generalmente se encuentran

asociados, dependiendo del grado de importancia, es decir, cuando a veces el pasto es predominante o en ocasiones hay una predominancia de los cultivos de ciclo corto.

No existen acciones importantes de conservación de suelos, de forestación o reforestación. Son muy escasos los lugares donde han existido acciones de siembra de especies naturales de la zona, y menos aún con otras especies.

Se ha elaborado el mapa de uso del suelo de la cuenca del Chanchán mediante el análisis de fotografías satelitales y la utilización del SIG, el resultado es un mapa general de la cuenca que se ilustra a continuación. De este mapa se rescata las coberturas de la cuenca del Guabalcón, el análisis y sus resultados se presentan en la Figura 11 y la Tabla 18.

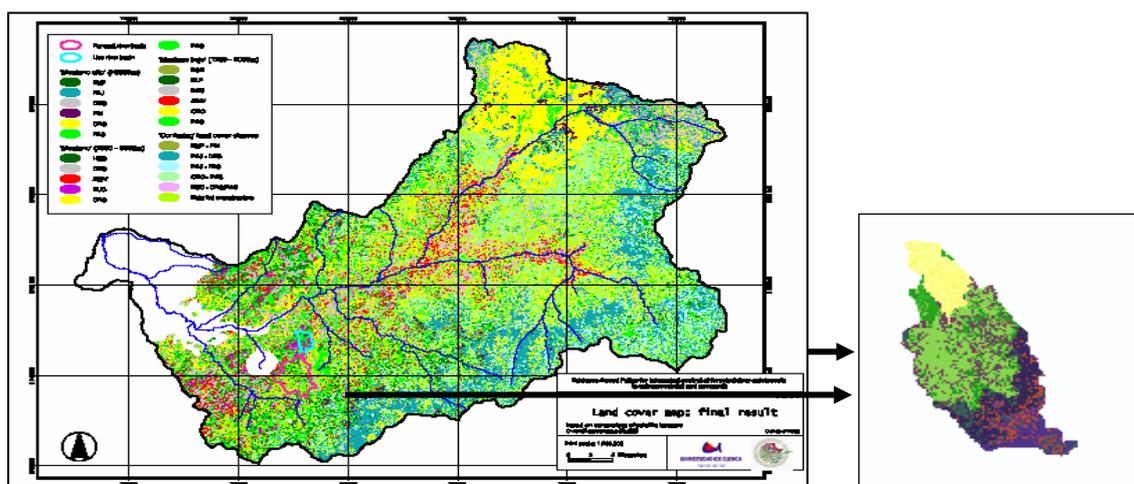


Figura 11.- Cobertura vegetal en la cuenca del río Chanchán y Guabalcón

Código	Cobertura	Ha	%
EMF	Bosque siempre verde montano	856	13,01
PAJ	Pajonal	502	7,62
DEG	Área degradada con cobertura	521	7,91
PIN	Bosque Pinos	43	0,66
CRO	Cultivos	450	6,84
PAS	Pastos	2.230	33,89
HMS	Matorral húmedo montano	378	5,75
AWV	Área sin cobertura vegetal	161	2,45
EUC	Bosque Eucalipto	29,8	0,45
DSR	Espinar seco montano bajo	131	1,99
EMF-PIN	Bosque y Pinos	114	1,73
PAJ-DEG	Pajonal degradado con cobertura	182	2,77
PAJ-PAS	Pajonal-pastos	51	0,78
CRO-PAS	Cultivos y pastos	144,7	2,20
EUC-CRO/PAS	Eucalipto-cultivos y pastos	53,3	0,81
RAIN FED CROPS/PASTURE	Agricultura /pastos de secano	715,4	10,87
Área Total (ha)		6580,9	

Tabla 18.- Cobertura vegetal en la micro cuenca del río Guabalcón

Relación espacial de los diferentes tipos de cobertura entre la Cuenca del río Chanchán y la micro cuenca del río Guabalcón

Utilizando los datos obtenidos se efectuó una comparación entre las 2 cuencas con el propósito de establecer el grado de representatividad de la micro cuenca del río Guabalcón reflejada en la cuenca del río Chanchán. Se calculó la desviación estándar para la diferencia entre cada una de las coberturas identificadas por medio de la imagen satelital obteniéndose de esta manera los datos presentados en la Tabla 19.

Cobertura	Desv. Estándar
Bosque siempre verde montano	6,94
Pajonal	2,24
Área degradada con cobertura	1,85
Bosque Pinos	0,06
Cultivos	10,51
Pastos	10,63
Matorral húmedo montano	1,93
Área sin cobertura vegetal	0,19
Bosque Eucalipto	0,07
Espinar seco montano bajo	1,40
Bosque siempre verde montano bajo	0,45
Bosque y Pinos	0,95
Pajonal degradado con cobertura	0,29
Pajonal-pastos	1,03
Cultivos y pastos	3,63
Eucalipto-cultivos y pastos	0,04
Agricultura /pastos de secano	0,78

Tabla 19.- Desviación Estándar para las coberturas entre las cuencas del río Chanchán y Guabalcón

Como puede observarse en la Tabla 19, los porcentajes de las coberturas que mayormente discrepan entre las 2 cuencas son el Bosque siempre verde montano, las zonas con cultivos, y las zonas con pastos, las demás coberturas tienen una buena relación de representatividad entre la cuenca del Chanchán y la micro cuenca del Guabalcón designada para ser la zona piloto en este proyecto.

Geología

La presente descripción fue extraída del mapa geológico del Ecuador, según el cual, la geología en la micro cuenca del Guabalcón data del período terciario en un 64 % principalmente del Eoceno medio Tardío a Mioceno los materiales presentes corresponden a areniscas tobáceas y en cantidades menores hay limonitas, brechas detríticas y tobas esto en la denominada formación Cisarán, en la formación Tarqui se presentan tobas ácidas, blancas a rojas; en el Grupo Saraguro (unidad Puñay) son lavas andesíticas con Anfíboles, brechas, areniscas, limonitas y capas rojas, en la cabecera de la micro cuenca afloran rocas intrusivas que datan del Cretáceo. El 36 % restante corresponde a minerales del Cuaternario muy probablemente del Holoceno, se presentan en derrumbes y deslizamientos de masa con grava y arena sueltas, en terrazas y depósitos aluviales y coluviales. La Tabla 20 contiene las principales Litofacies que están presentes en la micro cuenca del río Guabalcón.

Litofacies	Edad	Area ha	%
Areniscas Tobáceas, Cantidades Menores de Limolitas, Brechas Detríticas y Tobas	Eoceno Medio Tardío a Mioceno	333.13	5.1
Areniscas Tobáceas, Cantidades Menores de Limolitas, Brechas Detríticas, Tobas. Base Andesita-Dacita	Eoceno Medio Tardío a Mioceno	879.28	13.4
Deslizamientos de Masa y Derrumbes	Holoceno	1712.44	26.0
Grava y Arenas Sueltas	Holoceno	529.94	8.1
Lavas Andesíticas con Anfíbol, Brechas, Areniscas, Limolitas y Capas Rojas	Eoceno Medio Tardío a Mioceno	1128.43	17.2
Plutones Calcoalcalinos de Tonalitas y Granodioritas con Hornblenda y Biotita	Cretácico	172.91	2.6
Tobas Acidas, Blancas a Rojas	Eoceno Medio Tardío a Mioceno	1821.56	27.7
Total		6577.69	100.0

Tabla 20 .- Principales litofacies, superficie que ocupan y % del área en la micro cuenca del río Guabalcón

Clima

La micro cuenca presenta grandes diferencias en cuanto al clima, siendo la precipitación muy variable en su cantidad total, de registros pluviométricos obtenidos en la parte alta y baja de la micro cuenca tenemos la siguiente información. En la parte media y baja de la micro cuenca el total acumulado de lluvias es de 700 mm, por otro lado en la parte alta a una cota sobre los 4000 ms.n.m. se registran 1050 mm. Los siguientes registros climáticos corresponden a la estación meteorológica Namza, ubicada en la parte baja de la cuenca en una cota de 1700 m.s.n.m. Los datos corresponden a una serie de un año.

La temperatura promedio en la parte media es de 15 °C, las máximas están alrededor de los 27°C y las mínimas en los 11 °C. La humedad relativa registra los siguientes valores: una máxima del 100%, la mínima es de e orden del 40 % y en promedio tenemos un 90 %. La radiación solar es de 164 Watts/m² promedio anual

La velocidad del viento promedio esta en el orden de 1.65 m/s. La estación meteorológica a esta altitud registra una presión barométrica de 811 milibares. El punto de rocío promedio esta alrededor de los 13.5 °C. La Evapotranspiración de referencia y en promedio tenemos 2.36 mm/día con una máxima de 3.44 mm/día en el mes de Agosto.

Utilizando la información obtenida en de los pluviógrafos instalado en las cuencas vecinas “Panamá” y “Lise” se ha calculado las intensidades máximas para 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas con un período de retorno de 2, 5, 25, 50 y 100 años, los datos así obtenidos se presentan en las Tabla 21 y Tabla 22.

PANAMA	Intensidades máximas horarias (mm/h)						
	Duración (h)						
T	1	2	4	6	8	12	24
2,0	5,25	4,25	3,23	2,52	2,11	1,58	0,91
5,0	7,56	5,93	4,43	3,31	2,75	2,10	1,27
25,0	11,02	8,44	6,22	4,49	3,71	2,88	1,82
50,0	12,46	9,49	6,96	4,98	4,10	3,20	2,04
100,0	13,88	10,52	7,69	5,47	4,50	3,52	2,27

Tabla 21.- Intensidades máximas horarias para la micro cuenca del río Panamá:

LISE	Intensidades máximas horarias (mm/h)						
	Duración (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
T							
2,0	5,74	4,00	2,71	2,03	1,60	1,09	0,69
5,0	9,67	6,52	4,06	2,98	2,38	1,60	0,93
25,0	15,56	10,31	6,08	4,39	3,54	2,37	1,29
50,0	18,01	11,88	6,92	4,98	4,02	2,69	1,44
100,0	20,43	13,44	7,75	5,56	4,50	3,01	1,59

Tabla 22.- Intensidades máximas horarias para la micro cuenca del río Lise

Con el propósito de visualizar la cantidad máxima de precipitación para estas mismas duraciones de lluvia y los mismos períodos de retorno, se presenta la Tabla 23 y Tabla 24 que contienen esta información.

PANAMA	Precipitaciones máximas (mm)						
	Duración (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
T							
2,0	5.25	8.5	12.9	15.1	16.9	19	21.8
5,0	7.56	11.9	17.7	19.9	22	25.2	30.5
25,0	11.02	16.9	24.9	26.9	29.7	34.6	43.7
50,0	12.46	19	27.8	29.9	32.8	38.4	49
100,0	13.88	21	30.8	32.8	36	42.2	54.5

Tabla 23.- Precipitaciones máximas para la micro cuenca del río Panamá

LISE	Precipitaciones máximas (mm)						
	Duración (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
T							
2,0	5.74	8	10.8	12.2	12.8	13.1	16.6
5,0	9.67	13	16.2	17.9	19	19.2	22.3
25,0	15.56	20.6	24.3	26.3	28.3	28.4	31.0
50,0	18.01	23.8	27.7	29.9	32.2	32.3	34.6
100,0	20.43	26.9	31	33.4	36	36.1	38.2

Tabla 24.- Precipitaciones máximas para la micro cuenca del río Lise

Como información complementaria se agregan la precipitación máxima registrada en 24 horas y la Intensidad máxima registrada en 30 minutos en los diferentes pluviógrafos instalados en la cuenca del río Guabalcón así como la registrada en las cuencas vecinas, cuyos resultados se esquematizan en la Tabla 25.

Pluviógrafo	P máxima en 24 horas	I ₃₀ (mm/h)
Pacchala	50.2	18.8
Llagos	56.0	20.8
Santa Rosa	51.4	21.2
Joyagshi	49.0	27.2
Namza Lise	35.2	27.6
Puñay	31.0	14.4
Tinajeras	28.4	23.6
Piñancay	19.6	18.8

Tabla 25.- Precipitación máxima en 24 horas e Intensidad máxima en 30 minutos para los 7 pluviógrafos en el área de estudio

Considerando series históricas más largas, obtenidas de la Red Meteorológica Nacional de las estaciones Pachamama y Chunchi que están dentro de la cuenca del río Chanchán pero no en la micro cuenca del río Guabalcón se ha procesado la información que se presenta en la Tabla 26.

Código	Nombre estación	Años registro	Altura	UTMX	UTMY	Temp. media anual (°C)	Temp. máxima anual (°C)	Temp. mínima anual (°C)	Prec. Max 24h (mm)
M - 135	Pachamama	34	3690	747167	9757354	9.5	22.2	2	402 Abr 83
M - 136	Chunchi	34	2245	731142	9748374	16.4	26	12	80.9 Feb 80

Tabla 26.- Temperatura media, máxima y mínima anual y precipitación máxima en 24 horas registrada en las estaciones de Pachamama y Chunchi

Edafología

En la micro cuenca del río Guabalcón existe una diferencia altitudinal de 3050 m, esto trae como consecuencia diferencias de temperatura al igual que en la cantidad y distribución de la precipitación, consecuentemente la meteorización y la producción de biomasa que luego se transforma en materia orgánica del suelo varían considerablemente en los diferentes pisos dentro de la micro cuenca. Como se ha manifestado la micro cuenca posee un relieve montañoso abrupto lo cual conduce a procesos de erosión y deposición de los suelos, por otro lado el material parental proviene de diferentes orígenes y edades, estos antecedentes que remarcan la variable naturaleza de los factores pedogenéticos advierten una variabilidad enorme en las características edafológicas de los suelos presentes en esta área de estudio.

Mediante el uso de metodologías descriptivas mediante transectos de observación en el campo y utilizando medios digitales para referenciar la variabilidad edafológica observada, se ha procedido a la representación de esta información en un mapa de suelos cuyo sistema de clasificación está enmarcado en la propuesta realizada por la FAO (WRB; SICS-AISS-IGB; FAO; ISRIC; 1999). La Figura 12 presenta el mapa de suelos elaborado para la cuenca de Guabalcón

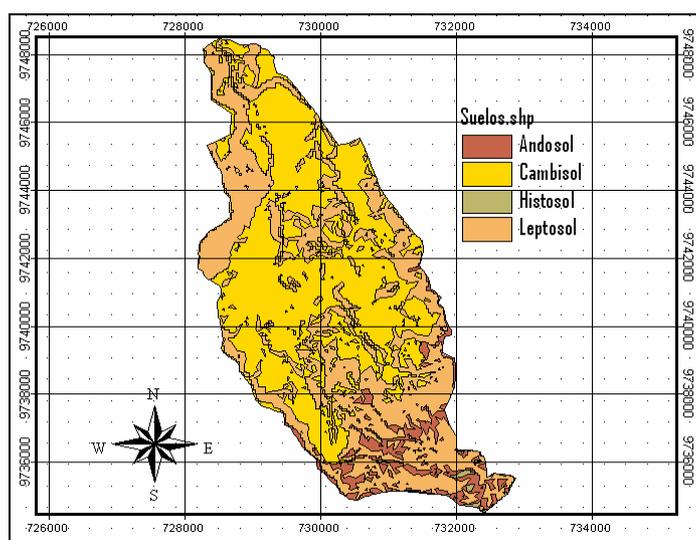


Figura 12.- Mapa de suelos de la cuenca de Guabalcón

Grupo de Suelo	Ha	%
Andosol	569.57	8.6
Cámbisol	3280.98	49.8
Hístosol	23.00	0.3
Léptosol	2714.80	41.2
Total	6588.35	100

Tabla 27.- Principales grupos de suelos en la Micro cuenca del río Guabalcón

De acuerdo con la Tabla 27 se pueden distinguir los grupos de suelos predominantes considerando los pisos altitudinales. En la cabecera de la micro cuenca se presentan principalmente suelos del grupo de los Andosoles, y en las partes planas y con mayor humedad se encuentran Hístosoles con un porcentaje muy bajo, más abajo bordeando la cota de los 2800 m.s.n.m dominan aún los Andosoles estos son Umbricos en donde el relieve permite una acumulación de ceniza libre de procesos erosivos y en la partes escarpadas se observan Leptosoles con características Andicas pero poco profundas. Resumiendo se puede agregar que los Andosoles representan un 9% los Hístosoles un 0.3% del área en la micro cuenca.

En la parte intermedia de la micro cuenca se presentan suelos francos a arcillosos, con alta saturación de bases y un contenido de materia orgánica superior al 3 %, estas características califican para ser considerados dentro del grupo de los Phaeozems con una variabilidad hacia Cámbisoles Eútricos y Vérticos en las partes más planas y en las mas escarpadas aparecen suelos muy superficiales del grupo de los Leptosoles. El área con Cámbisoles representa un 50 % de la micro cuenca, esto es de esperarse ya que la zona intermedia es geológicamente inestable y los materiales están mezclados además es la que recibe la mayor presión ambiental debido a que es la parte más poblada.

En el piso inferior de la micro cuenca, se pueden apreciar suelos coluviales en terrazas estos suelos son Cambisoles Eutricos, en algunos casos la presencia de arcillas activas proporciona características vérticas a los suelos, sin embargo la mayor parte de esta zona está cubierta por suelos superficiales sobre lavas andesíticas, por lo tanto han sido clasificados como Leptosoles y dominan el área. Los suelos superficiales el Grupo de los Leptosoles estarían presentes en un 41m % del área de la micro cuenca.

SECTION 4

DATA COLLECTION

EQUIPAMIENTO

Precipitación

Todas las micro cuencas de investigación fueron equipadas para monitoreo de la precipitación, caudal y clima. Un total de 17 pluviómetros fueron instalados en las 7 micro cuencas, con resoluciones de impulso de 0.254mm y 0.2mm dependiendo el caso. Los pluviómetros instalados se muestran en la Figura 13 a continuación.



Figura 13.- Pluviómetros instalados “Rain Collector II y HOBO datalogger”

Medición del caudal.

La medición de caudales se realiza mediante estaciones de aforo en las cuales se tiene la infraestructura necesaria para medir alturas de agua mediante sensores de nivel (Figura 14), los cuales mediante curvas calibradas convenientemente de acuerdo a las estructuras de medición nos da los caudales instantáneos que salen por el cauce del río.

Para la determinación adecuada de los caudales en cada micro cuenca se implemento:

- Un vertedero triangular de cresta delgada (Figura 15)
- Un transductor de presión sumergible, sensor ubicado aguas arriba del vertedero para medir la altura de agua sobre la cresta del vertedero.
- Un instrumento que registra automáticamente el nivel del agua o datalogger.



Figura 14.- Transductor de Presión (Global water instrument, USA)



Figura 15.- Sección de control.- Vertedero triangular instalado en Lise

Medición de datos climatológicos (Cálculo de Eto)

Para la medición de los datos de clima se utilizan las estaciones meteorológicas de: Chontamarca, Marianza (Figura 16) y Namza para la determinación de la Eto diaria, los parámetros obtenidos de las estaciones son:

- Velocidad del viento a 2,0m sobre la superficie del suelo, en m/s
- Dirección del viento
- Precipitación en mm
- Radiación solar en W/m^2
- Temperatura $^{\circ}C$ (max, min, media)
- Humedad relativa (max, min, media)
- Presión Barométrica (mm/bar)
- Punto de Rocío $^{\circ}C$

Con todos estos parámetros se determinó la evapotranspiración de referencia (Eto) característica para cada cuenca y se analizó la variación de la misma para diferentes alturas.



Figura 16.- Estación meteorológica en Marianza (Campbell)

El equipo de monitoreo se ubicó estratégicamente en las micro cuencas, las mismas que presentan las siguientes características mostradas en la Tabla 28 a continuación.

Cuenca	Rango Altitudinal	Área Aporte	Uso de suelo	Suelo
	m	Km ²		
Lise	3240-1695	2.34	Matorral	Umbric Cambisol
Panamá	3080-2053	10.01	Deforestado, pastos	Cambisol Leptosol
Ortigas	2925-2330	0.99	Bosque natural	Andosol
Río Grande	3280-2220	5.53	Agricultura, pastos	Andosol Leptosol
Caparina	2820-1982	3.08	Agricultura, degradado	Andosol Cambisol
Marianza: Pinos	3700-3240	0.59	Pinos	Andosol
Marianza: Pajonal	3740-2980	1	Ganadería extensiva	Andosol

Tabla 28.- Características de las micro cuencas de estudio

Red de Monitoreo

La red de pluviógrafos así como las estaciones climáticas y sensores de nivel están ubicados de acuerdo a la Tabla 29, además se proporciona la serie disponible de datos hasta el momento.

Nombre	UTMx	UTMy	Altura (m s.n.m.)	Tipo	Serie Disponible
Santa Rosa	726452	9741199	2578.6	Pluviógrafo	12/02/05 – 5/08/07
Llagos	724044	9738880	2666.4	Pluviógrafo	04/03/05 – 5/08/07
Joyagshi	726012	9737960	2811.0	Pluviógrafo	11/02/05 – 5/08/07
Pacchala	723821	9741564	2129.5	Pluviógrafo	11/02/05 – 5/08/06
Chico Namza	725840	9746397	1887.4	Pluviógrafo	12/02/05 – 25/ 01/06
Namza - Lise	725404	9744935	1856.1	Pluviógrafo	05/03/05 – 5/08/07
Puñay	725956	9742607	3196.3	Pluviógrafo	20/04/05 – 10/03/06
Piñancay	728414	9745707	1793	Pluviógrafo	3/02/06 – 5/08/07
Chunchi	731114	9748417	2266	Pluviógrafo	21/12/05 – 5/08/07
Tinajeras	732993	9735749	4033	Pluviógrafo	21/07/05 – 5/08/07
Marianza: PT1	708862	9684685	3438,7	Pluviógrafo	29/05/04 - 5/08/07
Marianza: PT2	709221	968439	3621,7	Pluviógrafo	29/05/04 - 5/08/07
Marianza: PP1	709876	9684662	3375,7	Pluviógrafo	29/05/04 - 5/08/07
Suscalpamba	715448	9729676	2737	Pluviógrafo	07/10/05 – 5/08/07
Potrerillos	716951	9733039	2963	Pluviógrafo	06/09/05 – 5/08/07
Chilchil	710239	9730236	2841	Pluviógrafo	06/09/05 – 5/08/07
Ortigas	713818	9732708	2330	Pluviógrafo	08/11/05 – 5/08/07
Lise	725120	9744907	1695.6	Est. Hidrográfica	11/02/05 – 5/08/07
Panamá	723938	9741245	2053.5	Est. Hidrográfica	06/05/05- 5/08/07
Marianza: Pajonal	709611	9685452	2980	Est. Hidrográfica	29/02/04 – 5/08/07
Marianza: Pinos	710442	9684035	3240	Est. Hidrográfica	08/05/04 – 29/08/06; 11/03/06 – 5/08/07
Ortigas	713907	9732284	2305	Est. Hidrográfica	01/08/05 - 5/08/07
Río Grande	713611	9731939	2220	Est. Hidrográfica	20/07/05 – 5/08/07

Caparina	711544	9729950	1982	Est. Hidrográfica	20/07/05 – 5/08/07
Namza	725665	9746066	1850	Est. Meteorológica	03/06/05 – 5/08/07
Marianza	708890	9684604	3454	Est. Meteorológica	25/10/05 - 5/08/07
Chontamarca	712446	9731058	2254	Est. Meteorológica	07/10/05 – 5/08/07
Huigra	724560	9747100	1330	Sedimentos	11/12/04 - 5/08/07

Tabla 29.- Equipos instalados para el proyecto EPIC FORCE

A cada micro cuenca corresponde una parte del equipo de acuerdo a su ubicación, para un mejor entendimiento de la red de monitoreo, se indica a continuación en la Tabla 30 el equipo instalado en cada una de ellas y con el porcentaje de influencia en el caso de los pluviógrafos, cuyo análisis fue realizado mediante polígonos de Thiessen.

Micro cuenca	Precipitación (horario)	Área de Influencia de Pluviógrafos	Caudal (horario)	Eto (diaria)
Lise	Namza Puñay	45% 55%	Lise	Namza
Panamá	Llagos Joyagshi Santa Rosa Pacchala Puñay	32% 23% 26% 15% 4%	Panamá	Namza
Ortigas	Ortigas	100%	Ortigas	Chontamarca
Río Grande	Ortigas Potrerillos Suscalpamba	45% 48% 7%	Río Grande	Chontamarca
Caparina	Chilchil Suscalpamba	17% 83%	Caparina	Chontamarca
Pinos	Pinos PP1 Testigo PT2	80% 20%	Pinos	Marianza
Pajonal	Testigo PT1 Testigo PT2	75% 25%	Pajonal	Marianza

Tabla 30.- Red de Pluviógrafos, sensores y estación de clima para cada micro cuenca de estudio

Sedimentos

Para el monitoreo de los niveles de agua en las secciones de control se dispuso de estaciones automáticas de marca ISCO modelo 6712 (Figura 17). Este tipo de estaciones permiten la medición de los niveles de agua ya sea a través de sensores de ultrasonido o de presión, monitoreo de gastos líquidos, así como la toma de muestras de agua en un punto de la sección. Además brindan la posibilidad de instalar otros sensores para la medición de precipitación, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, turbiedad, etc.



Figura 17.- Estación Automática ISCO Modelo 6712.

Estas estaciones poseen un cerebro electrónico que permite su programación y el almacenamiento de datos, incluyen además un software de interconexión con computadores personales que facilita el procesamiento de la información registrada. Las estaciones ISCO trabajan con corriente alterna o mediante baterías recargables de 12 voltios, cuya duración dependerá del número de muestras recolectadas.

Para este análisis se disponen de datos de:

- * Aforos que determinan el gasto líquido y sólido para la obtención de la curva de sólidos en suspensión del río Chanchán.
- * Comparación de datos obtenidos de concentración de sólidos: en muestras manuales y muestras ISCO.
- * Capacidad de transporte de sedimentos en la cuenca del Río Chanchán

Deslizamientos

Se identificaron algunos deslizamientos ocurridos los últimos 25 años en la cuenca del río Chanchán los cuales se resumen en la Tabla 31:

FECHA	LUGAR	EVENTO	SITIO	POSIBLES CAUSAS	DAÑOS
31/03/1983	Chunchi	Deslizamiento	Sictur-Río Huataxi	Precipitaciones	150 personas muertas 1'000000m ³
28/04/1983	Chunchi	Deslizamiento	A la altura de Gonzol	Presencia de ojos de agua	Dstrucción de la vía Panamericana
05/04/1993	Huigra	Deslizamiento			Dstrucción de línea ferrea, cultivos y
18/05/1993	Alausí	Deslizamiento	Guanayano	Viviendas destruidas	Viviendas destruidas
19/11/1997	Achupallas	Deslizamiento	San Antonio	Precipitaciones	Pérdida de vidas, destrucción de carretera, viviendas
09/01/1998	Chunchi	Deslizamiento	Agua Santa	Precipitaciones moderadas, la vía no presentó cunetas de drenaje al terminar la ejecución de obra de lastrado	Viviendas destruidas
15/02/1998	Tixán	Deslizamiento	Capito Huayco		Viviendas destruidas
16/02/1998	Chunchi	Deslizamiento	Cachaguan	Nivel freático alto, explotación antitécnica de los depósitos coluviales	Pérdida de vidas y viviendas
05/03/1998	Huigra	Deslizamiento	Cerro Chiclicay		Pérdida de vidas, viviendas y cultivos
09/03/1998	Huigra	Deslizamiento	Chuplicay	Nivel freático alto, presencia de ojos de agua	Pérdida de vidas, destrucción de carretera, viviendas, 78 damnificados; 16'000.000m ³ removidos
25/03/1998	Cumandá	Deslizamiento	Puente de cumandá		Puente de Cumandá, colapso de 30 metros de la mesa del carretero de la vía
09/04/1998	Chunchi	6 Deslizamientos	Agua Santa, Cachagua, Manzanapamba, Los Tanques, Callanga, Piñancay	Precipitaciones moderadas, la vía no presentó cunetas de drenaje al terminar la ejecución de obra de lastrado	Afección de viviendas
03/05/1998	Chunchi	Deslizamiento	Piñancay	Presencia de reservorio de agua y nivel freático alto	Pérdida de vidas humanas, Carretera, destrucción del pueblo de Piñancay (5'000.000m ³ removidos)
03/04/1999	Huigra	Deslizamiento, represamiento del río Chanchán	La Jaula, Cerro Tabacoloma, Deslave del Sugñay		Pérdida de vidas humanas, Vía ferrea destruida en el Km 126, 7 pueblos en emergencia
03/02/2000	Guasuntos	Deslizamiento, represamiento del río Zula	Guasuntos-La Moya	Percolación de pozos sépticos (no tiene relación con precipitaciones)	7 personas desaparecidas, 40 familias damnificadas, 200.000m ³ , vehículos afectados
15/03/2001	Huigra	Deslizamiento	Pagma		Pérdida de vidas humanas, vial.
28/03/2002	Cumandá	6 Deslizamientos	El Guayabo	Lluvias torrenciales de 12 horas continuas	Dstrucción de tramos de carretera
23/11/2003	Alausí	Deslizamiento, represamiento del río	Champisti	No tiene relación con precipitaciones	Represamiento del río
03/12/2003	Alausí	Deslizamiento	Cerro Gampala	No tiene relación con precipitaciones	Vidas Humanas, familias damnificadas, 20 personas evacuadas
14/06/2004	Achupallas	Deslizamiento	Paccha-Bagtinias		Casas destruidas, obstaculización de
31/01/2005	Alausí	Deslizamiento	Cerro Quillitín	No tiene relación con precipitaciones	
16/03/2005	Chunchí	Deslizamiento	Vía Chunchi-Riobamba		Obstaculización de la vía
17/03/2005	Achupallas	Deslizamiento: vía a Achupallas	Paccha-Bagtinias	Precipitaciones ; presencia de acuíferos, canal de riego en la parte alta	31 viviendas destruidas, obstaculización del tráfico

Tabla 31.- Resumen de los deslizamientos en la cuenca del río Chanchán, años 1983-2005

Además se identificaron zonas inestables identificadas mediante la interpretación de fotografías aéreas relictos y los deslizamientos que fueron levantados en los recorridos de campo se encuentran identificados por las marcas como “Deslizamientos levantados en campo”. Así también se encuentran identificados los derrumbes y los depósitos coluviales, identificados en las cartas geológicas. El resultado de este análisis se presenta en la Figura 18.

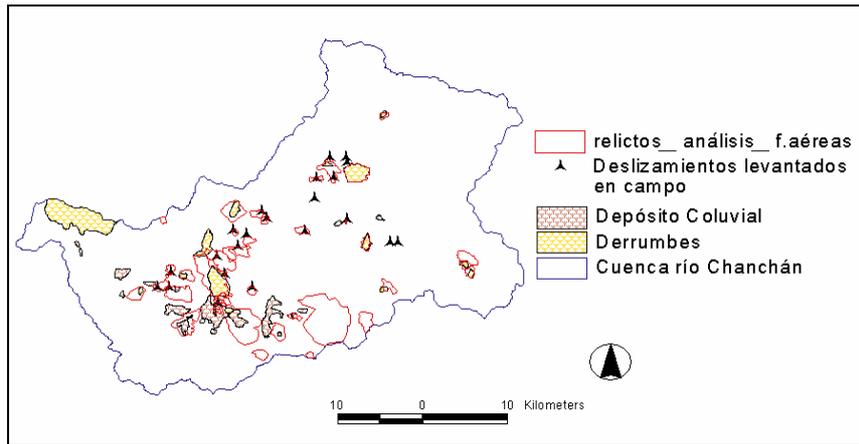


Figura 18.- Zonas inestables de la cuenca del río Chanchán.

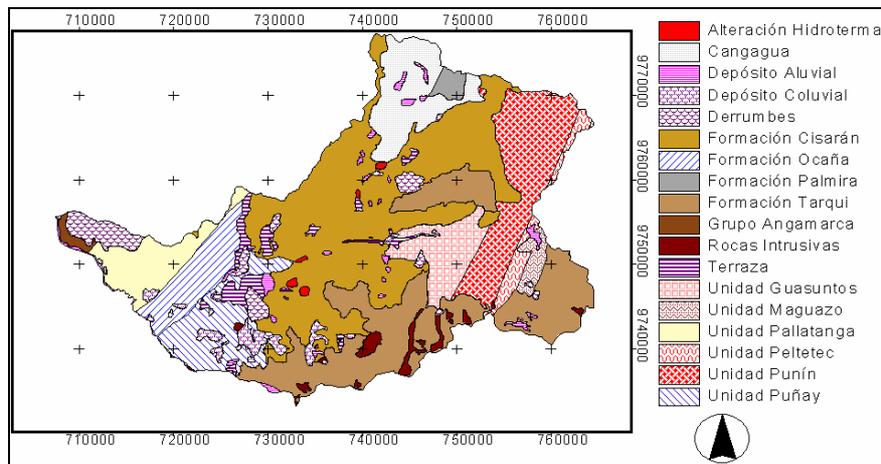


Figura 19.- Geología de la cuenca del río Chanchán.

Una serie de mapas han sido elaborados para la caracterización de los deslizamientos, el mapa base del análisis es el Geológico (Figura 19) y para el análisis de la incidencia de los deslizamientos se tienen además los mapas de pendientes, aspectos y usos de suelo de la cuenca del Chanchán, cuyo análisis se realiza en la sección 5

Uso del suelo

Se ha elaborado el mapa de uso del suelo de la cuenca del Chanchán mediante el análisis de fotografías satelitales y la utilización del SIG, el resultado es un mapa general de la cuenca que se ilustra en la Figura 20 a continuación.

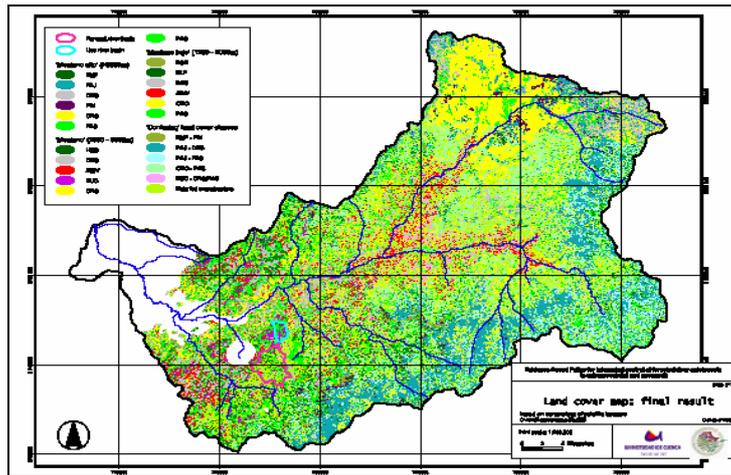


Figura 20.- Usos del suelo en la cuenca del río Chanchán.

De la misma manera se ha obtenido el mapa de usos del suelo de las micro cuencas de Ortigas, Caparina y Río Grande mediante un levantamiento con GPS, fotografías aéreas y la utilización del SIG se determinó el mapa de usos, el cual se presenta en la Figura 21.

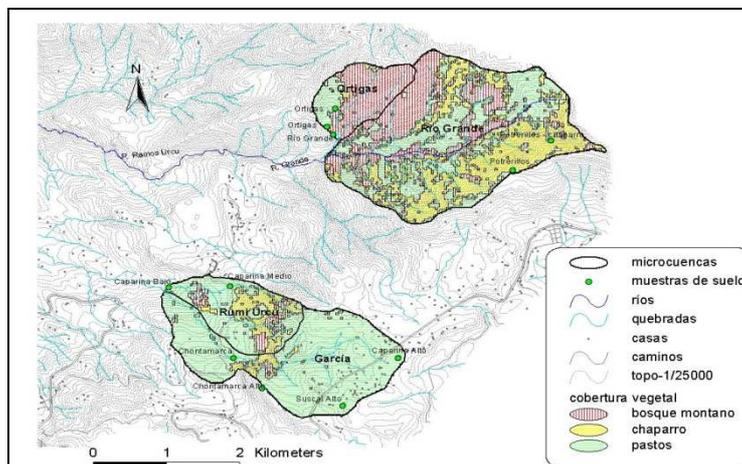


Figura 21.- Usos del suelo para las micro cuencas del Bulubulu.

Información disponible referente a eventos máximos

Los fenómenos oceánicos y atmosféricos que se producen en el Océano Pacífico intertropical son determinantes en el comportamiento climático de Ecuador. Su posición costera al este del océano y adyacente a éste, lo ubica en la zona donde se expresa con mayor fuerza el Fenómeno El Niño.

Se ha demostrado, a través de diferentes estudios, que este evento es causante de la mayor variabilidad del clima costero y de la irregularidad de la pluviometría en la costa ecuatoriana, lo que deviene en una secuencia significativa de déficit y excesos de lluvias en diferentes años.

El clima ecuatoriano está influenciado por una serie de factores, entre los cuales destacan: la circulación atmosférica general (los sistemas de baja presión como la zona de confluencia intertropical ZCIT), las masas de aire locales determinadas por el relieve, las corrientes oceánicas (el frente ecuatorial, la corriente de Humboldt) y la cordillera andina.

En este sentido se dispone de un informe detallado realizado por la corporación Andina de Fomento en el cual abarca los fenómenos del Niño de las últimas décadas en el Ecuador, y para un análisis particular de este fenómeno en la cuenca del Chanchán se tiene de la siguiente

información: Para el Fenómeno del Niño de 1982 y 1983 se disponen de caudales diarios para Chanchán así como de precipitaciones en todas las estaciones pluviográficas dentro de la Cuenca, para un análisis de periodos de retorno se dispone de niveles máximos instantáneos anuales de algunos años para las estaciones Chanchán km 90+180 FF.CC y Angas AJ Chanchán, los cuales se analizaron mediante Gumbel los periodos de retorno para los caudales máximos. Para la cuenca aledaña del Río Chimbo se disponen igual de caudales diarios para una serie larga de datos en varias estaciones, para lo cual se realizara un análisis de máximos mediante un similar análisis estadístico y determinar la influencia del fenómeno del Niño sobre la hidrología de la zona.

La misma cuenca del río Chanchán tiene registros de caudales medios diarios para un periodo comprendido de 20 años, además de eso se completó los registros para la cuenca del Río Chimbo, que es anexa a la cuenca del Chanchán para realizar análisis posteriores.

SECTION 5

DATA ANALYSIS

CURVAS DE DURACIÓN

Cuenca del río Chanchán

La curva de duración resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales.

En la cuenca del Chanchán, la estación del Ferrocarril Km. 90+180 tiene 20 años de datos de caudales medios diarios, y a partir de esta información se elaboró la curva de duración que se ilustra en la Figura 22.

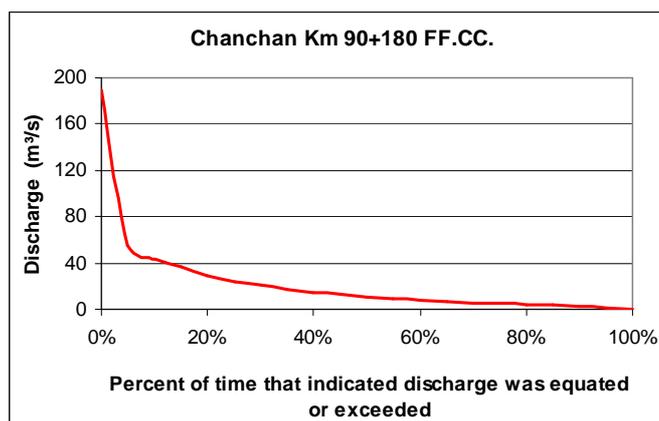


Figura 22.- Curva de Duración para la cuenca del Río Chanchán

La escala vertical de la curva de duración representa caudales medios diarios y la escala horizontal las probabilidades de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos. La cuenca es bastante extensa en superficie y pertenece gran porcentaje a zona de montaña, posee una cobertura mixta donde se combina la agricultura, los pastos, matorral, bosques de ahí el comportamiento de la curva de duración con respuestas rápidas a eventos de precipitación y poca capacidad de regulación para el verano.

Micro cuencas de estudio

A pesar de la corta información que se dispone de estas micro cuencas, se elaboró una curva de duración para cada una de ellas para analizar su comportamiento hidrológico (Figura 23). Es necesario mencionar que todas estas microcuencas tienen características de cuencas de montaña, en consecuencia la pendiente es pronunciada en el tramo inicial de la curva debido a que los caudales altos se presentan durante períodos cortos.

Las micro cuencas cuyo uso del suelo está predominado por la agricultura, pastos y matorral presentan una curva de duración con una pendiente muy pronunciada en su primer tramo, así las

cuencas de Panamá, Lise, Río Grande presentan este comportamiento, los caudales mínimos son muy bajos y no existe una adecuada regulación del agua por intervención de la capa de suelo.

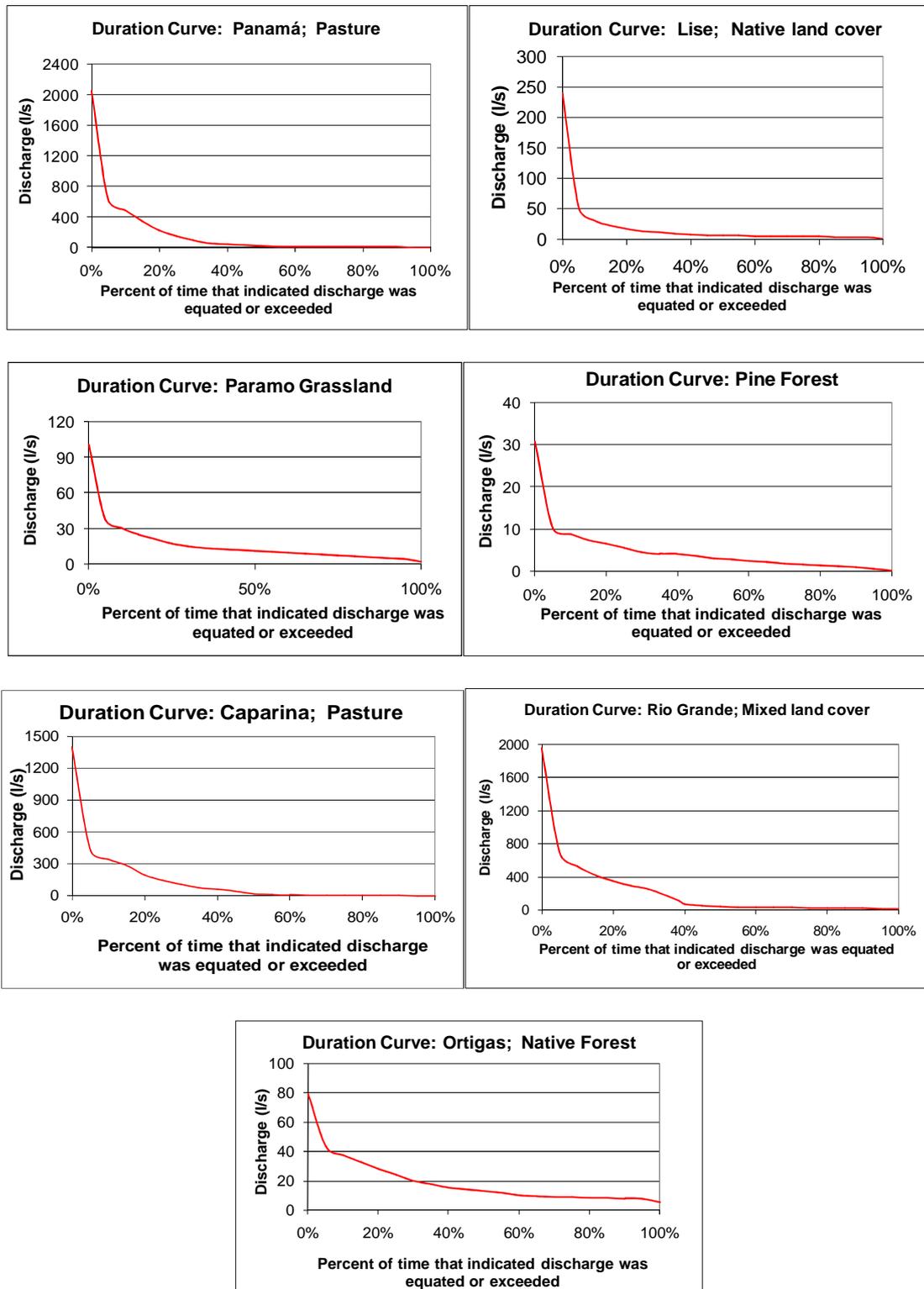


Figura 23.- Curvas de Duración para las micro cuencas de Estudio

El caso excepcional se presenta en la cuenca de Ortigas, su ocupación es un bosque primario natural y la regulación hidrológica es sorprendente, presenta una curva de duración poco pronunciada que demuestra la capacidad de amortiguamiento a los eventos extremos de

precipitación así como una gran regulación en época de verano, si consideramos el tamaño de la cuenca el caudal mínimo específico supera claramente los 6 l/s/km².

Caso contrario ocurre en la cuenca de pinos, aunque tiene un gran poder de amortiguamiento de ante eventos máximos, el consumo del bosque de pinos es determinante, el caudal mínimo llega a valores cercanos a cero.

Flood Frequency Curves

Una curva de frecuencia relaciona la magnitud de una variable a la frecuencia de acontecimiento. (Riggs, 1967). Ahora es reconocido que el clima, expresado por el régimen de humedad de suelo de una cuenca ejerce una influencia fuerte sobre la forma de la curva de frecuencia de inundación. Bajo la suposición de independencia entre la precipitación máxima de una tormenta y el coeficiente de escorrentía la curva de frecuencia de inundación puede ser obtenida integrando las distribuciones marginales de estas dos variables sobre sus dominios. (Franchini et al 2003).

Hidrólogos hace mucho tiempo han buscado una distribución teórica que describiría estos acontecimientos de inundación. Si hubiera una distribución universal, las distribuciones observadas de acontecimientos de inundación en varios sitios se diferenciarían sólo en los parámetros en aquella distribución universal, y en probar el error. (Riggs, 1965).

Las características de la cuenca influyen en la distribución de las inundaciones, de modo que parezca improbablemente que cualquier distribución teórica sería generalmente aplicable. Bien es establecido que la distribución de flujos anuales mínimos es sumamente dependiente de características de la cuenca (Riggs 1965).

Para máximos eventos, la función de densidad de probabilidad muy utilizada para este análisis es el método de Gumbel (1941,1958) y está definido por:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

donde α y β son los parámetros de la función. Para muestras pequeñas:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \qquad \beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

Análisis de eventos extremos en la cuenca del río Chanchán

El presente estudio contempla el análisis de eventos extremos localizados dentro de la cuenca del río Chanchán, la información disponible para el análisis corresponden a las estaciones Chanchán km. 90+180 FF.CC y Angas AJ Chanchán, se disponen de series de caudales máximos instantáneos para el periodo de 1965 – 1985 para Chanchán y de 1965 – 1982 para Angas, con los cuales se estimaran los respectivos periodos de retorno con un ajuste de Gumbel para máximos eventos.

Análisis de caudales máximos para la estación Chanchán Km. 90 + 180 FF.CC.

El área de aporte para esta estación es de 1480 km². La información con la que se dispone son registros de niveles máximos instantáneos anuales para la estación en toda la serie de datos, además de esto se cuenta con los caudales máximos instantáneos para el periodo 82-85, la determinación de los caudales máximos instantáneos faltantes se realizó mediante las curvas de descarga válidas para el periodo.

Los registros máximos anuales de caudal se ilustran en la Tabla 32 a continuación

Año	Chanchan 90+180 FF.CC	
	Niveles	Caudal
	cm	m ³ /s
1965	230	123.0
1966	191	76.9
1970	171	57.4
1971	232	125.6
1973	220	110.1
1974	177	37.1
1975	300	231.4
1976	230	90.5
1977	154	43.0
1978	130	30.7
1979	167	56.4
1980	120	25.3
1981	145	36.3
1982	249	168.8
1983	207	122.4
1984	194	109.0
1985	180	39.4

Tabla 32.- Caudales máximos Instantáneos

La estimación de crecientes y su respectivo periodo de retorno se establecieron mediante un análisis de Gumbel, el resultado se indica en la Figura 24 y la Tabla 20.

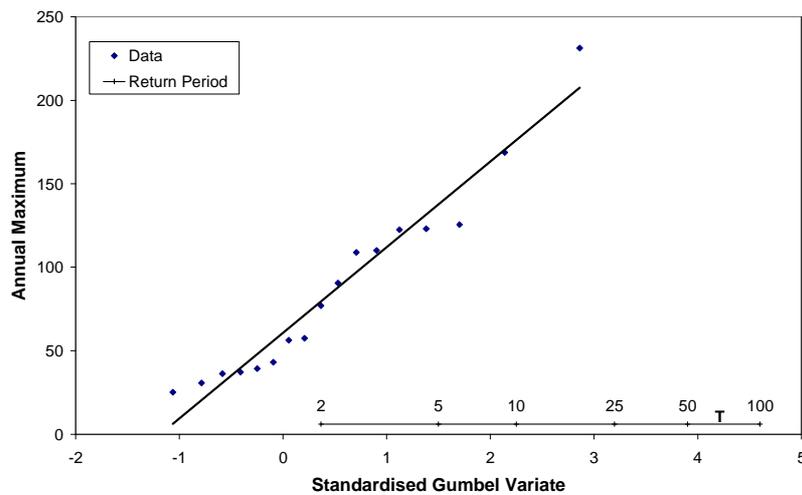


Figura 24.- Gumbel frequency curve of annual floods on Chanchán River

Chanchan Km 90+180 FF.CC		
T años	F(x)	(Gumbel) m³/s
2.0	0.5000	78.0
5.0	0.8000	127.8
10.0	0.9000	160.7
25.0	0.9600	202.4
50.0	0.9800	233.3
100.0	0.9900	264.0
500.0	0.9980	334.8
1000.0	0.9990	365.3

Tabla 33.- Caudal estimado para diferentes periodos de retorno

Análisis de caudales máximos para la estación Angas AJ Chanchán.

La estación tiene un área de aporte de 120 km². Los datos disponibles para la estación de Angas AJ Chanchán son de niveles máximos instantáneos registrados para el periodo de 1965- 1980 a excepción del año 1967 donde no existe registro, además de estos se tienen algunos aforos realizados durante este periodo, los cuales han sido ajustados para obtener una curva de descarga apropiada para este periodo, considerando que no existe cambio de sección durante este tiempo se supone adecuada la expresión para determinar los caudales máximos. La curva de descarga encontrada tiene la forma:

$$Q = 2,3705H^{3,0907}$$

La curva de descarga permite encontrar los valores de caudal a diferentes niveles de agua, los datos a utilizar en el análisis de extremos se muestra en la Tabla 34.

Angas AJ Chanchan		
Año	Niveles cm	Caudal m³/s
1965	214	24,89
1966	162	10,53
1968	153	8,82
1969	159	9,94
1970	176	13,60
1971	172	12,67
1972	312	79,82
1973	252	41,25
1974	185	15,87
1975	330	94,93
1976	295	67,13
1977	162	10,53
1978	172	12,67
1979	177	13,84
1980	366	130,73

Tabla 34.- Caudales máximos Instantáneos

Basándose en estos datos de máximos instantáneos se determinó los diferentes caudales para diversos periodos de retorno, utilizando el mismo criterio de Gumbel. Los resultados se indican en la Figura 25 y Tabla 35.

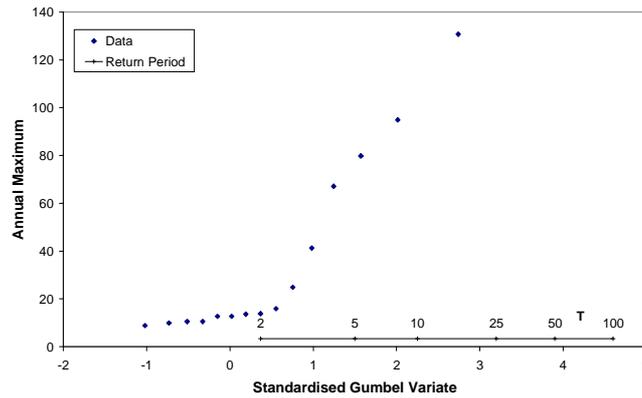


Figura 25.- Gumbel frequency curve of annual floods on Angas AJ. Chanchán

Angas AJ Chanchán		
T	F(x)	(Gumbel)
Años		m ³ /s
2	0,5000	30,2
5	0,8000	64,1
10	0,9000	86,6
25	0,9600	115,0
50	0,9800	136,1
100	0,9900	157,1
500	0,9980	205,4
1000	0,9990	226,2

Tabla 35.- Caudal estimado para diferentes periodos de retorno

Del análisis se puede observar que en los últimos años ha existido crecientes con un periodo de retorno de 50 años para ambas estaciones, en Chanchán Km 90 + 180 FF.CC las crecientes máximas coincide con el fenómeno del Niño de 1975 y 1982 - 1983.

RECONSTRUCCION DE LA CRECIDA A FINALES DE 1982

La reconstrucción de la crecida del río Chanchán en el año 1982 es de importancia fundamental para predecir el caudal máximo producido en los últimos 60 años, mediante trabajo de campo se logro levantar algunas secciones del río en un tramo aproximado de 600m, estas secciones servirán para estimar el caudal originado en el fenómeno del niño de 1982 que ocasiono innumerables pérdidas humanas como económicas y que es considerado el fenómeno mas extraordinario de las últimas décadas.

Recopilación de Información.

De varias fuentes se logro recopilar información muy valiosa y permitió establecer los niveles a los que había llegado la crecida, así mismo se pudo determinar lo gran socavación producida de la superficie del cauce a lo largo de las últimas décadas, la participación de la comunidad de Huigra mediante sus testimonios fue fundamental para conseguir realizar este estudio.

En primer lugar visitamos la jefatura política de la región. Se logro recopilar la siguiente información:

Testimonios: Secretario de la Junta Parroquial: Sr. Silvio Tamayo



La historia del río Chanchán es extensa, grandes inundaciones se han producido desde inicios del siglo pasado, las mas recordadas últimamente son del 20 de Octubre de 1981, que se presume fue la mayor creciente producida en ese río cuyo nivel llego hasta la parte alta de los muros construidos en la orilla izquierda, nos comento que por esa crecida el cauce del río se profundizo cerca de 1.50m, a partir de esta crecida se construyo el muro al lado derecho que soporto la crecida del invierno de 1982. Recuerda que en la década de los 60 el cauce del río se localizaba unos 4m por debajo del cauce actual.

Estuvimos ubicados en el puente peatonal aguas arriba del puente metálico de Huigra a unos 150m, sector donde vive el Sr. Silvio Tamayo, nos supo indicar el nivel al cual llego el río para la crecida máxima de duración aproximada de dos horas que él recuerda en el 81, existe actualmente un agujero en el muro a la orilla izquierda, que sirvió de referencia para ubicar el nivel máximo de crecida.

Del represamiento del río Chanchán ocurrido en el 99 nos supo indicar que según los estudios realizados por los técnicos el desfogue iba a provocar una ola de aproximadamente 9m de altura y que el pueblo quedaría prácticamente destrozado, sin embargo una vez que desfogo el río no causo el efecto esperado debido a que se produjo un desfogue lento y no causo ningún daño a la ciudad de Huigra. Nos comento que este desfogue no se acerco en nada a las crecidas anteriores y que los moradores prácticamente no se asustaban ver el caudal producido en el desfogue.

Jefe político de Huigra: Sr. Jorge Peñafiel



El Sr. Peñafiel al ser una persona joven todavía no recordó con mayor detalle el efecto de las crecidas en Huigra, sin embargo fue de gran colaboración cuando recorrimos el pueblo de Huigra, dirigiéndonos a las viviendas de personas de avanzada edad que recordarían claramente estos fenómenos, pudo obsequiarnos además un folleto que relata un poco el vivir de la población en los momentos del desfogue del 99, así como un mapa de la provincia donde se destaca la vía férrea de la época.

Sr. Antonio Sánchez



El Sr. Sánchez de 87 años, vive en una casa a la margen izquierda del Chanchán aguas arriba del puente, nos logro contar acerca de dos crecientes que el recuerda como catastróficas para el pueblo la del año 1953, que provoco la inundación del pueblo, este evento se produjo cuando el cauce del río se encontraba aproximadamente a nivel de un montón de tierra que se encontraba cerca del puente, si consideramos el nivel presente, el cauce del río para ese entonces se ubicaría a mas de 5m por encima del cauce actual.

La crecida del 82, la cual provoca la destrucción en la margen derecha al frente de su vivienda, donde existían unas lavanderías y la gente acostumbraba a lavar, existía un muro antiguo (más pequeño que el actual) que fue destrozado, y para ese entonces ya el cauce se había profundizado aproximadamente unos 2.5m a partir de la década de los 50.

Sr. Reinaldo Paredes



El Sr. Paredes de 74 años recuerda algunas crecientes ocurridas, no con mayor detalle pero destaca la importancia que tuvieron los eventos para la población, su vivienda ubicada en la margen derecha del Chanchán aguas arriba del puente.

Los eventos del 44, 50 y 53, recuerda como crecientes que causo desesperación en el pueblo, mas aun la del 50 que provoco destrozos en algunas viviendas e inundación considerable del pueblo, el recuerda que jugaba en las orillas del río cuando era niño y que prácticamente el cauce se encontraba a poca profundidad del nivel de las calles y ahora el cañón que se ha formado es preocupante por la extrema socavación de los cimientos de los muros construidos en los ochenta

Para el año 1982 manifiesta que es la máxima creciente que ha presenciado en su vida, cuenta que fueron 3 días consecutivos del evento acompañado de lluvias torrenciales que provoco el pánico de la población. Además nos indico en el puente principal el nivel del agua para ese evento había alcanzado el borde superior del muro construido en la margen izquierda y sobrepasado un muro antiguo de la margen derecha, el agua producto del oleaje chocaba con la plataforma del puente. De esta declaración se pudo levantar el nivel considerado para la creciente del 82 en el puente.

Una sección del muro construido en la margen derecha es levantado por la crecida y depositado aguas abajo en la margen derecha, también manifestó con preocupación la socavación del cauce del río desde los años 50 en aproximadamente 5m.

Srta. Fanny Zuñiga

La Srta. Zúñiga de 58 años, tiene una tienda de abarrotes unos 100 metros agua abajo del puente principal, ella recuerda claramente la inundación del pueblo en el año 50, época en la que tuvieron que desalojar las viviendas y Huigra quedo muy afectado a causa de la misma, menciona que la crecida del 82 fue muy destructiva y aunque no recuerda haber visto el río, el ruido producido fue ensordecedor y creía que el pueblo iba a ser destruido, además nos informo que hubieron algunos muertos y que el río los arrastro. El mayor deseo actual de los habitantes es que se pueda reconstruir los muros de protección a las orillas del río, porque Huigra empieza a agonizar a causa de la falta del tren y el efecto del amenazante río Chanchán, mencionó.

Modelación

Para efectos de lograr la reconstrucción de una crecida histórica en el río Chanchán se optó por utilizar dos herramientas: una informática, el sistema de modelización hidrodinámica MIKE 11 y una aproximación matemática tradicional, la fórmula de Manning.

Estimación mediante modelización hidrodinámica en MIKE 11

El sistema de modelización hidrodinámica MIKE11 es un sistema dinámico para la modelización unidimensional de flujo rápidamente variado, analizando regímenes sub y supercrítico, por lo que brinda la flexibilidad necesaria para modelar las condiciones presentes en un evento de crecida histórica en el río Chanchán.

El modelo simplificado de un tramo del río Chanchán en su paso por la población de Huigra se construyó a partir del levantamiento de 15 secciones transversales del río separadas 40m aproximadamente y la pendiente del río. La rugosidad utilizada para todo el tramo del río fue (manning $n = 0.065$), que fue elegido de acuerdo al documento *Verified Roughness Characteristics of Natural Channels* (USGS, 2006). Una vez creado el modelo se lo alimentó con un hidrograma de creciente de hasta $400 \text{ m}^3/\text{s}$ y, posteriormente se verificó en las secciones ingresadas los niveles proporcionados en los testimonios de los pobladores de Huigra para obtener los caudales de las curvas de descarga de las secciones correspondientes.

Curva de Descarga para una sección en el río Chanchán

La reproducción del modelo arrojó como resultado un caudal de $235 \text{ m}^3/\text{s}$ que se obtuvo de la curva de descarga que se presenta en la Figura 26.

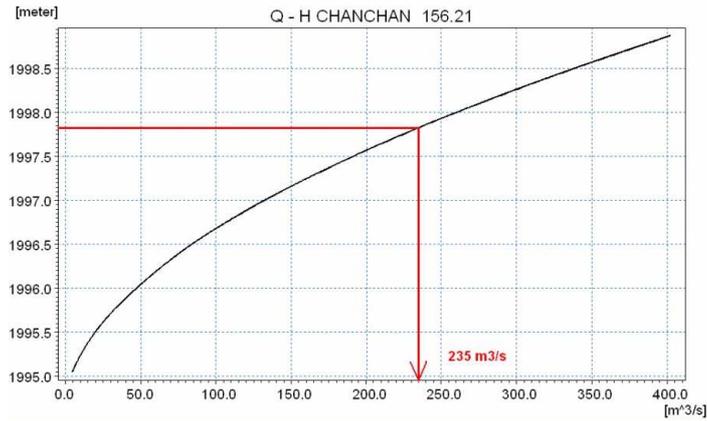


Figura 26. Curva de descarga en el Río Chanchán y lectura del valor de caudal para la altura correspondiente.

Así mismo se presenta en las Figura 27 y Figura 28 el perfil longitudinal del río junto con el caudal correspondiente a la crecida máxima y las secciones transversales en algunos puntos del río junto con el caudal de crecida máxima.

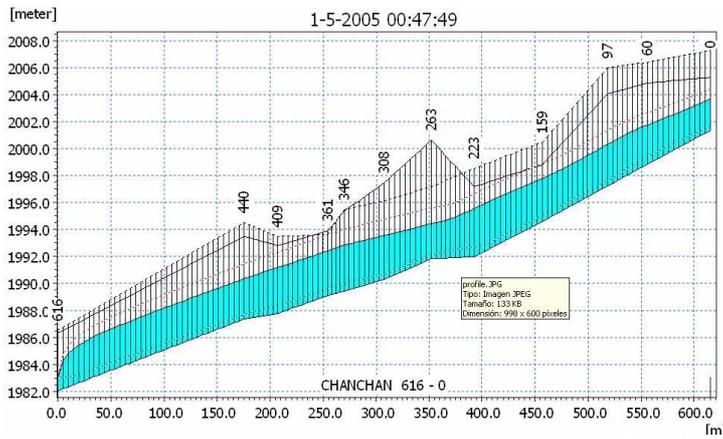


Figura 27.- Perfil Longitudinal del río Chanchan a la crecida máxima

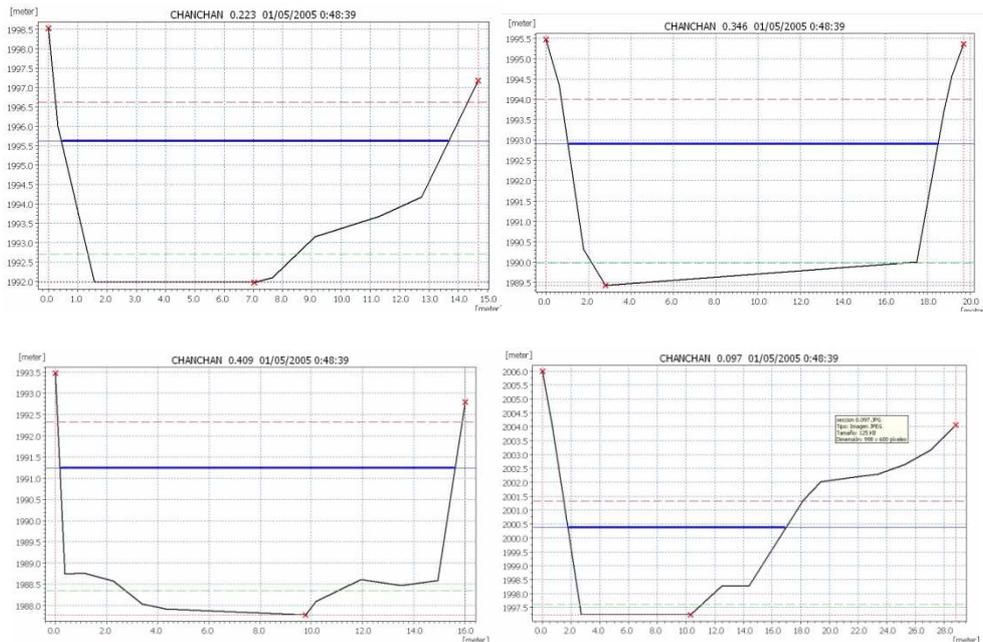


Figura 28.- Secciones Transversales del río Chanchan

Estimación mediante Manning

La medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el cauce suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal. Los canales de corrientes naturales están también sometidos a cambios debidos a erosión o depósitos. Por esta razón es preciso realizar un análisis empírico para la obtención del caudal máximo sucedido hace más de dos décadas, la falta de información nos conlleva a no tener una precisión absoluta al momento de estimar el mismo.

La metodología a seguir para el efecto es la utilización de la formula de Manning, cuyo objetivo principal es determinar la velocidad de la corriente, y esta viene determinada por varios factores:

- **El gradiente o la pendiente.** Si todos los demás factores son iguales, la velocidad de la corriente aumenta cuando la pendiente es más pronunciada.
- **La rugosidad.** El contacto entre el agua y los márgenes de la corriente causa una resistencia (fricción) que depende de la suavidad o rugosidad del canal. En las corrientes naturales la cantidad de vegetación influye en la rugosidad al igual que cualquier irregularidad que cause turbulencias.
- **Forma de la sección.** Los cauces naturales tienen diferentes secciones transversales, pendientes y rugosidad y además existen diferencias de velocidad de la corriente en función de su forma. La razón es que el agua que está cerca de los lados y del fondo de una corriente se desliza más lentamente a causa de la fricción. El parámetro utilizado para medir el efecto de la forma del canal se denomina **radio hidráulico** del canal. Se define como la superficie de la sección transversal dividida por el perímetro mojado, o sea la longitud del lecho y los lados del canal que están en contacto con el agua. El radio hidráulico tiene, por consiguiente, una cierta longitud y se representa con la letra R. A veces se denomina también radio medio hidráulico o profundidad media hidráulica.

Todas estas variables que influyen en la velocidad de la corriente se han reunido en una ecuación empírica conocida como la **fórmula de Manning**, tal como sigue:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

V es la velocidad media de la corriente (m/s)

R es el radio hidráulico (m)

S es la pendiente media del canal (m/m)

n coeficiente de rugosidad de Manning.

En sentido estricto, el gradiente de la superficie del agua debería utilizarse en la fórmula de Manning; es posible que no sea el mismo gradiente del lecho de la corriente cuando el agua está subiendo o bajando. Sin embargo, no es fácil medir el nivel de la superficie con precisión por lo que se suele calcular una media del gradiente del canal a partir de la diferencia de elevación entre varios conjuntos de puntos situados a 100 metros de distancia entre ellos.

Por este motivo se levantaron 15 secciones a lo largo de un tramo de río de 600m para evaluar eficientemente estos parámetros. Una vez realizado el análisis, se logro determinar en base a la experiencia y a la literatura que el valor adecuado de n de Manning es de 0.065.

Rugosidad (n)	Pendiente (m/m)	Area Sección (m ²)	Radio Hidráulico (m)
0,065	0,0244	51,69	2,31

Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
4,2	216,9

Conclusión

Las dos metodologías explicadas son aproximaciones que deben ser tomadas en cuenta considerando el grado de precisión de los datos que las alimentaron. Como se explicó en el documento, la información proporcionada por los pobladores de Huigra está sujeta a una visión subjetiva de un evento ocurrido hace varios años. Sin embargo, la aproximación matemática por las dos metodologías arroja resultados similares, lo que permite inferir que el caudal máximo presentado en las últimas décadas en el río Chanchán sobrepasó los 200m³/s.

CARACTERISTICAS DE LOS EVENTOS EXTREMOS

NIÑOS EXCEPCIONALES.(El fenómeno el niño 1997 – 1998 memoria, retos y soluciones (CAF))

Los Niños de 1982- 83 y 1997-98 han sido los más fuertes del siglo

Los estudios realizados durante la cooperación INAMHIIRD sobre la influencia de El Niño en las precipitaciones del Ecuador, destacan que durante los años 1982-83 se produjo en el océano Pacífico un evento excepcional de ese fenómeno que se expresó en Ecuador con precipitaciones también excepcionales sobre la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes, cuyos aumentos significaron entre 50 y 1.000% de la media de los años normales.

Estas lluvias correspondieron a períodos de retorno excepcionales que superaron significativamente los 100 años para los totales anuales registrados, el resumen se presenta en la Tabla 36.

Tabla 36.- Ecuador. Precipitaciones observadas y períodos de retorno de El Niño excepcional de 1982-83

Estación	Precipitación media 1964-1978	Precipitación observada en 1983	Periodo de retorno de 1983 (1983 excluido)	Periodo de retorno de 1983 (1983 incluido)
Guayaquil	1.016	4.600	T>5.000 años	500<T>1.000 años
Portoviejo	448	2.204	T>5.000 años	250<T>500 años
Manta	226	1.835	T>5.000 años	100<T>250 años
Salinas	126	2.833	T>5.000 años	30<T>50 años
Machala	471	3.184	1000<T>5.000 años	100<T>250 años
Milagro	1.255	4.419	500<T>1.000 años	250<T>500 años
Santo Domingo	3.375	5.774	250<T>500 años	50<T<100 años
Esmeraldas	723	1.569	100<T>250 años	50<T<100 años

Fuente: Nouvelot y Pourrut. 1984

Los casos más extremos de estas anomalías se presentaron en las regiones áridas comprendidas entre Manta y Machala. En la zona de la Península, la media de precipitación para 1983 fue de 2.678 mm, lo que representa 27% de la suma de las precipitaciones de los 30 años del período 1964-93. Excluyendo el año 1983, las medias de precipitación para esta zona, durante los 29 años restantes, corresponden a 255 mm. En Guayaquil se dieron las precipitaciones más extremas que se habían tenido en este siglo en ese sector.

Durante 1982-83 la precipitación en la zona interandina y amazónica no mostró una relación directa con El Niño, a pesar de haber presentado niveles ligeramente superiores a los normales. La cordillera occidental contribuye a reducir sensiblemente la influencia de las masas de aire del Pacífico e inclusive puede anular la influencia.

El análisis de la distribución geográfica de las precipitaciones refleja no sólo los niveles positivos extremos en las zonas más áridas, sino una disminución de las anomalías de sur a norte y cuando se aproximan a la cordillera de Los Andes tal como se indica en la Figura 29.

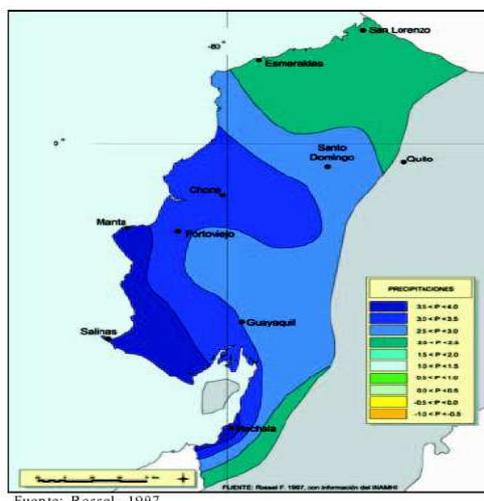


Figura 29.- Ecuador. Anomalías estacionales de lluvias durante El Niño 1982-83

El total anual excedentario para ese Niño estuvo determinado por dos condiciones: la multiplicación por dos o tres de los totales mensuales de la estación de lluvias y la extensión del período de lluvias de octubre de 1982 a agosto de 1983.

Una característica particular de este evento extremo fue la de presentar todas las condiciones anómalas del océano y la atmósfera por lapsos muy largos: fuerte calentamiento del mar; fuertes anomalías de vientos del suroeste; fuertes anomalías de la temperatura superficial del mar y de los vientos del oeste.

El Niño 1997-98

El evento El Niño 1997-98 ha sido el más fuerte del siglo. Su duración aproximada desde febrero de 1997 hasta agosto de 1998 (19 meses), supera ampliamente el de 1982-83 que fue de 11 meses, lo que significó una acumulación de las precipitaciones para ese último año de más de 1.090 mm respecto al del 82 en algunas zonas. Estas precipitaciones continuas, considerables y de larga duración, tuvieron efectos devastadores sin precedentes en la historia registrada de este fenómeno en el Ecuador.

La comparación de los dos eventos extraordinarios del siglo sugiere cierta recurrencia de determinado tipo de ondas que, aleatoria o cíclicamente, podrían generar eventos similares en la

medida que la fuerza y la frecuencia de dichas oscilaciones sea semejante. La aplicación de modelos predictivos durante el evento 1997-98, apoyados en esta hipótesis, mostró cierto grado de eficiencia para la predicción del evento a escala local en el mar ecuatorial.

El análisis de los parámetros oceanográficos permite validar en este evento la respuesta al forzamiento de ondas interestacionales atmosféricas como las oscilaciones Madden Julián sobre el océano en forma de pulsos de Kelvin de 60-75 días de período y que se hicieron evidentes en las fluctuaciones durante el episodio.

Durante el año 1996, anterior al evento 1997-98, los vientos alisios se observaron fortalecidos presentando un flujo normal, situación que se mantuvo hasta inicios de 1997. Para el mes de abril se dirigieron al sector comprendido entre 150 y 180° SE-S, con una intensidad entre 6 y 7 m/s. En el mes de agosto la dirección predominante continuó siendo 180° y 150° S-SE con intensidad entre 15-10 m/s. Desde el mes de septiembre se observa una disminución de los vientos en intensidad y una tendencia de giro de 180° en el sentido horario del Hemisferio Sur, lo que favoreció el flujo de vientos anómalos del Oeste, es decir, los característicos de los eventos Niño. Del análisis de los campos de anomalías de la presión atmosférica registradas en las diferentes estaciones meteorológicas de la región costera, se detectó una notoria profundización de dicha anomalía.

A fines del mes de enero de 1997 se observaron las primeras anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM), las cuales se mantuvieron hasta los primeros días del mes de abril del mismo año. A mediados del mes de marzo la TSM sobrepasó los 28°C. A mediados de abril, nuevamente aparecieron las anomalías positivas, las cuales duraron hasta el mes de septiembre de 1998 (entre los meses de julio-1997 y junio-1998 las anomalías oscilaron alrededor de +3.5°C). Los máximos valores absolutos de TSM se registraron el mes de marzo de 1998 (29,9°C). El evento 1982-83 tuvo valores más elevados que el de 1997-98 en la temperatura de la superficie marina pero no así en los niveles del mar que fueron más significativos durante este último.

Las primeras anomalías positivas del nivel medio del mar (NMM), se observaron a finales del mes de febrero de 1997 hasta el mes de marzo de este mismo año, pero los mayores valores se registraron en los meses de julio de 1997 (+25 cm), diciembre de 1997 (+42 cm) y mayo de 1998 (+37 cm).

En lo que respecta a las anomalías de la temperatura del aire (ver Tabla 37), éstas son positivas y se incrementan desde el mes de marzo de 1997 hasta llegar a un máximo en el mes de julio del mismo año con valores de hasta 5°C. El régimen de temperaturas del aire durante el período crítico (febrero de 1997 a julio de 1998) registradas en las principales estaciones meteorológicas de la región costera, indica que se mantuvieron siempre sobre los valores normales de cada mes.

Para el mes de marzo de 1997 estos valores fueron apenas ligeramente superiores a los normales (0,1°C), pero a partir de allí se incrementan progresivamente alcanzando 1°C en la mayoría de las estaciones y 2°C en Machala. En julio de se mismo año, las anomalías positivas fluctúan entre 2,6°C y 4,7°C en Portoviejo y Machala, respectivamente. Esta tendencia se manifiesta hasta el mes de enero de 1998 en la mayoría de las estaciones del litoral ecuatoriano, empezando a disminuir desde el mes de febrero del mismo año, con anomalías de 2,3°C en Santo Domingo de los Colorados, hasta el mes de abril, para posteriormente en el mes de mayo presentarse un incremento de 2,8°C registrado en Machala.

En junio y julio del mismo año, en el mencionado sector se presentan anomalías de 3,1 y 3°C, respectivamente. El siguiente cuadro muestra los valores de las anomalías de temperatura del aire en diferentes sitios de la costa ecuatoriana.

El fenómeno 1997-98 presentó tres pulsos de precipitación en su evolución, que por su ocurrencia temporal y su intervalo permitió que los dos últimos máximos se superpusieran al ciclo estacional sumándose las anomalías de precipitación propias del evento a las altas precipitaciones de la estación de lluvia. Esto generó que sobre la costa del Ecuador las precipitaciones fueran anómalas desde el mes de marzo de 1997 y posteriormente desde noviembre de ese mismo año hasta el mes de julio de 1998. Ello se tradujo en una estación húmeda adelantada y a la vez prolongada dos meses respecto a su período de terminación normal.

Tabla 37.- Ecuador. Valores de las anomalías de temperatura del aire en diferentes sitios de la costa

MESES	ANOMALIAS (°C)	LOCALIDAD
Abril 97	1,2	Tachina-Esmeraldas
Mayo 97	2,0	Machala
	2,0	Tachina-Esmeraldas
Junio 97	3,1	Machala
	1,0	Tachina-Esmeraldas
Julio 97	2,6	Portoviejo
	4,7	Machala
Agosto 97	4,4	Machala
Septiembre 97	4,2	Machala
Octubre 97	4,4	Machala
Noviembre 97	3,4	Machala
Diciembre 97	2,7	Santo Domingo de los Colorados
Enero 98	2,6	Santo Domingo de los Colorados
Febrero 98	2,3	Santo Domingo de los Colorados
Marzo 98	2,0	Tachina-Esmeraldas
Abril 98	2,0	Machala
Mayo 98	2,8	Machala
Junio 98	3,1	Machala
	3,0	Machala

Fuente INAMHI

La cantidad de precipitación registrada durante el evento 1997-98 fue determinada por INAMHI con base en 17 estaciones meteorológicas seleccionadas, para las cuales se recopiló información de precipitaciones mensuales de enero de 1997 a julio de 1998. Los valores acumulados del período mencionado superan los valores medios o normales correspondientes al período 1964-1998 con porcentajes del 148% en el sector de Machala y 316% en Ventanas. Los mayores porcentajes de variación se observaron en Guayaquil e Ingenio San Carlos, con 445% y 645% más de lo normal, respectivamente.

En lo que respecta al comportamiento temporal, durante enero de 1997 y julio de 1998 (Tabla 38), se presentaron anomalías en las precipitaciones con valores superiores a los normales ocasionando severas inundaciones. Dentro del período antes señalado se diferencian tres etapas críticas:

a) Febrero a Abril de 1997

En el mes de marzo de 1997 se presentaron precipitaciones en toda la Región Litoral con valores superiores al normal de aproximadamente 250 mm, especialmente en las provincias de Los Ríos y El Oro (cuencas de los ríos Guayas y Santa Rosa). La mayor precipitación en 24h00 se registró en la ciudad de Guayaquil con 154,0 mm.

Cuenca 1	Estación Meteorológica 2	Precipitación Acumulada (19 Meses mm) 3	Precipitación Normal (1964-98) mm 4	Incremento de lluvia () 3/4x100
Esmeralda	La Concordia	11.596,8	3.165,0	366
Jama	Jama	3.267,7	898,0	364
Chone-Jama	Chone	4.580,7	1.186,0	386
	Junin	4.556,7	1.602,0	284
Portoviejo	Portoviejo	2.888,0	970,0	298
Guayas	Milagro	7.446,6	2.330,0	320
	Pichilingue	9.443,3	3.090,0	306
	Babahoyo	7.736,8	3.470,0	223
	Guayaquil	6.500,0	1.460,0	445
	Puerto Ila	10.078,1	3.846,0	262
	El Carmen	9.419,0	3.582,0	263
	Ventanas	14.148,6	4.485,0	316
	Ingenio San Carlos	9.276,6	1.438,0	645
Cañar	Cañar en Pto. Inca	7.257,0	1.856,0	391
Puyango	Zaruma	3.357,9	1.482,0	227
Arenillas	Machala	2.991,9	2.020,0	148

Tabla 38.- Ecuador. Zona costera: El Niño 1997-98. Precipitaciones acumuladas (período enero 1997 a julio 1998)

b) Noviembre de 1997

En el mes de noviembre de 1997 se generalizaron las precipitaciones con fuertes intensidades en la Región Litoral. Sus máximos valores se presentaron en las zonas de la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes: La Maná, El Corazón (cuenca alta del río Guayas), Echeandía (cuenca media del río Guayas), Valencia, Quevedo, Mocache, Ventanas, Pueblo Viejo, Babahoyo y Pichilingue (cuenca baja del río Guayas).

También se presentaron fuertes precipitaciones que ocasionaron inundaciones en la ciudad de Esmeraldas, sector Tachina 207,6mm (cuenca del río Esmeraldas) y en la ciudad de Santa Rosa (cuenca del río Santa Rosa), Santo Domingo 874,8 mm (cuenca alta del río Guayas), Chone 331,7 mm, Portoviejo 157 mm (cuencas de los ríos Chone y Portoviejo), Pichilingue 1134,8 mm, Babahoyo 560,6 mm (cuenca media del río Guayas), Guayaquil 549,4 mm, Milagro 551,2 mm, (cuenca baja del río Guayas), Machala 390,8 mm (cuenca del río Santa Rosa).

El día 23 de noviembre de 1997 se presentaron las máximas precipitaciones en 24h00, las cuales registraron valores superiores a los normales del mes en La Concordia, Santo Domingo (cuenca del río Esmeraldas), Chone (cuenca del río Chone), Guayaquil, Milagro (cuenca baja del río Guayas) con valores superiores a los 100 mm.

c) Febrero a Abril de 1998

En febrero de 1998 las fuertes precipitaciones se generalizaron en la Región Litoral, pero con mayor incremento en el Centro y Sur de la Región, con récords en los sectores de: Guayaquil 795,2 mm, Milagro 834,2 mm, La Troncal 927,3 mm (cuenca baja del río Guayas), Machala 700,6 mm (cuenca del río Santa Rosa, Arenillas y Jubones). Las máximas en 24h00 fueron de 194,5 mm en Milagro, La Troncal 177,1 mm y Machala 150,9 mm.

La mayor frecuencia de días con precipitaciones se registró en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados con 27 días.

En marzo de 1998 el incremento de fuertes precipitaciones se generalizó en la zona de influencia: las cuencas de los ríos Esmeraldas, Portoviejo, Guayas, Arenillas y Santa Rosa; se presentaron récords en: La Concordia 966,5 mm Santo Domingo 904,6 mm, Portoviejo 460,2

mm, Pichilingue 1072,7 mm, y Milagro 966,9 mm. La mayor precipitación en 24h00 se produjo el día 30 de marzo en la ciudad de Guayaquil con 153 mm.

En abril de 1998 las precipitaciones disminuyeron en general, concentrándose en un núcleo de la parte central de la cuenca baja del río Guayas, con una máxima precipitación en 24h00 ocurrida el día 18 en la ciudad de Guayaquil, con 224,7 mm; en la ciudad de Bahía de Caráquez con 133,0 mm (cuenca del río Chone); y, en la ciudad de Babahoyo con 120,0 mm (cuenca del río Guayas).

La Figura 30 muestra la distribución y nivel de las anomalías de precipitación durante 1997 y 1998, en la zona costera.

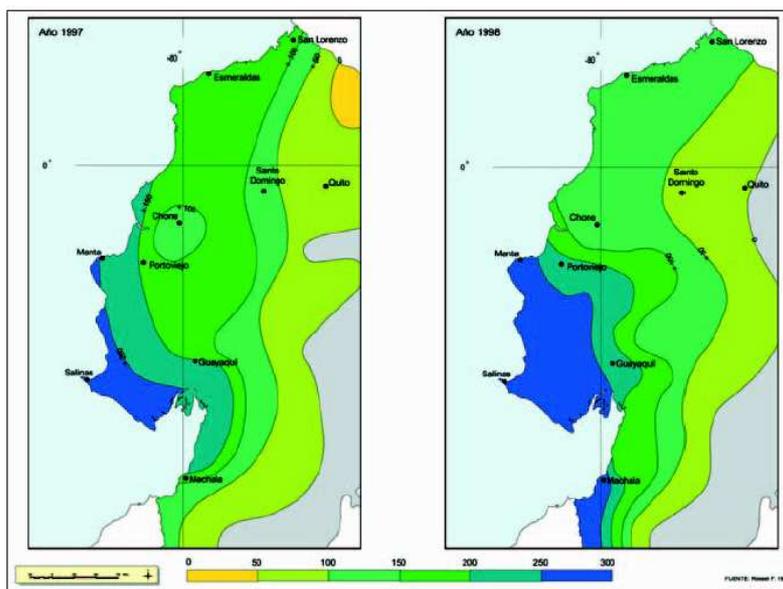


Figura 30.- Ecuador. Zona costera: anomalías de precipitación durante 1997-98

La distribución mensual de las precipitaciones desde enero de 1997 hasta junio de 1998 varió de 250 mm a 1.135 mm, que es la máxima registrada en la parte central del litoral ecuatoriano y ocurrido en el mes de noviembre de 1997, momento en el que se generalizan las precipitaciones en toda la región. En el mes de marzo se presenta otro repunte de las precipitaciones en la región litoral y específicamente en Esmeraldas, Portoviejo, Los Ríos, Guayaquil y Machala, con valores de precipitaciones de 460 a 1.073 mm.

Las máximas precipitaciones en 24h registradas durante el evento 1997-98 varían de 85 mm a 183 mm, ésta última registrada en el mes de diciembre de 1997 en Guayaquil. Tales valores son considerados críticos al pasar de 96 mm, por corresponder a períodos de retorno de 100 años. La cantidad de lluvias, en la mayoría de las estaciones, se produjo en lapsos inferiores a las 12h00. Las zonas con mayores precipitaciones corresponden a los sectores de Jama, Bahía de Caráquez, Chone, Calceta, Junín Tosagua, Portoviejo en la provincia de Manabí; Guayas y la Península; Milagros, Machala y el sector de Quevedo con valores que superaron los 220 mm/día. Estos niveles fueron similares a los de 1982- 83 y localizados relativamente en las mismas zonas con algunas variantes, pero en el caso del evento 97-98 el período en que se presentaron fue mucho más extenso.

Conclusiones sobre los niños excepcionales

De lo expuesto anteriormente se concluye que las anomalías climáticas presentadas en el evento 1997-98 fueron superiores a todos los eventos El Niño ocasionados en el presente siglo y generalizadas en toda la región litoral y a algunas localidades de la sierra ecuatoriana.

Igualmente se constata la persistencia de condiciones anómalas en todas las condiciones oceánicas y atmosféricas durante lapsos muy extensos. Tales condiciones, similares a las ocurridas en 1982-83, parecieran indicar que estos dos Niños corresponden a una población minoritaria de eventos cuyos totales pluviométricos son muy superiores a la media.

Tentativa de explicación y de previsión numérica de las anomalías de precipitación en la zona costera ecuatoriana

Los párrafos anteriores muestran que los excesos pluviométricos de las regiones costeras del Ecuador están relacionados con un calentamiento anormal del Pacífico oriental y un debilitamiento de los vientos alisios del hemisferio sur. Esta relación ha sido comprobada por las correlaciones lineales simples entre los índices pluviométricos regionales, los de TSM y los del viento del Pacífico oriental. Un análisis de las correlaciones múltiples explicativas de los índices pluviométricos estacionales y mensuales permitió diferenciar espacialmente la relación entre los totales pluviométricos, la TSM y el viento (Rossel, 1997). En base a ellos se establecieron las regiones cuyas lluvias están fuertemente relacionadas con la TSM y con el viento del Pacífico oriental, para las cuales es posible hacer previsiones de los totales. La TSM del Pacífico oriental es generalmente el parámetro más explicativo de las precipitaciones, y en base a ello los índices pluviométricos mejor explicados por la TSM son los correspondientes a la planicie del río Guayas y del sur del litoral, mientras los índices del viento permiten explicar en buena medida la varianza de las lluvias de las zonas semiáridas del suroeste.

El estudio de las correlaciones entre los índices pluviométricos de un mes determinado y los índices de lluvia, de TSM y de viento del mes anterior, permitió también establecer modelos de previsión mensuales relativamente satisfactorios para los índices pluviométricos de los meses de febrero a mayo de las zonas de la mitad sur del litoral. Los mejores índices utilizables para la predicción de esos dos meses son los índices pluviométricos de las zonas del norte del litoral. Esto probablemente puede explicarse por la migración meridional de la ZCIT (Zona de Confluencia Intertropical), cuya influencia se hace sentir primero en las regiones del norte, durante su migración hacia el sur a principios de la estación de lluvias. Para la predicción de los meses de abril y mayo, los mejores índices utilizables son los de TSM del Pacífico oriental, esto corresponde a la muy fuerte influencia del Niño en los últimos meses de la estación de lluvia.

Los modelos anteriores no pretenden ser una base definitiva para la predicción, y por ende, para «la solución» a todos los problemas de inundación y de sequía que sufren las regiones costeras del Ecuador, ya que, por una parte, explican solamente del 50 al 75% de la varianza total de las precipitaciones observadas y, por otra, el período para el cual han sido ajustados es apenas de 26 años. Sin embargo, estos resultados permiten estimar las anomalías de precipitaciones para poder optimizar la utilización de los volúmenes de almacenamiento de las presas, tanto para la protección contra las crecidas como para el almacenamiento de agua que permitan sostener los estiajes.

A más largo plazo, las observaciones y las previsiones realizadas en el marco de los grandes programas internacionales de investigación sobre el ENSO (El Niño Oscilación del Sur) y las variaciones climáticas del planeta permiten identificar y prever ciertas situaciones extremas.

Las probabilidades de superar ciertos umbrales pluviométricos característicos (lluvia mediana, decenal seca.) varían mucho en función del comportamiento de ese fenómeno.

Tomar en cuenta lo anterior debería, por tanto, permitir adoptar una política de gestión de obras (almacenamiento o utilización del agua) desde el inicio de la estación de lluvias, reduciendo los riesgos de errores en la gestión. Estas estimaciones pueden igualmente ser útiles para la planificación agrícola de grandes explotaciones, las cuales podrían orientar sus plantaciones hacia cultivos adaptados al tipo de situación (húmeda o seca) que fuese más probable y, eventualmente, extender los cultivos a regiones generalmente con falta de riego.

Las Amenazas en la Sierra

El sistema hidrográfico del río Cañar, cuyos 2.459 Km² de área de influencia se extienden desde los páramos de la provincia del Cañar en la Sierra, hasta el Golfo de Guayaquil, Provincia del Guayas en la Costa, estuvo bajo la influencia de precipitaciones intensas y de duraciones superiores a las normales, ocasionando desbordamientos e inundaciones, así como deslaves en varios sectores como el observado en el sector Papayal.

El río del mismo nombre, que tiene su nacimiento en los declives de Los Andes, arrastra una proporción importante de materiales en un proceso moderado a fuerte de erosión, a pesar de que su cuenca alta está protegida por cobertura vegetal entre 2.500 y 3.000 msnm. Ello deriva de que el curso superior y medio del río se encuentra alterado, debido a la presencia de numerosas haciendas que se asientan en sus riberas que se dedican al sembradío de diferentes productos, especialmente frutales, banano, café y cacao. Por otro lado, el curso inferior también presenta procesos de degradación por la remoción de materiales usados en el mantenimiento y pavimentación de las vías de las provincias del Guayas y El Oro.

Las inundaciones que se presentaron durante el evento 1997- 98 afectaron también la zona de la desembocadura del río, la cual constituye una pequeña área de inundación y navegabilidad en épocas de invierno. En la cuenca se localizan poblados como Cañar, Naranjal y la Troncal, ubicados entre el piedemonte andino y el Golfo de Guayaquil en la costa.

El sistema hidrográfico del río Chanchán

La cuenca del Río Chanchán tiene un área de drenaje de 1409Km², se encuentra ubicada en la parte central de la Región Andina del Ecuador, abarcando las provincias de Chimborazo, Guayas, Bolívar y los Ríos. El punto más alto de la cuenca corresponde al Cerro Gallo Rumi con una altitud de 4513.8 m.s.n.m. que se encuentra sobre la Cordillera Occidental, la zona más baja de la cuenca se localiza en la población de Cumandá ubicada en la parte oeste de la cuenca, en la confluencia del Río Chanchán con el Río Azul con una altitud aproximada de 330 m.s.n.m.

El Río Chanchán es parte del sistema hídrico de la cuenca del Río Guayas, el cual desemboca en el Océano Pacífico, y se caracteriza por presentar flujo supercrítico altamente turbulento la mayor parte del tiempo y en las zonas altas de la cuenca, mientras que en la zona media y baja se presenta generalmente flujo subcrítico turbulento. Las crecidas o avenidas del Río Chanchán, las cuáles ocurren generalmente durante en el invierno, se producen súbitamente en intervalos de tiempo relativamente cortos, registrándose aumentos de nivel del orden de 1 m. en un tiempo aproximado de 1 minuto y velocidades de la corriente mayores a 4 m/s. Durante el fenómeno del Niño del 97 se produjo el embalsamiento del río Chanchán el cual produjo la incertidumbre de las poblaciones cercanas como Huigra. Afortunadamente el desfogue días después no causo mayores daños materiales ni humanos.

El mayor efecto se sintió en el Fenómeno del Niño del 83, el cual presento eventos de precipitación muy altos, que provocaron un gran deslizamiento el cual analizamos a continuación.

Deslizamiento de Chunchi, 1983 - En abril de 1983, durante el año más húmedo del Ecuador durante el siglo 20, un deslizamiento de casi 1-millón-m³ ocurrió en los alrededores de la ciudad de Chunchi, aproximadamente 120 Kilómetros al norte de Cuenca, en las coordenadas UTM (738814 E, 9752197 N), cerca de 3 kilómetros de deslizaron, bloqueando la Carretera Panamericana y enterrando vehículos. Más de 150 personas fallecieron en dicho deslizamiento.

Las precipitaciones registradas en la cuenca para todas las estaciones pluviográficas desde 5 días antes del acontecimiento se indican en la Tabla 39 a continuación.

Registros de Precipitaciones para las estaciones (mm)									
Fecha	Pachamama-Tixan	Chunchi	Huigra	Compud	Palmira	Achupallas	Alausi	Guasuntos	Angas
24/04/83	292.1	6	6.5	9.3	13	2.7	12.9	14.7	8.9
25/04/83	14.8	1.4	11.9	8	31.9	4.7	2.8	1.4	13.1
26/04/83	1.7	4.6	8.3	9.5	42	4.9	9.3	1.3	8.2
27/04/83	3.4	4.7	0.3	4.5	6	3.3	7.1	3.9	8.8
28/04/83	402.1	16.3	23.9	28.6	3	10.5	11.6	13.8	6.4
29/04/83	15.5	0	0	1.7	11	11.2	2.2	0	13.6

Tabla 39.- Precipitaciones registradas la semana del deslizamiento de Chunchi

La estación de Pachamama-Tixan registra dos eventos extraordinarios de precipitación la semana del desastre, en primer lugar, se ha registrado una precipitación de 292.1mm 5 días antes del deslizamiento, además de esto el mismo día que ocurrió, se ha registrado una precipitación de 402mm, son dos eventos considerados catastróficos en cualquier lugar, el año 1983 tiene un periodo de retorno de más 100 años para estos eventos. Una de las posibles causas de ese terrible acontecimiento puede deberse a estos sucesos extremos de precipitación.

La Figura 31 muestra la respuesta a este evento de precipitación en la estación del Ferrocarril FF.CC 90+180 ubicada kilómetros aguas abajo, se evidencia el daño de la estación a causa de la increíble crecida producida que impidió tener registros reales de caudal

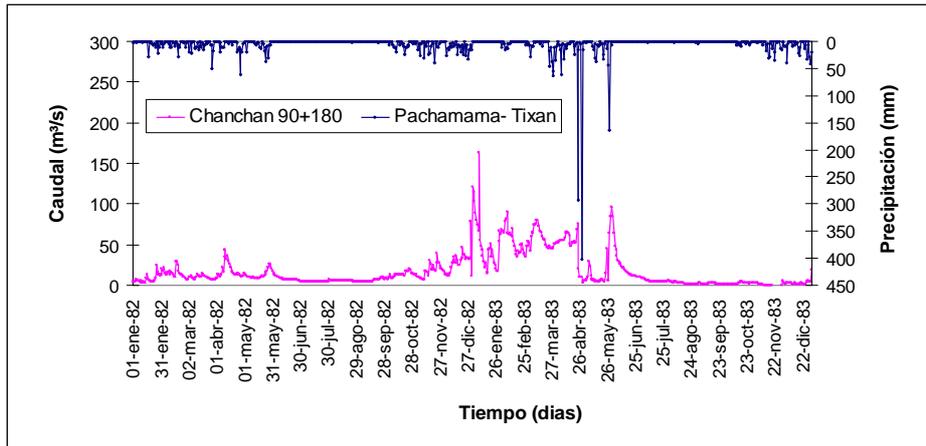


Figura 31.- Respuesta hidrológica en FF.CC 90+180 del evento originado en Pachamama-Tixán

PRODUCCION DE SEDIMENTOS

El río Chanchán y sus afluentes se caracterizan por transportar elevadas cargas de sedimentos tanto de suspensión como de arrastre, que son producto de la erosión hídrica que sufren los terrenos de la cuenca, esta degradación se ve intensificada considerablemente por la creciente deforestación en la zona generada por actividades antrópicas, y por la escarpada topografía de la cuenca.

El cauce del Río Chanchán está sujeto a una profundización continua debido al desequilibrio geomorfológico que presenta el lecho en su zona alta y media respecto a la parte baja, este desequilibrio causa una acelerada socavación del lecho debido a que el río tiende a buscar su perfil longitudinal de equilibrio.

Descripción de la Estación (ISCO)

La sección de control, la cual se ilustra en la Figura 32, para el monitoreo del Río Chanchán se encuentra ubicada bajo el Puente Unión cuya longitud es de 15 m., dicho puente se localiza en la parte central de la población de Huigra, la cual se extiende a lo largo de un 1 Km. aproximadamente ocupando ambas riveras del río.



Figura 32.- Sección de control de la estación sobre el Río Chanchán en Huigra.

Para el monitoreo de esta sección se ha instalado una estación ISCO ubicada en el margen izquierdo del río (ver Figura 33), está compuesta de un sensor de presión para la medición de los niveles de agua, que servirán para la calibración de la curva de descarga líquida, la estación además cuenta de un sistema de recolección automático para la toma de muestras en el río.



Figura 33.- Estación de monitoreo ISCO bajo el Puente Unión en el Río Chanchán en Huigra.

Curva de descarga sólida de sedimentos en suspensión para la estación en el río Chanchán en Huigra

En la Tabla 40 a continuación se resumen los resultados obtenidos del cálculo del gasto sólido y los correspondientes gastos líquidos que servirán para el ajuste de la curva de descarga de sólidos en suspensión en función del caudal líquido.

Período	Aforo	Q (m ³ /s)	(Q _s) _s (kg/s)
2	4	30.34	219.04
	5	15.54	4.624
	6	16.64	8.009
3	8	15.46	6.944
	10	15.85	173.01
	11	16.23	8.371
	12	16.13	10.56
	13	1.53	0.29

Tabla 40.- Caudal Líquido (Q) – Caudal Sólido (Q_s)_s para el Río Chanchán en Huigra.

La expresión para el ajuste del gasto de sedimentos en suspensión en función de los caudales líquidos es

$$(Q_s)_s = 0.092Q^{1.878}$$

Donde:

$(Q_s)_s$ = caudal de masa de sedimentos en suspensión en kg/s
 Q = caudal líquido que circula por la sección de control en m³/s

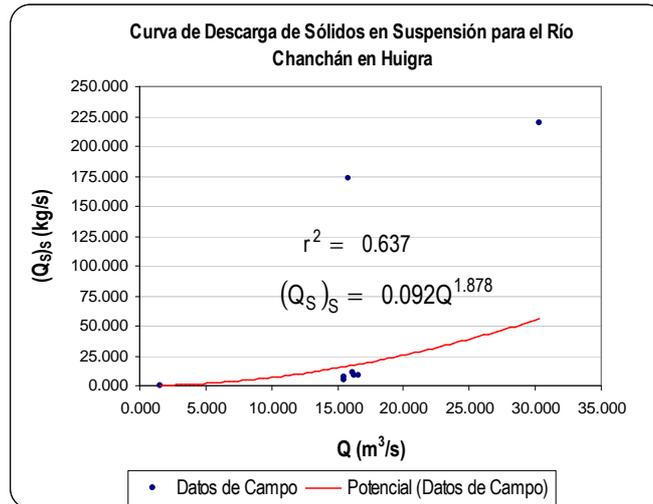


Figura 34.- Curva de Descarga de Sólidos en Suspensión para el Río Chanchán en Huigra.

A partir de la Figura 34 que indica la curva de descarga podemos ver que los gastos de sólidos en suspensión tienen una bajo grado de correspondencia con los caudales líquidos para la forma propuesta, siendo el coeficiente de determinación $r^2 = 0.637$. Esta baja correspondencia es producto de la presencia de 2 puntos singulares correspondientes a los aforos 4 y 10.

El primer punto correspondiente al aforo 4 se presentó durante una época de gran precipitación en las partes altas de la cuenca del Río Chanchán, donde actualmente existe una alta degradación de los suelos que son vulnerables a deslizamientos en especial bajo la acción del agua lluvia.

El segundo punto corresponde al aforo 10 se presentó una alta concentración de sedimentos en las muestras manuales recolectadas a lo largo de la sección de aforo, durante el aforo se notó a simple vista una elevada turbiedad en el agua, que pocas horas después disminuyó drásticamente sin presentarse una variación considerable en el caudal líquido, como puede observarse para el aforo 11 realizado aproximadamente 4 horas después del aforo 10, lo que hace suponer que la tasa de sedimentos en suspensión que transporta el río no es función únicamente del caudal líquido sino que depende de factores externos que en este caso en particular están relacionados con el elevado grado de deterioro de los suelos de la cuenca, los cuales pueden presentar repentinos movimientos de masa que pueden llegar a las corrientes naturales y ser acarreadas hasta el río constituyéndose de esta manera en un aporte inesperado de material sólido a la corriente del Río Chanchán.

Para el caso de la estación ubicada en el Río Chanchán en Huigra también se tomaron muestras con la estación ISCO durante los aforos sólidos con el fin de determinar la existencia de algún tipo de relación entre las concentraciones puntuales obtenidas a partir de las muestras recolectadas por la ISCO y las concentraciones medias resultantes de los muestreos manuales

realizados a lo largo de la sección de control. A continuación se presentan en la Tabla 41 las concentraciones medias resultantes de los aforos sólidos realizados, junto con las concentraciones obtenidas a partir de la ISCO, empleadas para este análisis.

Aforo	Muestras Manuales	Muestras ISCO
	Concentración Media (gr/lit)	Concentración Medida (gr/lit)
4	7.220	6.200
5	0.298	1.000
6	0.481	1.000
8	0.449	0.400
10	10.916	17.400
11	0.516	0.400
12	0.654	1.200
13	0.194	0.430

Tabla 41.- Concentraciones medias determinadas a través de los aforos sólidos vs. Concentraciones puntuales obtenidas a partir de muestreos con la ISCO para el Río Chanchán en Huigra.

Al ajustar los datos de concentración a una recta de regresión lineal por el Método de Mínimos Cuadrados se obtiene la siguiente expresión:

$$\bar{C}_S = 0.665(C_S)_{ISCO} + 0.263$$

Donde:

\bar{C}_S = concentración media de masa de sedimentos en suspensión dentro de la sección considerada, obtenida a partir de muestreos realizados a lo largo de toda la sección, en gr/lit
 $(C_S)_{ISCO}$ = concentración puntual dentro de la sección considerada determinada a partir del muestreo realizado con la estación ISCO, en gr/lit

El valor del coeficiente de determinación r^2 obtenido con la ecuación es de 0.918, lo que indica que existe un buen grado de correlación entre las concentraciones medias obtenidas a partir de los aforos sólidos y las concentraciones puntuales determinadas a través de muestreos con la ISCO, por lo que es razonablemente adecuado estimar o asumir las concentraciones resultantes de muestreos con la ISCO como las concentraciones medias para la sección. Sin embargo como se puede observar en la Figura 35 del ajuste de la recta existe un número relativamente bajo de puntos por lo que es recomendable continuar con el monitoreo de la estación con el objeto de obtener puntos intermedios que aseguren una mejor estimación.

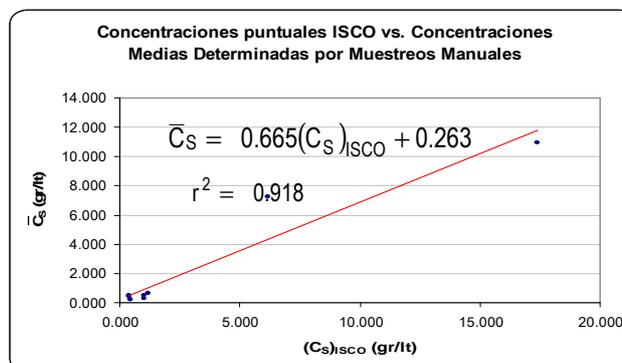


Figura 35.- Concentraciones puntuales ISCO vs. Concentraciones Medias Determinadas por Muestreos Manuales para el Río Chanchán en Huigra.

Capacidad de transporte de sedimentos en suspensión en el río Chanchán

Los cálculos realizados para estimar tanto la capacidad de transporte de sólidos en suspensión así como de los diámetros límites que permiten establecer rangos de tamaño en función del tipo de movimiento al que se encuentran sometidas las partículas dentro de la corriente, para el caso del Río Chanchán, los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 42.

Aforo	Q m ³ /s	(Q _s) _S CAPACIDAD kg/s	Diámetros Límites (m)		
			Rodamiento	Saltación	Suspensión
4	30.341	10221.408	0.410	0.029	0.002
5	15.540	4959.231	0.327	0.023	0.001
6	16.641	5369.017	0.337	0.024	0.002
8	15.457	4996.339	0.263	0.019	0.001
10	15.849	5120.243	0.276	0.020	0.001
11	16.234	5426.295	0.287	0.020	0.001
12	16.129	5310.853	0.295	0.021	0.001
13	1.531	390.740	0.133	0.009	0.001

Tabla 42.- Resultados obtenidos para la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y diámetros límites de partícula para el Río Chanchán.

En forma análoga al caso anterior se han ajustado los datos de capacidad de transporte de sedimentos y de gasto líquido a una curva de forma potencial, con el objetivo de estimar la capacidad de transporte en función del caudal líquido.

La expresión que define la relación capacidad de transporte en función del caudal líquido es:

$$(Q_s)_S \text{ CAPACIDAD} = 246.284Q^{1.099}$$

Donde:

(Q_s)_S CAPACIDAD = capacidad de transporte de sedimentos en suspensión en kg/s

Q = caudal líquido en m³/s

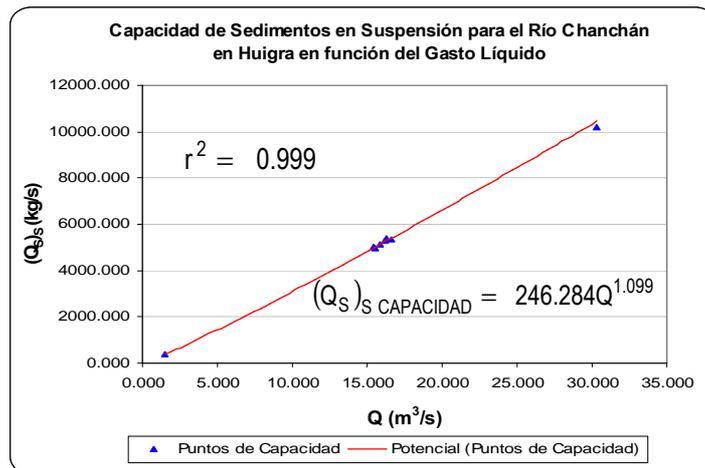


Figura 36.- Capacidad de Sedimentos en Suspensión para el Río Chanchán en Huigra en función del Gasto Líquido.

Se puede notar claramente en la Figura 36 que la mayor parte del tiempo el río transporta una carga de sedimentos en suspensión muy por debajo de su capacidad teórica. Una de las principales causas para la aparente sobre-estimación de la capacidad de transporte de sedimentos, radica en el hecho de que el modelo de Kalinske de carácter teórico empleado para

la estimación de la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión no considera la morfología del fondo del cauce, ni los cambios que se producen en esta por acción del flujo de la corriente, además no toma en cuenta la presencia de partículas grandes de tamaño variable tales como cantos rodados y boleos (diámetro mayor a 7.5 cm.) características de los ríos de montaña, que alteran notablemente la tasa de transporte de sedimentos en el fondo, pues su tamaño y peso hacen que se constituyan en verdaderas trampas de sedimentos propias del lecho.

En contraste con lo expuesto en el párrafo anterior, la existencia de partículas grandes en el fondo del lecho influye directamente sobre las características hidráulicas del flujo en especial en lo relacionado con la fricción y el esfuerzo cortante en el fondo, con el desarrollo de la capa límite turbulenta, aparición de flujos transversales, alteración del espesor de la capa de carga de lecho que afectan directamente la tasa de transporte de los sedimentos.

Los sedimentos en suspensión recolectados en los aforos sólidos casi en su totalidad son partículas muy finas menores a 0.075 mm. (Tamiz N° 200) como se verificó con los ensayos granulométricos realizados en laboratorio para algunas muestras. Esto nos hace ver que los sedimentos en suspensión que transportan ambos ríos en su mayor parte provienen de la erosión hídrica de las lluvias ejercen sobre los terrenos altamente degradados de la cuenca, esta degradación como se mencionó anteriormente es causada por múltiples factores destacándose las actividades antrópicas relacionadas con la agricultura, vialidad y crecimiento poblacional.

ANÁLISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS

Resultados del análisis de vulnerabilidad

A partir de los mapas de geología, pendientes y uso del suelo se realizó un análisis probabilístico de vulnerabilidad de la cuenca del Chanchán. El análisis de regresión logarítmica de la curva del área acumulada (ordenadas de mayor a menor cada clase) nos da la susceptibilidad que varía de 0 a 1. El criterio para evaluar la vulnerabilidad de cada clase se presenta en la siguiente ecuación:

$$Vulnerabilidad(iii)\% \text{ (clase)} = \frac{\text{área_ocupada_dentro_de_los_deslizamientos}(i)}{\text{área_ocupada_dentro_de_la_cuenca}(ii)} \times 100$$

Análisis del mapa de Geología

Se aprecia en la Tabla 43 que la unidad geológica Formación Cisarán, presenta muy poca vulnerabilidad (6.11% área involucrada en deslizamiento, del área total) (Literal i); a pesar que dentro de la formación Cisarán es donde se han presentado grandes deslizamientos.

i) Deslizamientos			ii) Área delimitada			iii) Vulnerabilidad	
Unidades geológicas	Área (ha)	% del área de deslizamientos	Unidades geológicas	Área (ha)	% dentro área delimitada	Unidades geológicas	%
Alteración hidrotermal	14.89	0.14	Alteración hidrotermal	322.02	0.38	Alter. Hidr.	4.63
Depósito Aluvial	479.30	4.62	Depósito Aluvial	2209.24	2.59	D. Aluvial	21.70
Depósito Coluvial	576.25	5.55	Depósito Coluvial	2341.95	2.75	D. Coluvial	24.61
Formación Cisarán	2332.98	22.48	Formación Cisarán	38201.74	44.79	Formación Cisarán	6.11
Formación Tarqui	3409.20	32.85	Formación Tarqui	23751.39	27.85	F. Tarqui	14.35
F. Ocaña	373.00	3.59	F. Ocaña	5790.88	6.79	F. Ocaña	6.44
U. Puñay	1388.80	13.38	U. Puñay	6492.38	7.61	U. Puñay	21.39
Intrusivos	711.31	6.85	Intrusivos	1696.00	1.99	Intrusivos	41.94
Terrazas	817.41	7.88	Terrazas	3093.20	3.63	Terrazas	26.43
Unidad Maguaso	274.54	2.65	Unidad Maguaso	1387.69	1.63	U. Maguaso	19.78
Superficie total	10377.67	100.00	Superficie total	85286.48	100.00		

Tabla 43.- Análisis del mapa geológico en la vulnerabilidad

Del análisis de regresión (ver Figura 37) se determina que la Formación Cisarán es la segunda unidad geológica en área involucrada dentro de los deslizamientos; por lo tanto la susceptibilidad es 0.552 de que ocurra un deslizamiento en la formación Tarqui y la Formación Cisarán, es decir una alta probabilidad de que ahí ocurra un deslizamiento entre cualquiera de la 2 formaciones.

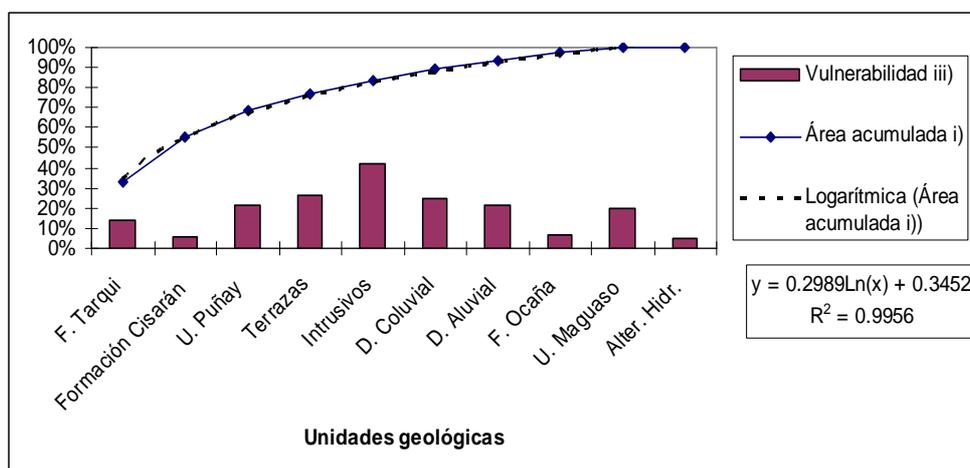


Figura 37.- Vulnerabilidad geológica y área acumulada en los deslizamientos.

El 80% del área de deslizamientos está conformado por las unidades geológicas: Formación Tarqui, Formación Cisarán, Unidad Puñay, Terrazas e Intrusivos. Pero las unidades geológicas de mayor vulnerabilidad, de mayor a menor; del resultado del análisis son: Intrusivos (existe meteorización profunda, por las condiciones tropicales), Terrazas, Depósito Coluvial, Depósito Aluvial, Unidad Maguaso, Formación Tarqui.

Análisis del Mapa de Pendientes

El análisis reportado en la Tabla 44 indica que las áreas menos vulnerables a deslizamientos son las ocupadas en el rango de 0-30% de pendiente; siendo el rango 15-30% de pendiente, la que ocupa la mayor extensión dentro del área de análisis (superficie del área delimitada) y el rango que ocupa mayor área dentro de los deslizamientos es de 30-45% de pendiente (Área acumulada i).

i) Deslizamientos:			ii) Área delimitada			iii) Vulnerabilidad	
Pendientes %	Área (ha)	% del área de deslizamientos	Pendientes %	Área (ha)	% del área delimitada	Pendientes %	%
0_15	613.91	6.26	0_15	14574.89	18.10	0_15%	4.21
15_30	2012.43	20.51	15_30	19078.27	23.69	15_30%	10.55
30_45	2301.38	23.46	30_45	15283.19	18.98	30_45%	15.06
45_60	2143.24	21.85	45_60	12925.56	16.05	45_60%	16.58
60_75	1427.09	14.55	60_75	9751.03	12.11	60_75%	14.64
75_90	815.59	8.31	75_90	5600.93	6.95	75_90%	14.56
90_105	306.21	3.12	90_105	2126.12	2.64	90_105%	14.40
105_y_más	190.47	1.94	105_y_más	1202.09	1.49	105%_y_más	15.84
Superficie total (Datos):	9810.31	100.00	Superficie total (Datos):	80542.07	100.00		

Tabla 44.- Análisis del mapa de pendientes en la vulnerabilidad

Las pendientes en el rango de 30-105%, presentan una vulnerabilidad a los deslizamientos bastante similar como se visualiza en la Figura 38.

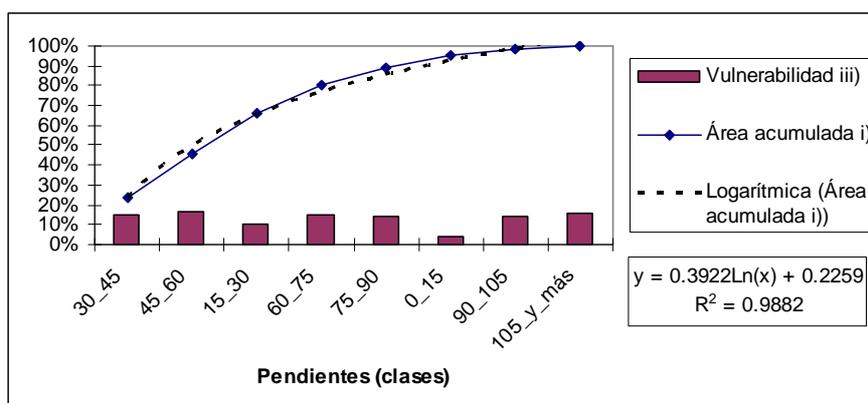


Figura 38.- Vulnerabilidad de las pendientes y área acumulada en los deslizamientos.

Mapa del Perfil del Suelo

i) Deslizamientos:		
Descripción:	Área (ha)	% del área de deslizamientos
Profundidad >40cm	755.56	7.28
Profundidad >40cm, arcilloso	5087.14	49.02
Profundidad < a 40cm	4535.50	43.70
Superficie total (Datos):	10378.20	100.00
ii) Área delimitada		
Descripción:	Área (ha)	% del área mascara de trabajo
Profundidad >40cm	18505.38	21.70
Profundidad >40cm, arcilloso	32693.63	38.33
Profundidad < a 40cm	34087.49	39.97
Superficie total (Datos):	85286.49	100.00
iii) Vulnerabilidad		
Descripción:		%
Profundidad >40cm		4.08
Profundidad >40cm, arcilloso		15.56
Profundidad < a 40cm		13.31

Tabla 45.- Resultados del análisis del mapa de perfil de suelos.

Los resultados muestran claramente que los suelos con alto contenido de arcillas y profundidad de menos de 40cm son los más sensibles a los deslizamientos.

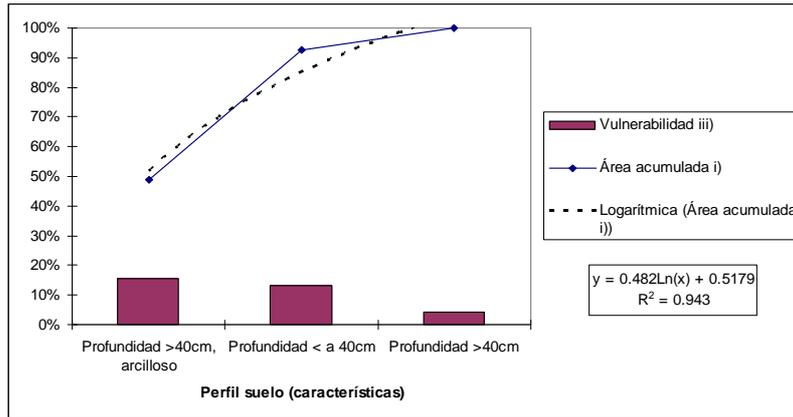


Figura 39.- Vulnerabilidad del perfil del suelo y área acumulada en los deslizamientos.

Del análisis de regresión presentado en la Figura 39 se observa que la más alta susceptibilidad de deslizamientos considerando todos los factores que involucran los deslizamientos, cerca del 0.5 de susceptibilidad la tienen los suelos arcillosos con profundidad mayor a 40cm. La mitad de los deslizamientos y más de 0.85 de susceptibilidad de que un gran deslizamiento se presente en: suelos arcillosos con profundidades mayores a los 40cm y en suelos menores a los 40cm de profundidad; siendo la función logarítmica de probabilidad: $y = 0.482\ln(x) + 0.5179$, con $R^2=0.943$.

Mapa de Aspecto (azimut de la dirección de la pendiente)

La orientación de las áreas codificadas se muestra en la Figura 40. Se hizo algunas simulaciones y de estas orientaciones resulto que se obtenía la mejor correlación.

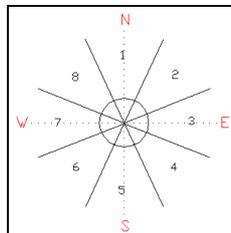


Figura 40.- Orientación de las áreas codificadas

i)Deslizamientos:			ii)Área delimitada			iii)Vulnerabilidad	
Orientación	Área (ha)	% del área de deslizamientos	Orientación	Área (ha)	% del área mascara de trabajo	Orientación	%
1	1833.21	17.71	1	11420.00	13.43	1	16.05
2	1062.68	10.27	2	8404.45	9.88	2	12.64
3	537.75	5.20	3	8201.11	9.64	3	6.56
4	526.75	5.09	4	8647.79	10.17	4	6.09
5	675.55	6.53	5	9046.11	10.64	5	7.47
6	1429.08	13.81	6	10719.62	12.61	6	13.33
7	2295.59	22.18	7	14180.55	16.68	7	16.19
8	1988.99	19.22	8	14417.19	16.95	8	13.80
Superficie total (Datos):	10349.60	100.00	Superficie total (Datos):	85036.81	100.00		

Tabla 46.- Resultados del análisis del mapa de aspecto.

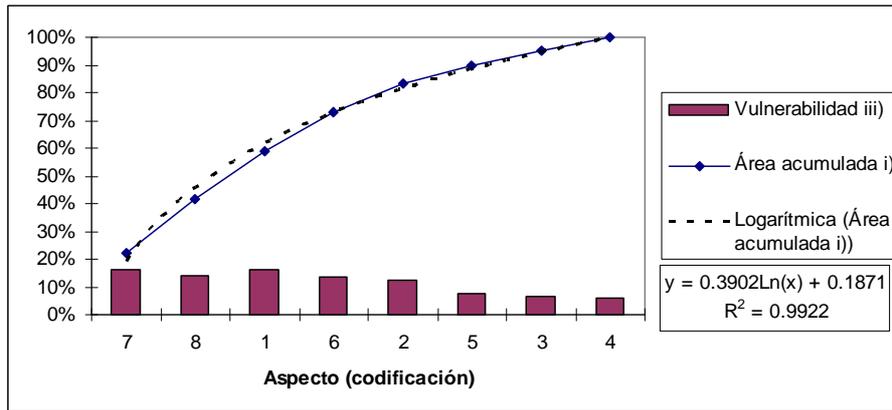


Figura 41.- Vulnerabilidad del aspecto y área acumulada en los deslizamientos.

Como se observa en la Figura 41, las direcciones de la pendiente hacia el Este, Sur-Este y Sur, es decir las direcciones codificadas como: 3,4,5; son las de menor vulnerabilidad a los deslizamientos; sin sobrepasar el 7.5% cada una.

Mapa de Uso actual de Suelo

Se observa en la Tabla 47 y Figura 42 que el bosque natural y las plantaciones forestales tienen una alta vulnerabilidad a los deslizamientos, con 37.7 y 59.4% de sus áreas respectivamente (literal iii); le siguen pastos plantados (21% de vulnerabilidad), vegetación arbustiva con pastos (19.2% de vulnerabilidad) y las áreas de cultivos de ciclo corto (16.5% de vulnerabilidad).

i) Deslizamientos:			ii) Área delimitada			iii) Vulnerabilidad	
Uso actual de suelo	Área (ha)	% del área de deslizamientos	Uso actual de suelo	Área (ha)	% del área máscara de trabajo	Uso actual de suelo	%
a) Bosque natural	589.0	5.76	a) Bos_natural	1603.3	1.90	a) Bos_natural	36.7
b) Bosque natural intervenido	151.3	1.48	b) B_nat_int	8166.4	9.68	b) B_nat_int	1.9
c) Cultivos áreas erosionadas	114.7	1.12	c) Cult_á_ero	5551.9	6.58	c) Cult_á_ero	2.1
d) Cult_ciclo_corto	2947.1	28.82	d) Cult_c_corto	17814.0	21.12	d) Cult_c_corto	16.5
e) Cultivos y pastos	527.3	5.16	e) Cult_pastos	7709.3	9.14	e) Cult_pastos	6.8
f) Páramo	2803.8	27.42	f) Páramo	19241.5	22.82	f) Páramo	14.6
g) Páramo intervenido	15.4	0.15	g) Páramo_i	1785.9	2.12	g) Páramo_i	0.9
h) Pastos naturales	33.8	0.33	h) Pastos_n	3861.1	4.58	h) Pastos_n	0.9
i) Pastos plantados	612.2	5.99	i) Pastos_p	2917.1	3.46	i) Pastos_p	21.0
j) Plantaciones forestales	181.4	1.77	j) Plant_f	305.6	0.36	j) Plant_f	59.4
k) Vegetación arbustiva	259.1	2.53	k) Veg_arb	2538.2	3.01	k) Veg_arb	10.2
m) Veget_arbustiva_cult	0.1	0.00	m) Veg_arb_cult	2470.4	2.93	m) Veg_arb_cult	0.0
n) Veget_arbustiva_pastos	1990.5	19.47	n) Veg_arb_past	10365.1	12.29	n) Veg_arb_past	19.2
Superficie total (Datos):	10225.6	100.00	Superficie total (Datos):	84329.81	100.00		

Tabla 47.- Análisis del mapa de uso actual del suelo en la vulnerabilidad

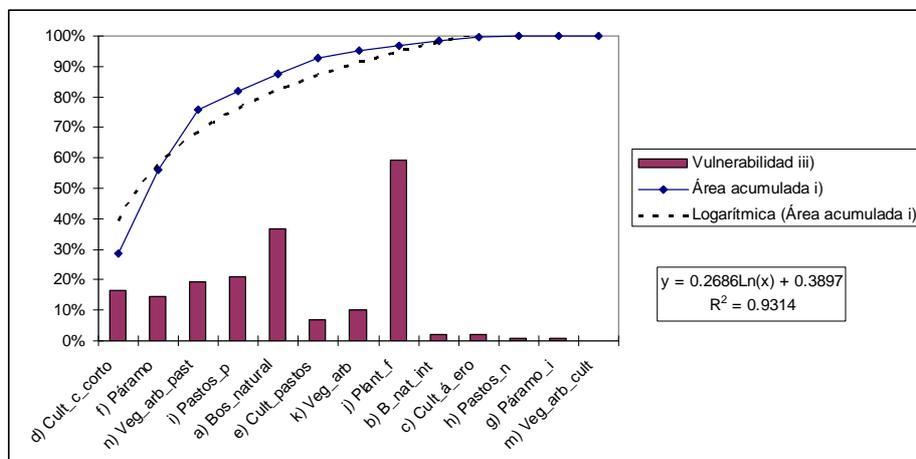


Figura 42.- Vulnerabilidad del uso actual de suelo y área acumulada en los deslizamientos

Adicionalmente se observa que el bosque natural intervenido, el páramo intervenido y los pastos naturales son áreas muy poco vulnerables a los deslizamientos (literal iii).

Mapa de susceptibilidad del área de estudio en la cuenca del río Chanchán

Se empleo el análisis de regresión logística, para elaborar el mapa de susceptibilidad, dentro del área de estudio de la cuenca del río Chanchán (Atkinson et al., 1998) (Guzzetti et al., 1999) (Gorservski., 2001) (Vanacker., 2002) (Ayalew, & Yamagishi., 2003). De ésta manera se pretende validar la caracterización de grandes deslizamientos ocurridos.

Se realizaron varios análisis, en los que se corrió un “Modelo de Control”, en el que en el mapa de geología incluía a la Formación Cisarán; pese a ser de baja vulnerabilidad. A un segundo modelo se lo llamó el “Modelo de Mapas”, el que incluye a los mapas de: geología, pendientes, perfil del suelo, aspecto, uso actual del suelo; pero no al mapa de lineamientos. Finalmente se corrió el tercer modelo denominado “Full Model”, el que incluye a los mapas del “Modelo de Mapas”; pero que además incluye el mapa de lineamientos.

También se corrió los llamados “Modelos Alternativos”, para analizar la sensibilidad del estadístico ROC (Relative Operating Characteristic), curva que es la medida del desempeño del modelo (Gorservski et al., 2000). Para cada “Modelo Alternativo”, se prescindió de un mapa, a la vez; de los mapas utilizados en el “Modelo de Mapas”. Especificado en el nombre en cada “Modelo Alternativo”, como por ejemplo “modelo corrido sin el mapa de aspecto”, el que fue corrido utilizando los siguientes mapas: geología, pendientes, perfil del suelo, uso actual del suelo; y prescindiendo del mapa de aspecto.

MODELOS PRINCIPALES	VALOR DEL ESTADÍSTICO ROC
Modelo de Control	0.6927
Modelo de Mapas	0.7539
Full Model	0.7549
MODELOS ALTERNATIVOS	VALOR DEL ESTADÍSTICO ROC
Modelo corrido sin el mapa de aspecto	0.6561
Modelo corrido sin el mapa de pendientes	0.6700
Modelo corrido sin el mapa de uso de suelo	0.6710
Modelo corrido sin el mapa de perfil del suelo	0.6732
Modelo corrido sin el mapa de geología	0.6912

Tabla 48.- Comparación de los diferentes modelos de acuerdo al estadístico ROC.

De la comparación del estadístico ROC, se concluye que el mejor modelo fue el “Full Model”, es decir aquel modelo en el que fue incluido el Mapa de Lineamientos. De los modelos alternativos, se deduce que el mapa de aspecto es muy importante para obtener buenos resultados en el ajuste, le siguen en importancia el mapa de pendientes el mapa de uso de suelo, el mapa del perfil del suelo y por último el mapa de geología. La forma de la ecuación del “Full Model” es:

$$\text{logit(deslizamientos)} = -5.1916 + 1.090076 * \text{geología} + 0.794333 * \text{pendientes} + 0.619864 * \text{aspecto} + 0.881160 * \text{perfil del suelo} + 1.043093 * \text{uso del suelo}$$

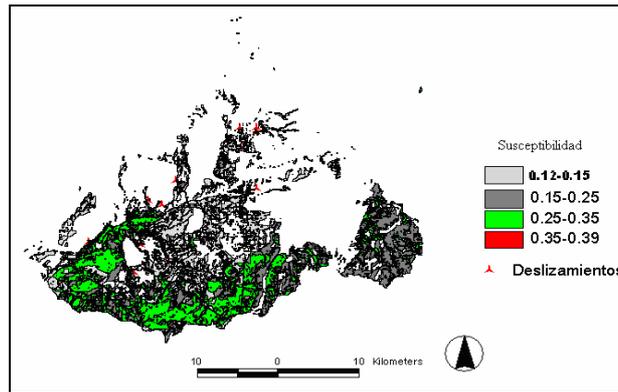


Figura 43.- Resultado del análisis de regresión del Full Model

Para la presentación de la Figura 43, han sido considerados los rangos: 0.12-0.15, 0.15-0.30 y 0.30-0.39 de susceptibilidad a deslizamientos; también se presentan los deslizamientos más importantes ocurridos en la cuenca del río Chanchán, levantados en el trabajo de campo.

Susceptibilidad (rangos)	Área (ha)	Área de estudio (ha)	% del Área de estudio
0.12-0.15	11884.14	111483.13	10.6600
0.15-0.25	14415.12	111483.13	12.9303
0.25-0.35	12298.14	111483.13	11.0314
0.35-0.39	666.18	111483.13	0.5976
0.1217-0.39	39263.58	111483.13	35.2193

Tabla 49.- Análisis de los resultados de la regresión logística.

Del análisis realizado el 35.22% del área de estudio presenta una susceptibilidad superior al valor umbral de susceptibilidad de deslizamientos dentro de la cuenca. Los lineamientos presentan una alta susceptibilidad (vías, fallas, ríos), pero así también, representan un muy bajo porcentaje del área de la cuenca.

Construcción de escenarios probabilísticos de disparo de deslizamientos debido a precipitaciones

Diferentes escenarios han sido modelados para los períodos de retorno de las precipitaciones acumuladas (Pizarro y Novoa, 1986) (Wieezorek, G.F., 1987) (Bacchi y Kottegoda, 1995) (Claessens et al., 2005) (Giannecchini R., 2005) de 1 a 40 días; con los datos de las estaciones Chunchi y Achupallas, se obtuvieron la curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) cuyo resultado se indica en el ANEXO I de este apartado. En el caso de la estación Chunchi se utilizó los datos diarios de los años: 1982, 1983, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004. Para el caso de la estación Achupallas se utilizó los datos diarios de los años: 1982, 1983, 1997, 1998, 2003, 2004 y del primer semestre del año 2005.

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Conclusiones Generales sobre deslizamientos

Los eventos de deslizamientos, están muy bien correlacionados con las clases consideradas en la regresión de los mapas factores de riesgo aquí analizados. Esto se concluye debido a que los deslizamientos levantados en campo fue con el criterio de que son los más relevantes ocurridos

en la cuenca; en la que los más recientes no necesariamente coinciden con las zonas de los relictos de los deslizamientos levantados de las fotografías aéreas, al analizar las clases más susceptibles (superiores a 0.15), se obtiene una correlación aceptable con los deslizamientos levantados en campo.

El modelo no pudo ser corrido en toda la cuenca, debido a que se comprobó en el transcurso de la presente investigación que la cuenca no presenta uniformidad en la geomorfología; lo que determina que en algunas áreas se presente pequeños y medianos deslizamientos (<5m) y procesos de reptación y en otras áreas se presenten grandes deslizamientos (>5m).

La caracterización de los factores vulnerables a grandes deslizamientos son:

- Mapa de Geología: Intrusivos, Terrazas, Depósitos Coluviales, Depósitos Aluviales, Unidad Puñay, Formación Tarqui
- Mapa de Pendientes: Pendientes superiores al 30%
- Mapa del Perfil del Suelo: Suelos profundos (>40cm) con alto contenido de arcilla y suelos poco profundos (<40cm)
- Mapa de Aspecto (las siguientes direcciones de la pendiente): Norte, Nor-Este, Sur-Oeste, Oeste y Nor-oeste
- Mapa de Uso Actual de Suelo: Plantaciones forestales, bosque natural, pastos plantados, vegetación arbustiva con pastos y páramos.

Las características geológicas de las Terrazas, Depósitos coluviales y Depósitos Aluviales, corresponde a rocas poco consolidadas, razón por la que presentan alta vulnerabilidad a deslizamientos en fuertes pendientes. En los lugares donde se presentan los Intrusivos es común encontrar manantiales, cuyas aguas emergieron desde el intrusito mismo y que debilitan las rocas por el reemplazo de minerales y dilución de minerales en las rocas a su paso. La Unidad Puñay comprende rocas conformadas por materiales sedimentarios, depositados en terrenos con fuertes pendientes (Egüez et al., 1992). La Formación Tarqui por otra parte comprende tobas ácidas caolinizadas y otras rocas intensamente meteorizadas, razón por la cual es vulnerable a grandes deslizamientos.

Las pendientes superiores al 30%, son consideradas dentro de la literatura como muy fuertes y las superiores al 45 y 50% son considerados como escarpados y abruptos, si el ángulo de fricción de las rocas no es superior a éstas pendientes, entonces es muy probable que se presenten deslizamientos.

Los suelos con alto contenido de arcillas son vulnerables a grandes deslizamientos debido a la presión de poros que se puede alcanzar en la presencia de precipitaciones (Fannin et al., 2000) (Wieczorek, 1987). Así también, se ha encontrado que los suelos poco profundos dentro de la cuenca del Chanchán se encuentran en los lugares con altas pendientes.

Debido a que se ha usado el mapa actual de uso de suelo, las “plantaciones forestales” pueden corresponder a zonas degradadas por la erosión y los deslizamientos, razón por la que presentan alta correlación con los deslizamientos. Las zonas de “bosque natural”, así mismo pueden presentar alta correlación con los deslizamientos debido a que los relictos que quedaron de éste, ocurren en zonas de alta pendiente no apta para agricultura. Así mismo, se observa que las zonas con agricultura presentan alta correlación con los deslizamientos a excepción de los páramos intervenidos y los bosques intervenidos, lo que quiere decir que la deforestación de estas áreas es debido a que son zonas favorables a la agricultura, con suelos profundos y no arcillosos y con pendientes moderadas.

El mapa de lineamientos no mejoró significativamente el estadístico ROC, que fue empleado para evaluar el modelo de regresión logística dentro del área de estudio que fue de 0.7539 del “Modelo de Mapas” a 0.7549 de ROC en el “Full Model”; por lo tanto no se comprueba que

caracteriza los grandes deslizamientos en la cuenca del río Chanchán, aunque puede tener una ligera correlación en el sentido de que se ha construido la vía Panamericana sin los estudios completos y además por la rivera izquierda del río; que es la de más altas pendientes, aunque tal vez era la alternativa más viable debido a que en esta rivera se encuentran los pueblos más importantes del área: Chunchi, Alausí y Tixán. A lo largo del río Chanchán también se observa que éste lineamiento tiene alta correlación con los deslizamientos, pero esto se debe en parte a la profundización del río Chanchán y principalmente a la litología de la zona, ya que corresponde a la cuenca media y cuenca baja; que corresponde a la zona de contracción y zona de deposición de los materiales de arrastre (materiales no consolidados), de la cuenca.

La más alta susceptibilidad a grandes deslizamientos se presentan en los sectores de los lineamientos cercanos al cerro Puñay en Huigra y en los lineamientos en el Cerro Gampala, cerca de Alausí (0.30-0.39 de susceptibilidad a grandes deslizamientos). Las otras áreas de alta susceptibilidad la ocupan la áreas de la zona contracción de la cuenca, a lo largo del río Chanchán, cerca de Sibambe, el área ocupada por la Unidad Puñay, Formación Tarqui y en otro ámbito las áreas ocupadas por los páramos (0.15-0.30 de susceptibilidad a grandes deslizamientos).

La correlación de los deslizamientos con los eventos de precipitaciones, no fue muy satisfactorio, debido a que como en el caso del deslizamiento de Gonzol del 28/04/1983, se lo realiza con las precipitaciones de la estación Chunchi y las precipitaciones no son relevantes, con períodos de retorno menores a 1.6 años. Esto se debe a que el fenómeno del niño no se presentó de una manera tan fuerte en Chunchi como en así fue en Alausí. Alausí está geográficamente más cerca de Gonzol y registró para la misma fecha una lluvia acumulada en 40 días de 669.6mm. La estación Pachamama-Tixán registró el 28/04/1983: 402mm de lluvia. Debido a la falta de datos (muy pocos años para un análisis objetivo) no se pudo realizar las curvas IDF para ambas estaciones para obtener los periodos de retorno de las precipitaciones a la fecha indicada.

Considerar períodos de retorno de precipitaciones que disparan deslizamientos, acumuladas mayores a 40 días, resultaría irrelevante; inclusive en años húmedos ya que así lo demuestra el análisis presentado y porque las diferencias de los eventos de intensidad máximos, entre años secos y húmedos, es menos significativa a medida que se consideran más días; hecho que se ha comprobado al realizar la construcción de las curvas IDF.

No fue posible identificar la cantidad de precipitación acumulada en Chunchi, ya que depende de las condiciones locales en cada caso, debido al hecho de que se constató que la altura del nivel freático es muy variable dentro de la cuenca hidrográfica

Cabe anotar que el “Flujo de lodos” (Flujo rápido), ocurrido el 31/03/1983, presenta su máxima intensidad de precipitaciones dentro de los 10 anteriores al deslizamiento, con una precipitación acumulada de 113.1mm y con un antecedente de humedad considerable dentro de los 40 días anteriores al flujo de lodos; deslizamiento que en primera instancia obstaculizó la vía y que luego ocurrió de forma violenta matando a 150 personas.

Para el caso de los deslizamientos sucedidos en Achupallas, en el mismo sector en ambas fechas, se observa que el período de retorno de las precipitaciones entre 20 a 25 días es superior a 3 años y con lluvias acumuladas superiores a los 214mm. Aunque los período de retorno de las lluvias no son completamente satisfactorio para un movimiento fuerte ya que el deslizamiento se presenta después de más de 7 años se considera que la cantidad de lluvia acumulada es la que ha provocado el movimiento fuerte; debido a que este deslizamiento también se comporta como un flujo lento todo el año, por ser una zona inestable con la presencia de ojos de agua en la parte alta del deslizamiento y que hasta la actualidad no ha sido drenado.

MICRO CUENCAS DE ANALISIS

Grupo 1

Cuencas de Lise y Panamá.- Desde el inicio del proyecto se monitorearon estas dos micro cuencas pertenecientes a la cuenca del río Chanchán. Ambas se caracterizan por tener un uso diferentes de los suelos, por un lado Lise (2.34 km²) corresponde a un chaparro y bosque secundario, mientras que la micro cuenca de Panamá (10.01km²) está siendo afectado por la ganadería extensiva y los pastos.

Durante el primer invierno del 2005 durante los meses de Febrero y Mayo ocurrieron eventos torrenciales considerables que afectaron a la sección de control en Panamá, razón por la cual el invierno de ese año se perdió la información, mas no así en Lise que por ser una micro cuenca más pequeña se logra obtener la información de ese invierno.

Para los siguientes dos años de monitoreo se obtiene buena calidad de información, los registros de caudal se disponen con una resolución temporal de 15min y se determinaron para un análisis de respuesta hidrológica los eventos máximos ocurridos durante estos tres años de investigación.

La Figura 44 visualiza los hidrogramas para estas micro cuencas a escala temporal diaria, se puede observar que se disponen de pocos eventos producto de la respuesta de precipitaciones moderadas, la más significativa se registra en marzo del 2007, que ocasiona los picos más altos para ambas micro cuencas, con una respuesta más notoria para Lise, sin embargo si comparamos el caudal específico todavía la cuenca de Panamá presenta una mayor descarga producto de la misma precipitación.

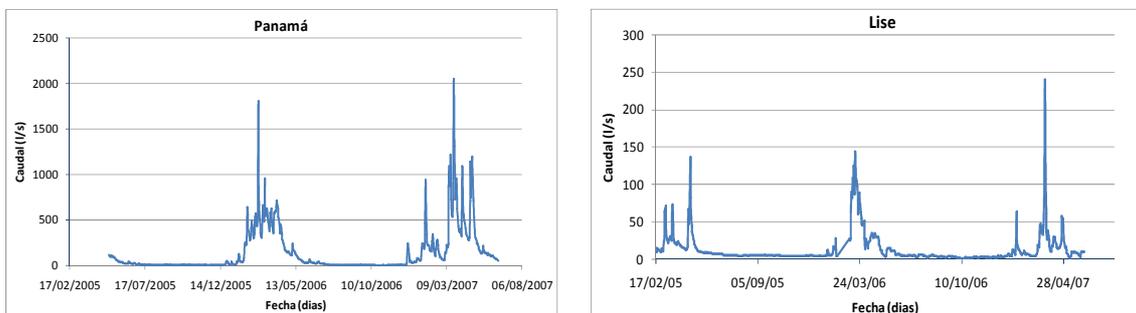


Figura 44.- Hidrogramas de las micro cuencas de Lise y Panamá

De los registros de precipitación de las diferentes estaciones pluviográficas ubicadas en la zona con una escala temporal de 5min, se logro determinar las curvas IDF (Intensidad Duración y Frecuencia) de estas micro cuencas, logrando establecer periodos de retorno a los eventos torrenciales ocurridos durante estos años. Si bien la serie es corta nos permite realizar una primera aproximación. La Figura 45 muestra las curvas IDF obtenidas para Lise y Panamá.

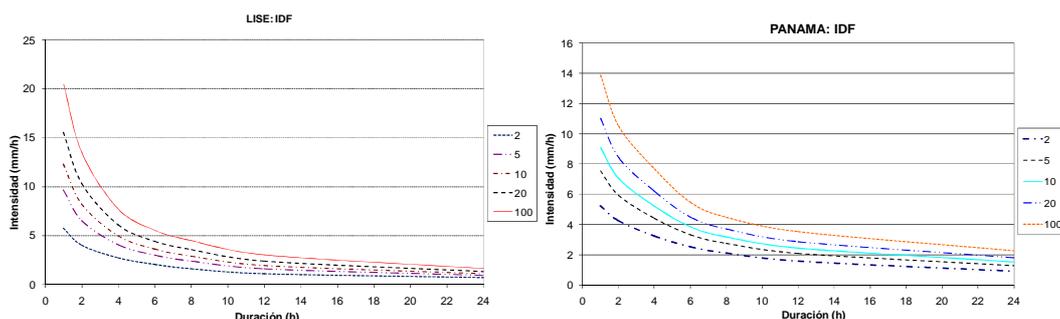


Figura 45.- Curvas IDF para las micro cuencas de Lise y Panamá

A partir de esta información y con la separación de eventos de los hidrogramas se realizó el análisis de respuesta hidrológica unitaria instantánea vs periodos de retorno de los torres y así graficamos esta relación para constatar el comportamiento de ellas conforme aumentan el grado extremo de la precipitación. La Figura 46 indica que todavía no existen variación significativa, el evento ocurrido en marzo 2007 tiende a estrechar las diferencias del comportamiento entre estas micro cuencas sin embargo no es clara esta suposición.

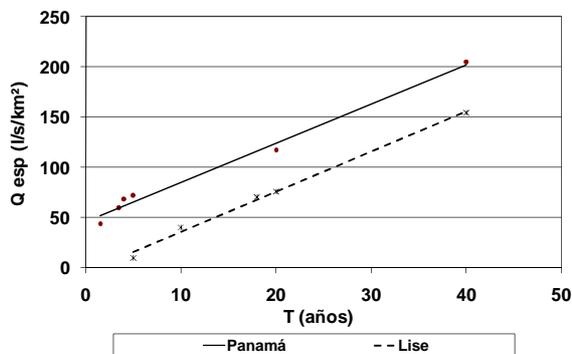
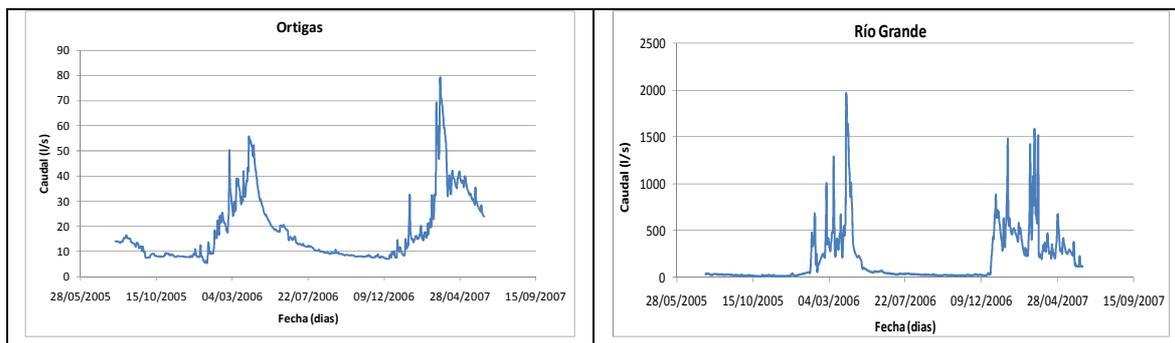


Figura 46.- Comportamiento Qesp-T para Lise y Panamá

En la Figura 46 no consta el evento en Panama de 405 l/s/km², debido a que por motivos de ilustración de la figura la micro cuenca de Lise no presenta un evento tan extremo y la grafica perdería calidad en la interpretación de los eventos.

Grupo 2

Ortigas Río Grande y Caparina.- Para estas micro cuencas se disponen de dos años completos de información, el régimen climático es similar a Lise y Panamá con un periodo de invierno de Enero a Mayo y una larga época de sequía de cerca de 7 meses. El evento máximo ocurrió de igual manera en Marzo de 2007 donde se registra el mayor evento de precipitación. Los hidrogramas se presentan en la Figura 47 y se aprecia el intenso invierno que presentan estas micro cuencas que no permiten hacer una separación de eventos, así en la micro cuenca de Ortigas parece que todo el invierno de 2006 ha sido un solo evento largo con lluvias continuas y prolongadas.



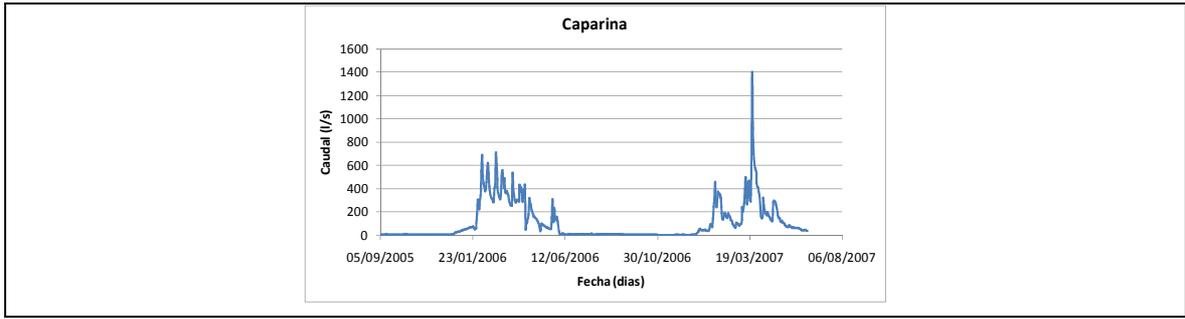


Figura 47.- Hidrogramas de las micro cuencas de Ortigas, Rio Grande y Caparina

Por esta situación no es posible realizar el mismo análisis anterior para comparar las diferentes respuestas a eventos torrenciales sin embargo se espera disponer en el futuro de mas informacion para proceder a contrastar el comportamiento de estas micro cuencas. De todas maneras se determino las curvas IDF para estas las micro cuencas del Grupo 2 las cuales se indican en la Figura 48.

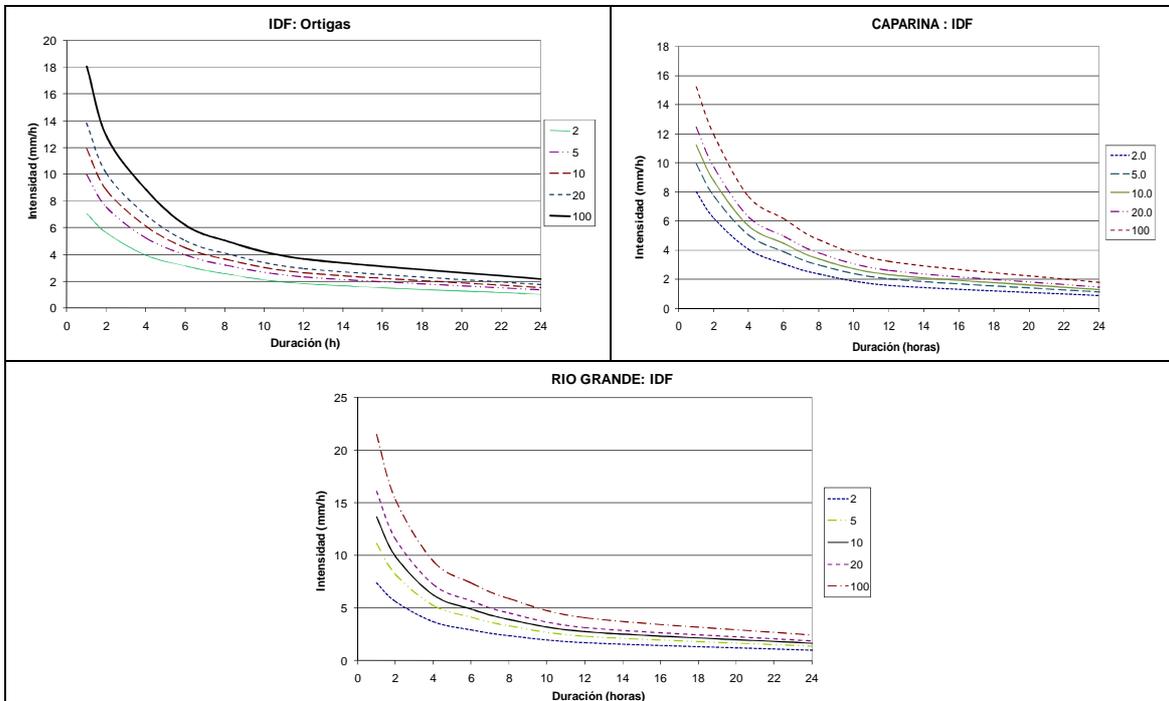


Figura 48.- Curvas IDF para las micro cuencas de Ortigas, Rio Grande y Caparina

Grupo 3

Pajonal y Pinos.- Estas micro cuencas pertenecientes al paramo andino se encuentran localizadas en el sector conocido como El Cajas cerca de la ciudad de Cuenca. La cercanía en ubicación de las mismas hace que ambas presenten en mismo régimen climático en el tiempo y el espacio presentando los mismos eventos torrenciales para ambas micro cuencas. Las coberturas de cada una de ellas esta especificada en sus nombres respectivos. Se tiene monitoreada la respuesta hidrológica desde el año 2004 y los hidrogramas a escala temporal diaria se presentan en la Figura 49.

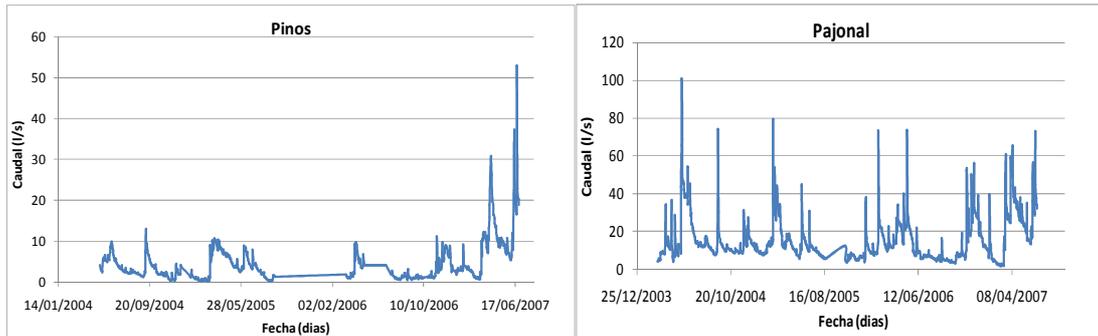


Figura 49.- Hidrogramas de las micro cuencas de Pinos y Pajonal

Siguiendo la metodología para los demás grupos de investigación se determinaron las curvas IDF para los eventos máximos ocurridos en estas micro cuencas, de esta manera se disponen de los periodos de retorno comparables entre eventos y su respuesta hidrológica en caudal específico para la verificación del comportamiento de la cobertura vegetal ante eventos extremos. La Figura 50 presenta las curvas IDF para estas dos micro cuencas.

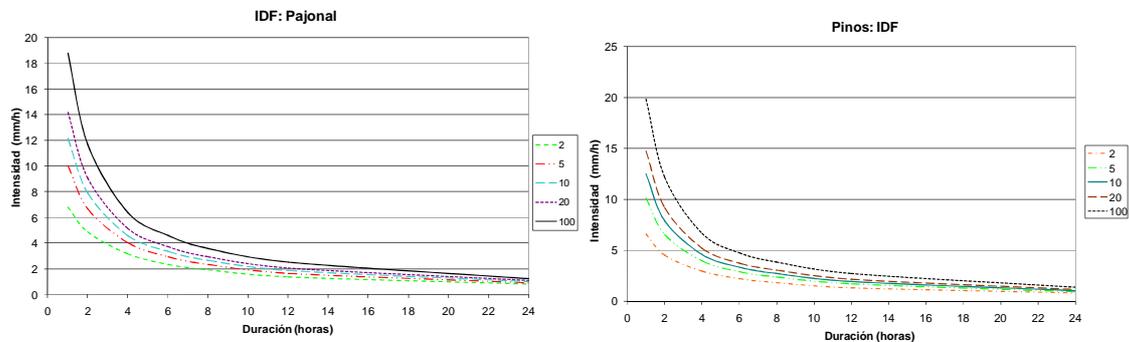


Figura 50.- Curvas IDF para las micro cuencas de Pinos y Pajonal

Un total de seis eventos importantes para el análisis fueron considerados hasta el año 2006, los cuales no revelaron ser eventos extremos ya que tenían un periodo de retorno menor a 10 años. Durante el año 2007 se presentaron precipitaciones más considerables y un evento en especial el ocurrido el 21 de Junio de 2007 ocasiono la inundación parcial de un sector de la ciudad de Cuenca con precipitaciones que superaron los 10 años de periodo de retorno.

Este evento fue investigado cuidadosamente debido a la importancia de la magnitud y las consecuencias que trajo consigo. La respuesta hidrológica específica instantánea para ambas micro cuencas demostraron ser semejantes y la cobertura vegetal del bosque de Pinos ha tenido un efecto mínimo de control del evento torrencial, así la Figura 51 muestra que precipitaciones con elevados periodos de retorno el efecto de la cobertura vegetal disminuye y las diferencias de la respuesta hidrológica es mínima.

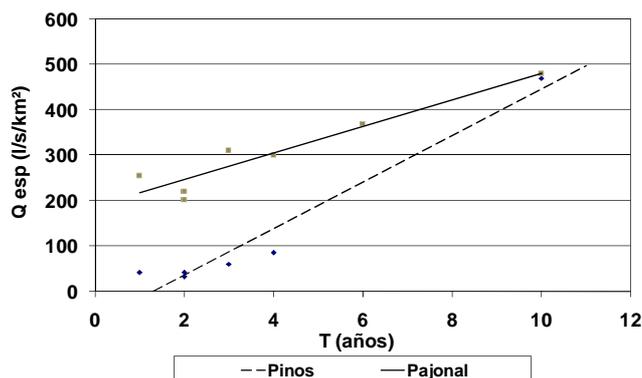


Figura 51.- Comportamiento Qesp-T para Pinos y Pajonal

Se espera continuar con la investigación y seguir monitoreando las micro cuencas hasta tener una serie completa con los eventos extremos suficientes que demuestren el verdadero efecto de la cobertura vegetal como respuesta a eventos torrenciales, la importancia de la conservación de bosques hasta qué punto es óptimo y cual el rol que cumplen ante la sociedad.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE GUABALCÓN

Para el análisis hidrológico de esta cuenca se ha instalado un equipo de monitoreo de caudal y precipitación dentro de la misma para la caracterización de la respuesta hidrológica en zonas bien diferencias de cobertura del suelo.

En la cuenca de Guabalcón se han verificado dos zonas totalmente diferentes de comportamiento hidrológico, la una correspondiente a la parte alta con predominio de zonas de Paramo, bosque y matorral, la cual presenta un grado importante de conservación, para su estudio se ha aprovechando el cruce de la avenida panamericana que une las ciudades de la Sierra Ecuatoriana para colocar un sensor de nivel en el sector conocido como Saguin (área de la cuenca de aporte de 13.28km²).

La parte media de la cuenca está caracterizada por pastos y cultivos, predominantemente es el área de producción de la cuenca, en esta zona las pendientes de las laderas son muy fuertes y la presencia de deslizamientos superficiales es común. El río Guabalcón cruza por laderas empinadas inestables con una evidencia de una fuerte erosión en el cauce y las laderas. En el sector conocido como Piñancay se ubico el sensor con un área de aporte de la cuenca de 57.35km².

El equipo de monitoreo instalado, su ubicación y sus características se indican en la Tabla 50

Lugar	Tipo	UTMx	UTMy	Cota	Resolución	Periodo de información
Saguin	Hidrológica	729090	9739376	2528	C / 15min	Feb 07 – Jun 07
Piñancay	Hidrológica	727726	9745844	1690	C / 15min	Feb 07 – Jun 07
Tinajeras	Pluviógrafo	732993	9745707	4033	Horaria	Jun 05 – Abr 06 Feb 07 – Jul 07
Piñancay	Pluviógrafo	728414	9735749	1793	Horaria	Feb 06 – Jun 07

Tabla 50.- Equipo de Monitoreo Instalado en la cuenca de Guabalcón

Análisis de Caudales

Se disponen de 5 meses de información de niveles desde la fecha de instalación del sensor de niveles, la resolución es de cada 15 min y se ha podido monitorear todo el invierno de este último año. Una intensa campaña de aforos ha sido realizada los últimos meses para la obtención de las respectivas curvas de descarga, se ha logrado en la medida de las posibilidades generar estas curva para predecir los caudales en la época de invierno. Las curvas de descarga generadas para los sitios de Saguin y Piñancay se muestran en la Figura 52.

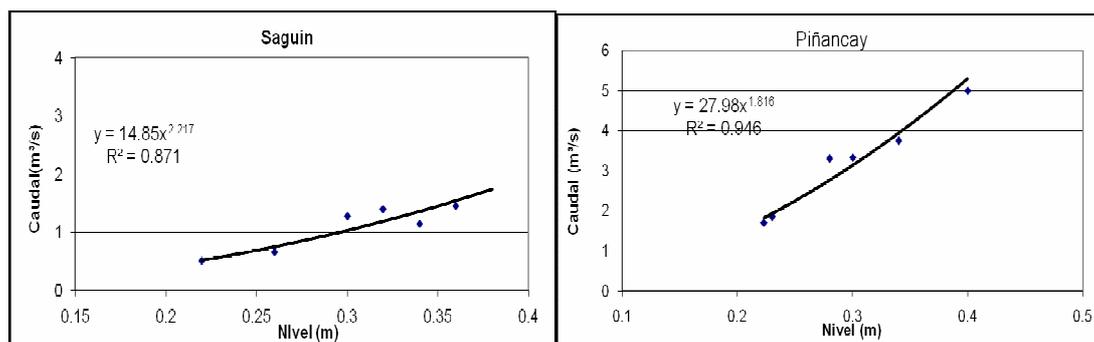


Figura 52.- Curvas de descarga para los sitios de monitoreo

Con la generación de estas curvas se proceso la información hasta obtener los caudales respectivos para las dos zonas de la cuenca de Guabalcón, la Figura 53 muestra los hidrogramas generados a una escala temporal diaria, se puede apreciar el fuerte invierno que ocurrió en este año en la zona interandina del país.

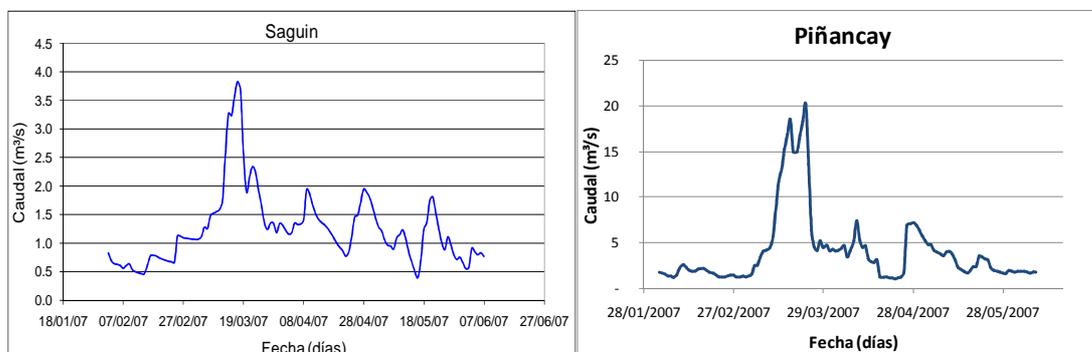


Figura 53 Respuesta Hidrológica de las zonas de la cuenca del río Guabalcón

Las precipitaciones ocurridas durante el mismo periodo que originaron la respuesta de caudales se indica en la Figura 54, se observa para Piñancay una fuerte época de lluvias en el mes de Marzo que ocasiona el fuerte evento hidrológico ocurrido el 23 de Marzo de este año.

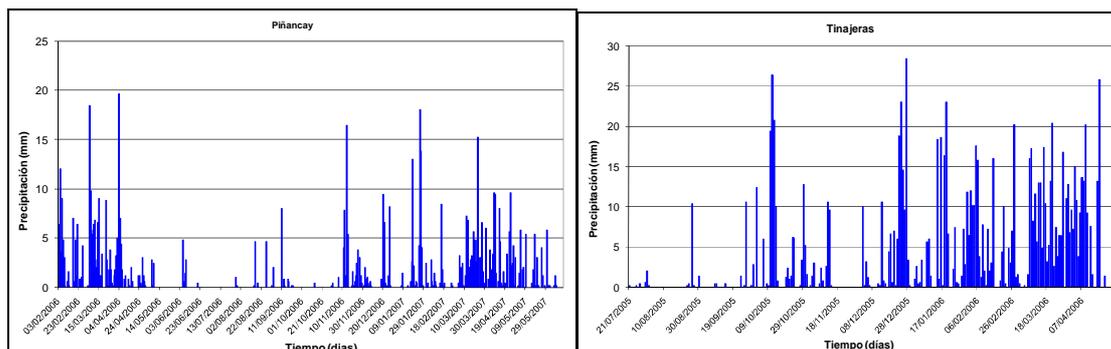


Figura 54 Hietograma de precipitaciones dentro de la cuenca del Guabalcón

Análisis de sedimento de la Cuenca de Guabalcón

Durante el invierno del 2007 se puso énfasis en la caracterización hidrológica y producción de sedimentos de la cuenca del Guabalcón como insumo para la ordenación Hidrológica forestal de la cuenca, para ello se instalaron equipos de monitoreo de caudal y precipitación; además de esto se realizó un intensivo trabajo de recolección manual de muestras de sedimentos cuando se hacían presente los eventos torrenciales.

Las muestras recolectadas fueron procesadas en el laboratorio del PROMAS y se obtuvo como resultado la concentración media de sedimentos, adicionalmente se determinaron en base a una campaña de aforos las curvas de descarga para la correcta determinación de caudales en los diferentes puntos de monitoreo necesarios para la determinación de la producción de sedimentos.

La cuenca alta del río Guabalcón (sector Saguin) se caracteriza por tener un importante nivel de conservación, incluyendo zonas de Paramo y bosques, la presencia de sedimentos durante los eventos torrenciales resultan ser bajos, es así que la Tabla 51 indica las muestras de sedimento obtenidas y el análisis realizado para cuantificar la producción de sedimentos en este punto.

Análisis de Sedimentos: Saguin						
Aforo	Fecha	Caudal	Concentración Media	Gasto Solido	ln (Q)	ln (g/s)
		m ³ /s	kg/m ³	Kg/s		
1	08/02/2007	1.2	0.04	0.047	0.16	3.85
2	05/03/2007	1.6	0.12	0.196	0.47	5.28
3	06/03/2007	2.1	0.23	0.481	0.72	6.18
4	07/03/2007	1.2	0.06	0.073	0.18	4.30
5	07/03/2007	1.6	0.73	1.173	0.47	7.07
6	08/03/2007	1.3	0.40	0.520	0.26	6.25
7	12/03/2007	2.1	0.07	0.137	0.72	4.92
8	17/03/2007	9.8	0.07	0.653	2.28	6.48
9	19/03/2007	5.0	0.47	2.333	1.61	7.76
10	23/03/2007	2.5	0.40	1.000	0.92	6.91
11	27/03/2007	1.2	0.10	0.120	0.18	4.79
12	28/03/2007	1.2	0.20	0.234	0.16	5.46
13	09/04/2007	5.7	0.10	0.570	1.74	6.35
14	11/04/2007	2.8	0.10	0.280	1.03	5.63

15	13/04/2007	2.1	0.10	0.212	0.75	5.36
16	14/04/2007	2.5	0.20	0.490	0.90	6.19
17	26/04/2007	5.0	0.20	1.000	1.61	6.91
18	27/04/2007	3.2	0.20	0.640	1.16	6.46
19	28/04/2007	8.0	0.20	1.600	2.08	7.38
20	30/04/2007	4.8	0.02	0.096	1.57	6.50
21	10/05/2007	1.3	0.20	0.260	0.26	5.56
22	17/05/2007	1.3	0.70	0.938	0.29	6.84
23	21/05/2007	1.6	0.50	0.805	0.48	6.69
24	26/05/2007	1.3	0.10	0.133	0.29	4.89

Tabla 51. Análisis de sedimentos para la cuenca alta del río Guabalcón

La curva de producción de sedimento que se deriva del análisis se presenta en la Figura 55. La ecuación ajustada tiene la forma potencial siguiente

$$\ln(Q)s = 6.360 \ln(Q)^{0.109}$$

Con la relación entre el caudal y la concentración de sedimentos mediante la curva de ajuste se determinaron los sedimentos en suspensión transportados por año, asumiendo en este caso el caudal medio determinado para la estación invernal (1.5m³/s), se obtuvo una concentración de sedimentos de 41.8 Ton/año, para el punto en la ubicación del sensor (13.28 km²), equivalente a 3.14 Ton/año/km².

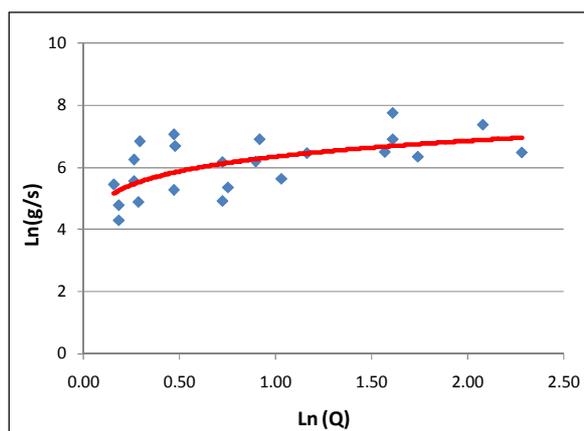


Figura 55 Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Saguin

El uso del suelo de la cuenca media del río Guabalcón está caracterizada por cultivos y pastos, el suelo esta degradándose paulatinamente y las laderas del cauce de los ríos presentan inestabilidad y alta erosión y son la causa principal del aporte de sedimentos en suspensión en el río, la Tabla 52 muestra el análisis de las muestras de sedimento recolectadas en la sección de las control en Piñancay.

Análisis de Sedimentos: Piñancay						
Aforo	Fecha	Caudal	Concentración Media	Gasto Solido	ln (Q)	ln (g/s)
		m ³ /s	kg/m ³	Kg/s		
1	04/02/2007	1.78	0.04	0.071	0.58	4.27
2	05/02/2007	1.40	0.08	0.112	0.34	4.72
3	07/02/2007	1.10	0.05	0.059	0.10	4.07
4	08/02/2007	1.10	0.11	0.125	0.10	4.83
5	11/02/2007	2.54	0.15	0.373	0.93	5.92
6	24/02/2007	1.13	0.05	0.062	0.12	4.13
7	22/03/2007	19.90	1.20	23.880	2.99	10.08

8	23/03/2007	21.80	0.70	15.260	3.08	9.63
9	24/03/2007	17,00	0.40	6.800	2.83	8.82
10	25/03/2007	7.02	0.10	0.702	1.95	6.55
11	26/03/2007	5.14	0.10	0.514	1.64	6.24
12	27/03/2007	3.78	0.10	0.378	1.33	5.93
13	28/03/2007	5.20	0.10	0.520	1.65	6.25
14	30/03/2007	4.37	0.20	0.874	1.47	6.77
15	02/04/2007	5.00	1.70	8.500	1.61	9.05
16	03/04/2007	4.30	1.50	6.450	1.46	8.77
17	04/04/2007	3.50	1.10	3.850	1.25	8.26
18	05/04/2007	3.88	0.40	1.552	1.36	7.35
19	07/04/2007	3.50	0.30	1.050	1.25	6.96
20	08/04/2007	6.35	0.40	2.540	1.85	7.84
21	09/04/2007	9.35	0.30	2.805	2.24	7.94
22	10/04/2007	3.70	0.40	1.480	1.31	7.30
23	11/04/2007	3.92	0.10	0.392	1.37	5.97
24	12/04/2007	4.65	0.10	0.465	1.54	6.14
25	13/04/2007	1.73	0.10	0.173	0.55	5.15
26	23/04/2007	5.00	0.50	2.500	1.61	7.82
27	24/04/2007	4.50	0.40	1.800	1.50	7.50
28	25/04/2007	5.20	0.60	3.120	1.65	8.05
29	27/04/2007	6.80	0.05	0.340	1.92	5.83
30	28/04/2007	10.00	1.40	14.000	2.30	9.55
31	29/04/2007	6.80	1.20	8.160	1.92	9.01
32	07/05/2007	3.60	0.05	0.180	1.28	5.19
33	25/05/2007	2.10	2.80	5.880	0.74	8.68
34	26/05/2007	2.28	0.60	1.368	0.82	7.22

Tabla 52 Análisis de sedimentos para la cuenca media del río Guabalcón

La curva de producción de sedimento que se deriva del análisis se presenta en la Figura 56. La ecuación ajustada tiene la forma potencial siguiente

$$\ln(Q_s) = 6.672 \ln(Q)^{0.231}$$

Con la relación entre el caudal y la concentración de sedimentos mediante la curva de ajuste se determinaron los sedimentos en suspensión transportados por año, el caudal medio determinado para la estación invernal es 4,5m³/s, se obtuvo una concentración de sedimentos de 320 Ton/año, el área de la cuenca media es de 44.07 km², equivalente a 6.33 Ton/año/km² para la parte media.

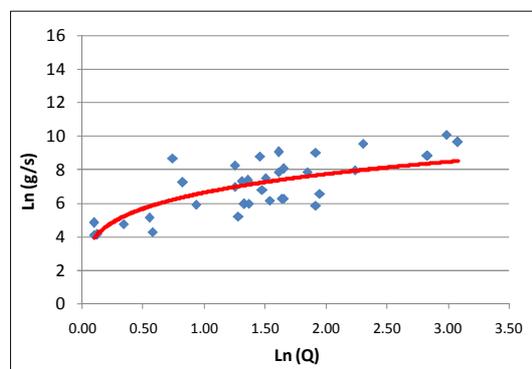


Figura 56.- Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Piñancay

Indicios de deslizamientos en Piñancay

Durante el invierno de 2007 se lograron recolectar muestras que presentan sospecha y se presume que no pertenecen a sedimentos en suspensión normales debidos a la erosión en el cauce o el arrastre de fondo. Estas muestras presenta excesiva concentración de sólidos suspendidos cuando el caudal es menor a la media del invierno, es decir un caudal bajo y que pueden ser producto de un deslizamiento superficial que se incorporo al flujo de agua. Durante tres fechas se registro este tipo de evento y se indica en la Tabla 53.

FECHA	Caudal	Concentración media	Gasto solido
	m ³ /s	kg/m ³	Kg/s
06/05/2007	2.6	2.20	5.720
29/05/2007	1.6	15.40	24.178
30/05/2007	2	16.20	32.400

Tabla 53.- Registros de sedimentos en suspensión producto de deslizamientos

Se observa que existe una elevada concentración de sedimento en la muestras y el caudal circulante es bajo, si comparamos con el caudal pico registrado de más de 20m³/s que presenta una concentración media de 1.2kg/m³, esto no se explicaría de otra forma que la presencia de deslizamiento superficiales en la cuenca media del río Guabalcón.

Caracterización del lecho de fondo del río Guabalcón

En el río Guabalcón en el sector de Piñancay se obtuvo una muestra de los sedimentos del lecho del río para determinar la distribución de las partículas de sedimento y las características de gradación de las mismas. Para ello se efectuaron dos ensayos de laboratorio, el primero comprende el tamizado para las partículas grueso – granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), pues no son discriminables por tamizado. Los resultados de estas dos pruebas se indican en la Tabla 54

Tamiz	Abertura Ø (mm)	% Retenido	% Pasan
1 ½"	37.5	1.2	98.8
¾"	19.0	23.7	76.3
½"	12.5	34.3	65.7
3/8"	9.5	40.6	59.4
4	4.75	60.0	40.0
#10	2.0	73.6	26.4
#40	0.425	93.1	6.9
#200	0.075	97.4	2.6

Tabla 54 Granulometría del lecho de fondo del río Guabalcón

Para la determinación del tipo de sedimento granular en el lecho del río se utilizan los criterios de coeficiente de uniformidad Cu con el coeficiente de curvatura Cc. Cuanto más alto sea Cu, mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D10, D30, D60 son los tamaños en diámetro de las partículas, para el cual él % del material es más fino que ese tamaño.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}; Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \Rightarrow \text{bien gradado cuando } \begin{cases} Cu > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < Cc < 3 \end{cases}$$

De acuerdo a este criterio los resultados de esta interpretación se presentan en la Tabla 55

Diámetro	mm
D60	9.8
D30	2.7
D10	0.3
D50	7.2

$Cu = D_{60}/D_{10}$	3.6
$Cc = D_{30}^2 / (D_{60}/D_{10})$	2.4

Tabla 55 Criterios de gradación para el sedimento del lecho

El material de lecho se clasifico como una grava mal gradada, es decir poco rango de tamaño de las partículas sedimentadas en el lecho.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL CHANCHÁN

Se continúa con el estudio de la cuenca general de investigación del Chanchán; el mismo tratamiento en la cuenca de Guabalcón se realizo en el Pueblo de Huigra. Un sensor de niveles fue instalado y una intensa campaña de aforos determino la curva de descarga de caudales; se intensifico en la toma de muestras de sedimentos durante el invierno y se ha determinado la producción de sedimentos del río Chanchán.

Análisis de Caudales

Los caudales debido a su gran área de aportación (1100km²) son altos con medias en el invierno de hasta 15m³/s, llegando a valores instantáneos que superan los 50m³/s. La curva de descarga generada y el hidrograma de caudales se indican en la Figura 57.

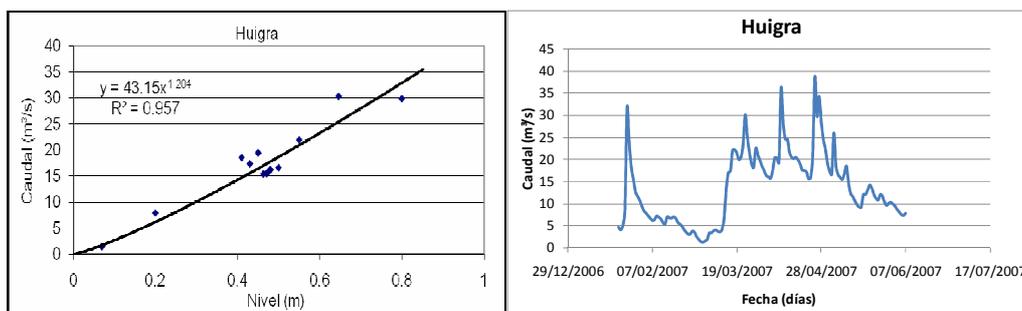


Figura 57 Curva de descarga e Hidrograma para el invierno de 2007 en el río Chanchán

Producción de sedimentos para la cuenca del río Chanchán

El río Chanchán se caracteriza por tener una pendiente fuerte en el cauce y de concentrar un alto grado de producción de sedimentos debido a la erosión en el cauce y la socavación de las laderas. El río Guabalcón es afluente del río Chanchán, y siguiendo la misma metodología se monitorio el río Chanchán unos pocos kilómetros aguas abajo de la junta de ambos ríos en el pueblo de Huigra donde se caracterizo la producción de sedimentos para la cuenca del Chanchán, la Tabla 56 indica el muestreo realizado y la cuantificación de la concentración de sedimentos.

Análisis de Sedimentos: Huigra						
Aforo	Fecha	Caudal	Concentración Media	Gasto Solido	ln (Q)	ln (g/s)
		m ³ /s	kg/m ³	Kg/s		
1	14/02/2007	8.0	0.27	2.18	2.08	7.69
2	15/02/2007	7.1	0.29	2.09	1.96	7.64
3	16/02/2007	6.9	0.05	0.33	1.93	5.78
4	17/02/2007	6.6	0.03	0.18	1.89	5.18
5	19/02/2007	5.4	0.05	0.29	1.69	5.66
6	21/02/2007	4.5	0.01	0.03	1.51	3.41
7	24/02/2007	3.1	0.03	0.10	1.14	4.65
8	25/02/2007	3.0	0.09	0.28	1.10	5.63
9	26/02/2007	4.1	0.06	0.24	1.40	5.49
10	08/03/2007	2.9	0.96	2.73	1.05	7.91

11	09/03/2007	3.7	0.27	0.99	1.31	6.89
12	12/03/2007	3.8	0.13	0.51	1.35	6.24
13	14/03/2007	13.9	2.05	28.43	2.63	10.26
14	15/03/2007	16.7	1.73	28.95	2.82	10.27
15	16/03/2007	15.8	1.73	27.39	2.76	10.22
16	17/03/2007	20.4	4.62	94.15	3.02	11.45
17	18/03/2007	21.6	0.81	17.40	3.07	9.76
18	19/03/2007	19.5	0.73	14.30	2.97	9.57
19	23/03/2007	32.0	3.00	96.00	3.47	11.47
20	26/03/2007	19.3	0.40	7.73	2.96	8.95
21	28/03/2007	22.6	0.30	6.79	3.12	8.82
22	16/04/2007	22.0	0.50	11.00	3.09	9.31
23	18/04/2007	19.8	3.50	69.30	2.99	11.15
24	20/04/2007	17.8	3.70	65.86	2.88	11.10
25	21/04/2007	16.5	3.10	51.15	2.80	10.84
26	22/04/2007	16.0	9.30	148.80	2.77	11.91
27	23/04/2007	15.4	3.06	47.14	2.73	10.76
28	24/04/2007	16.6	3.50	58.10	2.81	10.97
29	25/04/2007	45.1	3.40	153.44	3.81	11.94
30	26/04/2007	23.1	0.90	20.79	3.14	9.94
31	27/04/2007	31.0	1.10	34.10	3.43	10.44
32	28/04/2007	27.8	1.50	41.70	3.33	10.64
33	29/04/2007	24.0	2.60	62.40	3.18	11.04
34	30/04/2007	23.6	3.70	87.32	3.16	11.38
35	01/05/2007	19.7	2.70	53.19	2.98	10.88
36	02/05/2007	17.8	0.62	10.99	2.88	9.30
37	03/05/2007	16.7	0.54	9.08	2.82	9.11
38	04/05/2007	33.3	0.26	8.65	3.51	9.07
39	05/05/2007	18.0	0.14	2.43	2.89	7.80
40	06/05/2007	16.7	6.44	107.49	2.82	11.59
41	07/05/2007	16.6	11.39	189.06	2.81	12.15
42	10/05/2007	17.1	2.60	44.46	2.84	10.70
43	15/05/2007	9.7	0.74	7.19	2.27	8.88
44	16/05/2007	9.2	3.21	29.49	2.22	10.29
45	18/05/2007	10.9	0.88	9.62	2.39	9.17
46	19/05/2007	11.0	0.71	7.86	2.40	8.97
47	20/05/2007	11.3	0.57	6.46	2.42	8.77
48	21/05/2007	13.0	11.27	146.12	2.56	11.89
49	22/05/2007	13.9	5.38	74.93	2.63	11.22
50	23/05/2007	11.3	1.20	13.61	2.43	9.52
51	24/05/2007	11.4	17.68	202.29	2.44	12.22
52	26/05/2007	10.7	0.82	8.82	2.37	9.09
53	07/06/2007	8.5	0.40	3.40	2.14	8.13

Tabla 56 Análisis de sedimentos para el río Chanchan en Huigra

La curva de ajuste (Figura 58) tiene la forma potencial siguiente:

$$\ln(Q)s = 4.854 \ln(Q)^{0.690}$$

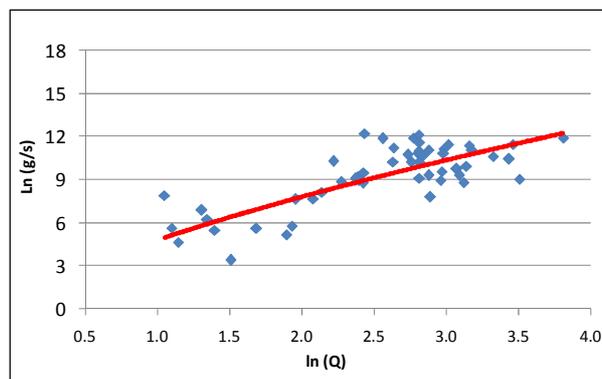


Figura 58 Curva de ajuste de la producción de sedimentos en Huigra

Con la relación entre el caudal y la concentración de sedimentos mediante la curva de ajuste se determinaron los sedimentos en suspensión transportados por año, el caudal medio determinado para la estación invernal es $14\text{m}^3/\text{s}$, se obtuvo una concentración de sedimentos de 216000 Ton/año , el área de la cuenca media es de 1080 km^2 , equivalente a 200 Ton/año/km^2 para la cuenca del Chanchán.

SECTION 6

DISCUSSION OF LAND USE IMPACT

ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCHÁN

Percepción de los actores a cerca de los eventos ocurridos en la cuenca del río Chanchán

Con respecto al tema de la investigación (precipitaciones extremas y deshielo), los encuestados consideran que no se podría establecer como un problema característico de la cuenca. Se manifiesta que, dentro de la cuenca no se dan eventos extremos de gran magnitud como en otras regiones del país; sin embargo, la zona está expuesta a continuos problemas relacionados con los deslizamientos y las fuertes lluvias, que sobre todo en época de invierno se encuentran presentes.

Los actores según algunos trabajos e investigaciones desarrollados, otorgan mayor relevancia a la inestabilidad de las tierras, debido a las fallas geológicas y la sobre explotación de tierras de fuerte pendiente, que durante el período de invierno de la zona ocasiona deslaves que han ocasionando catástrofes de gran magnitud, como la destrucción de vías de comunicación de primer orden y represamiento de ríos.

En cuanto a las precipitaciones extremas, se manifiesta que los sitios que mayormente han tenido presencia de eventos son: Guasuntos, Pacha, Achupallas, y Huigra, lugares en donde se producen continuamente deslaves con presencia de inundaciones.

La influencia de los eventos ocurridos dentro de la cuenca del río Chanchán se extiende desde la parte media de la cuenca hasta llegar a poblaciones bajas que limitan con la provincia del Guayas y cuyas áreas son constantemente amenazadas debido a la ocurrencia de inundaciones y alto grado de sedimentación en los ríos. Una marcada relevancia se da al cantón Cumandá (zona de mayor impacto), pues al ser un cantón que se encuentra en la zona baja es el territorio que se considera que tiene mayor impacto de inundaciones en época de fuertes lluvias.

Al ser la cuenca del río Chanchán una subcuenca del río Guayas, la influencia de eventos que se pueden presentar en el río Chanchán se extiende hacia cantones de la provincia del Guayas ubicados al este de la cuenca, estos cantones son: General Antonio Elizalde, Coronel Marcelino Maridueña, Bucay y El Triunfo, los que son afectados, específicamente por inundaciones ocurridas en poblaciones aledañas a las riberas del río.

Por otro lado, la población en general, recuerda el tipo de evento que ha ocurrido sobre todo los que han causado mayores impactos pero no posee un registro en su memoria de los datos más específicos o pequeños eventos que se han presentado a lo largo de un período determinado.

Uno de los eventos más recordados y que ha afectado a varias poblaciones es el represamiento del río Chanchán en el cantón Huigra (año 1999). La mayoría de encuestados recuerda el año en el que sucedió el evento pero no da la fecha de ocurrencia de manera exacta, este evento tuvo un impacto directo en la población de Huigra y en los cantones Alausí y Chunchi. El problema se agudizó porque no se encontraba una vía de desfogue de las aguas y la parroquia fue declarada en emergencia. Este evento fue comparado con el evento “La Josefina” ocurrido en la provincia del Azuay, en el año 1993.

En 1999 el represamiento del río Chanchán afectó al kilómetro 126 de la vía férrea. A partir de ese año, este tramo ha quedado suspendido, situación que ha afectado notablemente al turismo en la zona.

A partir de la ocurrencia de este fenómeno, los Alcaldes de los cantones de Alausí y Chunchi con el apoyo de la Curia de Alausí, del Servicio de Cooperación Holandesa y otras organizaciones no gubernamentales conjuntamente con líderes comunitarios, impulsan la creación del Comité Campesino para el Manejo de la Micro cuenca del Río Chanchán.

Percepción de los actores sobre los peligros que amenazan a la cuenca del río Chanchán

Los entrevistados establecieron que la cuenca del río Chanchán puede ser amenazada por los siguientes peligros, clasificados en la tabla

Tipo	Lugares en Riesgo (cantones o parroquias)
Deslizamientos	Alausí y Chunchi
Fuertes Precipitaciones	Toda la cuenca
Inundaciones	Alausí y Cumandá, Huigra
Sismos	En toda la provincia (no se especifica lugar)
Erupción Volcánica	En la parte norte de la provincia

Tabla 57.- Tipo de Amenazas presentes en la Cuenca del Río Chanchán

La cuenca del río Chanchán, según estudios realizados, posee gran cantidad de zonas de riesgo debido a fallas geológicas, lugares en donde no existe un plan de ocupación de territorio provocando un incremento de deslizamientos de terreno, en estas zonas vulnerables.

Los entrevistados consideran como medidas para remediar los efectos de la ocurrencia de eventos extremos, las siguientes:

- Forestación
- Protección de las Fuentes Hídricas
- Manejo de cultivos
- Detener la tala indiscriminada del bosque
- Manejo de zonas vulnerables

Percepción de problemas ocasionados por el fenómeno el Niño en la cuenca del río Chanchán

Los entrevistados catalogan la influencia del fenómeno El Niño como “incierto o indirecta” dentro de la cuenca del río Chanchán, porque ante la presencia de fuertes lluvias en la región costa no significa que ocurran lluvias en la sierra y específicamente en la Cuenca del Río Chanchán. Incluso, se manifiesta que han existido períodos que no se presenta ningún efecto por El Niño.

Sin embargo, a nivel institucional existe planes de contingencia (emergencia y rescate de la población afectada) para minimizar los efectos de El Niño (inundaciones y deslizamientos de tierra).

Dentro de este plan se manifiesta que. “La provincia del Chimborazo recibe una influencia media en la parte alta y un poco más acentuada en el Cantón Pallatanga y Cumandá, esta última por encontrarse situada prácticamente como una cuña dentro de la provincia del Guayas, constituye la parte baja de la provincia de Chimborazo.

Los estudios para los planes de contingencia han establecido como presunciones de ocurrencia las siguientes:

1. Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse inundaciones en la provincia, especialmente en la parte baja: cantón Cumandá, debido al desbordamiento de los Ríos Chambo y Chanchán
2. Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse deslizamientos de tierra particularmente en la comunidad de Chañag parroquia Quimiag, cantón Riobamba, en el cantón Alausí particularmente en la parroquia Guasuntos y la parte alta desde la comunidad de La Moya hacia Achupallas. Así mismo en el Cantón Pallatanga, particularmente en la comunidad Los Santiagos y en Chunchi
3. Debido a deslizamientos de tierra pudiera producirse un nuevo embalsamiento del río Chanchán en la parroquia Huigra

Otros problemas generados por la ocupación y uso del territorio en la cuenca del Río Chanchán

Otro de las causas para la presencia de eventos extremos que los entrevistados han mencionado son los siguientes:

1. Deforestación
2. Alto grado de erosión
3. Cultivos no apropiados
4. Sobre Pastoreo
5. Ocupación agrícola o habitacional de tierras en zonas inestables

Percepción sobre el manejo forestal y su situación en la cuenca del Río Chanchán

Los programas de forestación y reforestación no han sido sostenibles. La cuenca se encuentra deforestada, existen pequeñas áreas cubiertas de bosque nativo como el quishuar. La mayoría de vegetación nativa ha desaparecido a partir de la construcción del ferrocarril (Riobamba-Quito), en donde se utilizó gran parte de la explotación de la madera en su construcción.

Entre las principales causas de deforestación se encuentran

- a) La comercialización de la madera tanto en el interior del país como en el exterior
- b) La utilización de materiales maderables para la construcción
- c) La utilización de bosque nativo como leña
- d) La quema de chaparro

La reforestación se ha realizado con especies exóticas como: pino, ciprés y eucalipto, que han ido disminuyendo notablemente debido a la demanda de madera desde el exterior (exclusivamente Japón). Situación que está terminando con los bosques, siendo un caso muy preocupante la disminución del bosque del desierto de Palmira.

El manejo de bosques se ha sustentado a través de pequeñas agrupaciones campesinas que se han formado con el objetivo de reforestar con especies maderables (pino y ciprés), al momento estas organizaciones se encuentra vendiendo la producción de madera.

Los entrevistados manifiestan que no existe conciencia del manejo forestal dentro de la cuenca, la tala de árboles se están realizando sin considerar el tiempo de vida de éstos, pues la demanda de madera no determina ningún requisito, únicamente interesa el volumen comercial.

La expansión de la frontera agrícola hacia zonas superiores a 3200 metros y el agricultura en fuertes pendientes, preocupa a las organizaciones y actores que trabajan con los recursos naturales. Debido a que ha generado la destrucción de la vegetación nativa y el incremento de la erosión de suelos.

Los habitantes de las zonas altas (superiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar) que notan cambios sobre la dinámica del ambiente, debido a la deforestación, han buscado paliar los problemas generados por la pérdida de Bosque y en general de vegetación nativa, a través de la siembra de especies forestales en su mayoría exóticas.

Los bosques nativos están a punto de desaparecer: Lo que significa que existe pequeñas franjas de bosque de donde se continúa utilizando la madera como leña, sin embargo, en menores cantidades debido a utilización del gas de consumo doméstico.

Según datos del Consejo Provincial de Chimborazo, la deforestación en la provincia avanza a un ritmo de 1.500 hectáreas por año en madera de eucalipto o 110.000 metros cúbicos de madera rolliza.

Los incendios forestales se han vuelto un problema de difícil manejo tanto para pobladores de zonas boscosas y para instituciones encargadas de asistencia en este tipo de eventos. Este problema se agudiza sobre todo en épocas de sequía prolongada en donde los incendios se presentan ya sea por la intervención humana o de manera natural.

Otro factor que ha intensificado la tala de bosques es la reclamación de tierras comprendidas dentro de éstos, y utilizando dichas tierras para la producción agrícola; puesto normas establecidas en el país, determinan que las tierras sin propiedad pueden ser adjudicadas siempre y cuando un interesado determine el uso y posesión de ese territorio durante un tiempo determinado.

Es necesario recalcar que al hablar de bosques o manejo forestal no existe diferenciación entre especies, las personas al ser encuestadas a cerca de este tema, en primera instancia no realiza ninguna diferenciación entre plantas exóticas y plantas nativas, lo que deja ver que no existe características determinantes que diferencien su implementación y manejo.

Es por esto que a nivel general, las principales convicciones para la preservación de bosques e son las siguientes:

- De el bosque depende el que tengamos agua en los ríos
- Si cuidamos el bosque protector evitamos los deslaves en las carreteras
- Defendemos nuestra ciudad de inundaciones
- Contrarrestamos la contaminación
- Conservamos los suelos
- Protegemos los cultivos
- Mantenemos la ecología
- Defendemos la depredación de árboles y mas especies nativas que se están determinando
- Mantenemos siempre verde el paisaje
- Evitamos presencia de polvo contaminante que provoca enfermedades
- Sirven para diversión de todos en una ambiente puro
- Mantiene la humedad del terreno
- Regula las lluvias

- Proveer a la industria maderera de los productos necesarios para el consumo local y la exportación,
- Abastecer a las comunidades locales de los productos forestales no madereros esenciales, y
- Brindar a las comunidades indígenas que habitan en los bosques la oportunidad de continuar sus modos de vida y de sustento tradicionales.
- También proveen bienes y servicios ambientales, pues actúan como escudos naturales contra desastres,
- Sirven de sumideros de carbono.

Al ser inducidos a determinar la influencia del efecto de plantaciones forestales, técnicos, habitantes de zonas boscosas o personas que poseen un bosque presentan dos corrientes de pensamiento en cuanto a la dinámica de plantaciones forestales exóticas como pino y eucalipto: la primera corriente tiene una visión dirigida al valor de estas como materia prima destinada a la venta; y la segunda corriente considera que las plantaciones de pino son sumideros de carbono a través del mecanismo de Desarrollo Limpio promovidos por países industrializados, secan las fuentes de agua, existiendo por ellas algunos problemas en zonas altas en donde han existido vertientes de agua pero por la acción de estas se han secado, y también el efecto de sus resinas impiden el crecimiento de cualquier especie vegetal en el suelo en donde se encuentran plantadas.

Detección de cambios de uso del Suelo mediante imágenes satelitales

De la investigación desarrollada “Descripción de los cambios en cobertura en las cuencas del Río Paute y del Río Chanchan en los últimos 20 años en base al análisis de imágenes Landsat” se rescato el siguiente análisis que refleja el cambio de uso del suelo para la cuenca del Río Chanchan.

Cuenca del Río Chanchán ³

Los cambios entre 1986 y 2001-2002 de áreas degradadas a cultivos y pastos probablemente se deben a problemas de separabilidad entre dichas clases en las imágenes de 1986: hubo una sobreestimación del área degradada y una subestimación del uso agrícola.

En el mapa de cambios en vegetación leñosa en la cuenca del Río Chanchán se verifica un alto grado de deforestación en la zona montano alto y en la zona montano bajo, donde la vegetación leñosa fue reemplazado por el uso agrícola. En el centro de la cuenca, la deforestación es mínima, aunque en 1986 la vegetación leñosa ya era escasa. Las zonas de reforestación más intensiva en la zona montano alto de la cuenca, con plantaciones de pino al sur de Gonzol, y entre Palmira y Tixan, y un aumento de áreas clasificadas como bosque natural en la zona montano.

En el mapa de cambios en superficies sin cobertura y áreas erosionadas se observa grandes áreas que en las imágenes de 1986 fueron clasificadas como área degradada con cobertura, pero en las imágenes de 2001 - 2002 ya no correspondieron a áreas degradadas. En la parte alta de la cuenca se observa un aumento de la degradación en el sector de Palmira. En las zonas montano y montano bajo también se aprecia áreas que se degradaron entre 1986 y 2001-2002, y el crecimiento de las superficies de las poblaciones de Alausí y Chunchi, entre otros. Cuando se sobrepone el mapa de cambios en superficies sin cobertura y áreas erosionadas con puntos de referencia de grandes deslizamientos en la cuenca del Río Chanchán, se observa un aumento de

³ Wijffels A. 2006. “Descripción de los cambios en cobertura en las cuencas del Río Paute y del Río Chanchan en los últimos 20 años en base al análisis de imágenes Landsat”

áreas de degradación en la ubicación de los deslizamientos de Guasuntos, Tixan, Chunchi, Gonzol y Alausí.

En el mapa de cambios en uso agrícola se aprecia un gran aumento en el área destinada para el uso agrícola en los sectores de Palmira y Totoras. En la zona baja la vegetación leñosa fue reemplazada por el uso agrícola. Las áreas que han mantenido su cobertura agrícola se muestran en general en la cuenca media y alta de la cuenca, en los sectores de Achupallas, Tixan y Palmira.

Respuestas y contrastes de los eventos máximos entre las diferentes cuencas de estudio

Las micro cuencas han sido seleccionadas cuidadosamente, todas están ubicadas en la cordillera de los Andes y representan un uso de suelo diferente, mediante la utilización de imágenes satelitales, fotografías aéreas y levantamiento con GPS de acuerdo sea el caso en la micro cuenca fue posible clasificarlas por una cobertura vegetal predominante.

Para la obtención de toda la información necesaria se instaló una red completa de monitoreo en las siete micro cuencas, cada una de ellas dispone de un sensor de nivel ubicada en una sección de control construida para la determinación correcta de caudales. Una red de pluviógrafos se distribuyó eficientemente para una adecuada caracterización de las precipitaciones. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de las siete micro cuencas, agrupadas por zonas y cuencas hidrográficas, se constata la cercanía que existe entre estos grupos de cuencas.

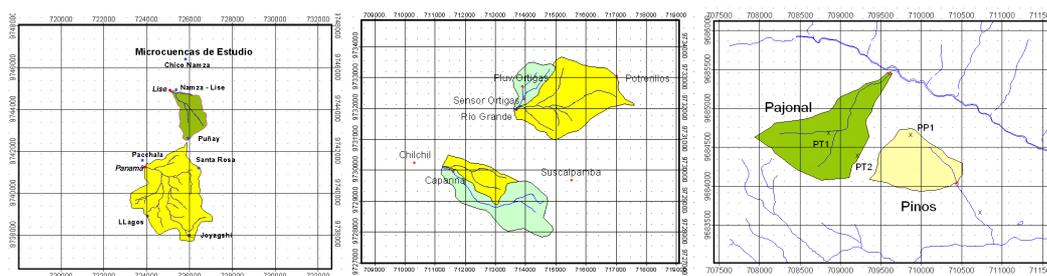


Figura 59.- Ubicación geográfica de las siete micro cuencas

Los nombres de las cuencas por grupos con la cobertura vegetal y suelos predominantes de la cual nos referiremos en este artículo se muestran en la Tabla 58.

Grupo	Cuenca	Área (km ²)	Cobertura	Suelos	% Área predominante	Precipitación anual
1	Panamá	10.01	Pastos	Cambisol	57	1000
	Lise	2.34	Matorral	Leptosol	69	700
2	Ortigas	0.99	Bosque nativo	Andosol	74	1200
	Caparina	5.38	Pastos	Cambisol	94	1000
3	Río Grande	3.08	Mixta: Pastos, bosques, chaparro	Cambisol	100	1200
	Pajonal	1.00	Pajonal	Andosol	86.4	1100
	Pinos	0.59	Bosque pinos	Andosol	98	1100

Tabla 58.- Coberturas y características de las diferentes micro cuencas de estudio

La respuesta hidrológica de las micro cuencas presenta diferencias en regulación del flujo en épocas de verano, así mismo se identifica variaciones de flujo superficial rápido que ocasiona un pico extremo de caudal, el diagrama de caja (Figura 60) muestra para cada micro cuenca su valor medio, máximo y mínimo registrado en caudal específico medio diario.

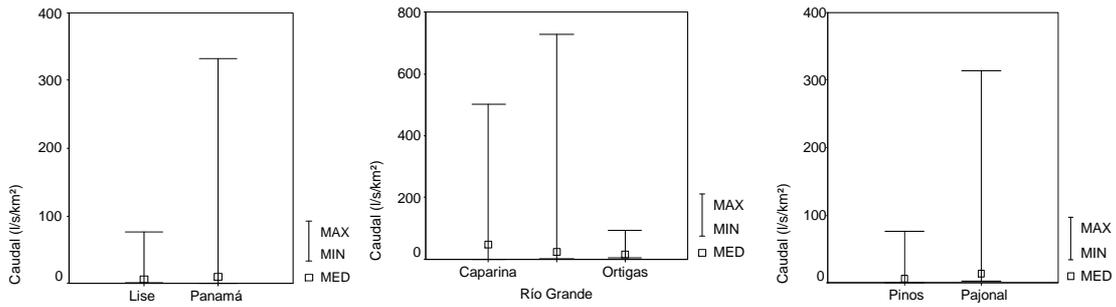


Figura 60.- Diagrama de Caudales Máximo, Mínimos y Medios

Los caudales mínimos presentados en las micro cuencas de acuerdo a su régimen climático pueden ser indicativos del grado de conservación y/o alteración de las mismas, para una mejor visualización de mínimos caudales se presenta la Figura 61, las cuencas que tienen influencia de actividad humana presentan caudales mínimos bajos, y viceversa ocurre con las cuencas naturales de bosque nativo y pajonal con una apreciable regulación en época de sequía.

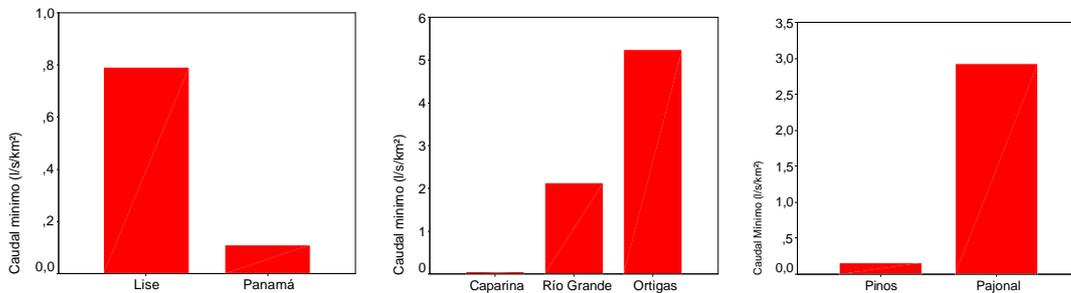


Figura 61.- Análisis de caudales mínimos

Para los grupos de micro cuencas 1 y 2 las precipitaciones no se presentan simultáneamente pero si presentan el mismo régimen climático, la Figura 62 muestra cómo responden hidrológicamente las micro cuencas y se presenta las diferencias entre ellas.

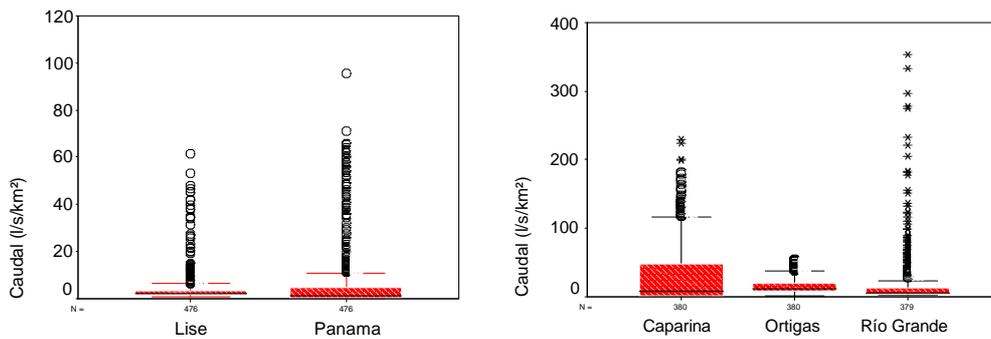


Figura 62.- Respuesta hidrológica para dos grupos de micro cuencas

Las micro cuencas de páramo se encuentran ubicadas muy cerca y las precipitaciones demuestran ser iguales después de un análisis estadístico no paramétrico de la información de precipitación, los datos no se distribuyen normalmente por consiguiente el estudio se realizó con el estadístico Mann-Whitney Wilcoxon a un nivel de significancia del 5% (Tabla 59), este arroja un resultado altamente significativo, en conclusión las precipitaciones son las mismas, así la Figura 63 presenta el régimen diario de precipitaciones para estas dos micro cuencas y se nota claramente las coincidencias de los eventos.

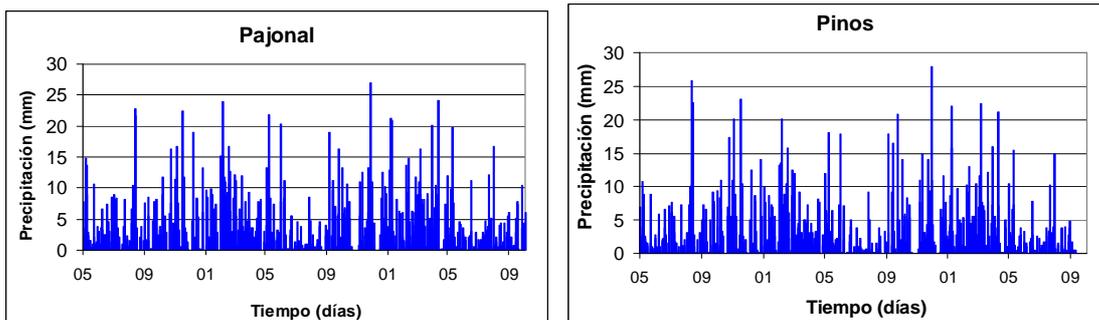


Figura 63.- Precipitación en la micro cuencas del Paramos

Rangos				Estadísticos de contraste ^a	
	PLUVIOGR	N	Rango promedio	Suma de rangos	PRECIPIT
PRECIPIT	1,00	865	874,96	56842,00	U de Mann-Whitney
	2,00	865	856,04	40473,00	W de Wilcoxon
	Total	1730			Z
					Sig. asintót. (bilateral)

Tabla 59.- Estadístico de contraste para precipitaciones

Con la elaboración de diagramas de caja tanto para precipitaciones como para caudales se puede apreciar la semejanza absoluta en precipitaciones y totalmente lo contrario para la respuesta hidrológico en cada una de las micro cuencas (Figura 64). La micro cuenca de Pinos presenta un consumo alto de agua por evapotranspiración con caudales muy pobres, mientras que el Pajonal regula los eventos y presenta una respuesta hidrológica mayor.

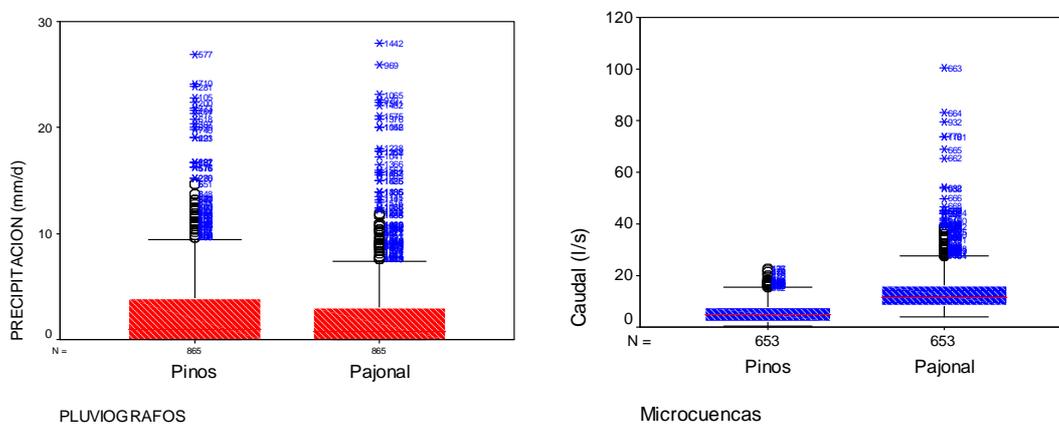


Figura 64.- Diagramas de Caja para los valores de precipitación y caudal

El mismo análisis fue realizado para los registros de caudal tomando en cuenta el mismo periodo de datos, la influencia del área de aporte de la cuenca se elimino a través de su caudal unitario. La información resulta tener igualmente un sesgo hacia los caudales máximos de ahí que el mismo análisis estadístico resulta adecuado. La prueba no paramétrica de Mann-Whitney Wilcoxon [13,14] a un nivel de significancia del 5% rechaza totalmente la hipótesis nula de igualdad de medianas, es decir los registro de caudal son totalmente distintos uno del otro. Así se indica en la Tabla 60.

Rangos				Estadísticos de contraste	
	PIN1PAJ2	N	Rango promedio	Suma de rangos	CAUDAL
CAUDAL	1,00	653	433,11	282821,00	69290,000
	2,00	653	873,89	570650,00	282821,0
	Total	1306			-21,118
					Sig. asintót. (bilateral) ,000

Tabla 60.- Estadístico de Contraste para caudales

Conclusiones

La micro cuenca de Ortigas presenta una capacidad reguladora impresionante, en época de sequía el caudal regulado es de 6lt/s/Km². El bosque nativo presenta excelentes características de almacenamiento de agua en el suelo.

Las micro cuencas dominadas por agricultura, pastos, con cierto grado de degradación presentan una respuesta rápida ante los eventos de precipitación, la cobertura vegetal no afecta el origen inmediato de la escorrentía, el caudal específico en época de verano es mínimo llegando valores cercanos a cero.

En los suelos de páramo caracterizado por Andosoles, existen dos micro cuencas monitoreadas, pajonal y pinos separadas muy poca distancia, el efecto de la cobertura es evidente, el pajonal mantiene cierto nivel de regulación de caudal en época seca mientras que los pinos consumen altos porcentajes de agua lo que se evidencia en la pobre entrega de caudal en época seca a pesar de estar asentado sobre un suelo de excelentes características de regulación.

El único parámetro de análisis ha sido la cobertura vegetal, del estudio previo se ha verificado parámetros como la pendiente media de la cuenca, tipo de suelo, propiedades hidrofísicas y no se ha encontrado parámetros con diferencia significativa que tengan influencia en el análisis de las diferentes micro cuencas en la respuesta hidrológica.

Los resultados de la investigación permiten tener un conocimiento más profundo de la hidrología de sitios de alta montaña, lo cual servirá como base para establecer políticas de manejo de páramos y cuencas hidrográficas.

El efecto de la cobertura es un factor determinante para el análisis de la respuesta hidrológica de una cuenca de montaña, características naturales de cobertura brinda un soporte adecuado a eventos extremos y regulación en épocas de verano, la intervención humana ha hecho que micro cuencas con cambios de cobertura se degraden y pierden sus características.

Es esencial que se informe de la real magnitud que tiene una cuenca natural bien conservada para el almacenamiento de agua y el poder de capacidad reguladora en verano, así mismo la micro cuenca de pinos presenta excelentes condiciones de control de crecientes pero su efecto hidrológico es totalmente contradictorio, el consumo de agua es determinante y las decisiones deberán ser tomadas en base a un análisis muy profundo de todas estas consecuencias.

BIBLIOGRAFIA

Buytaert W., J. Deckers, G. Dercon, B. De Bièvre, J. Poesen, y G. Govers. 2002. Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 18:94-100.

Crespo P. 2006. Efecto de la escala de la información sobre el desempeño del modelo SWAT en una micro cuenca de montaña. Tesis de Maestría. Universidad de Cuenca, Programa para el manejo del agua y el suelo (PROMAS), Cuenca – Ecuador.

Deckers J., F. Nachtergaele, O. Spaargaren, (Eds.), 1998. *World Reference Base for soil resources*. Roma – Italia.

FAO, 2001. *Lectura notes on the major soils of the world*.

FAO/ISRIC/ISSS, 1998. *World Referente Base for Soil Resources, World Soil Resources Report Nr. 84*, FAO: Rome; 88

Guzmán, P., y V. Tobar, 2002. Establecimiento del balance hídrico en el Parque Nacional Cajas (PNC), Plan de manejo del PNC, CEMAPRIMES – ETAPA. Cuenca – Ecuador.

Guzmán P. 2004. Análisis de la dinámica lluvia escorrentía en micro cuencas de páramo. Tesis de Maestría. Universidad de Cuenca, Programa para el manejo del agua y el suelo (PROMAS), Cuenca – Ecuador.

Malangón, D. y C. Pulido. 2000. *Suelos del Páramo Colombiano. Colombia Diversidad Biótica III, La región de vida paramuna*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales. Bogota.

Podwojewski, P., y J. Poulenard. 2000. Los suelos de los páramos en el Ecuador. En: Mena, P.A., C. Josse, y G. Medina (Eds.), *Los suelos del páramo. Serie Páramo 5. GTP/Abya-Yala*, pp. 2-26. Quito.

Serrano, F. y D. Minga. 2002. *La Vegetación del Bosque de Sural (micro cuenca del río Chacayacu)*. Reporte para OFIS. En prensa.

Smith, J. M. B. y A. M. Cleef. 1988. Composition and origins of the world's tropicalpine floras. *J. Biogeogr.* 15. pp. 631-645.

Atkinson P, Jiskoot H, Massari R & Murria T., 1998. Generalized Linear Modeling in Geomorphology. *Earth Surf. Process. Landforms*, 23, 1185-1195

Ayalew L, & Yamagishi H., 2003. The application of GIS-based logistic regression for landslides susceptibility in the Kakuda-Yahiro Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65 (2005) 15-31.

Bacchi, B., Kottegoda, N.T., 1995. Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall, *J. Hydrol.* 165, 311-348.

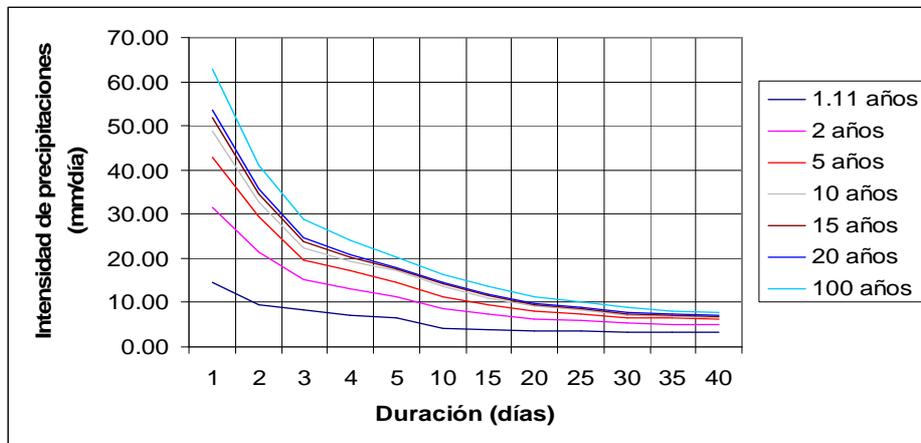
Claessens L., Lowe D.J., Hayward B.W., Schaap B.F., Schoorl J.M., y Veldkamp A., 2005. Reconstructing high-magnitude/low-frequency landslide events based on soil redistribution modellind and a Late-Holocene sediment record from New Zealand. *Geomorphology* xx (2005). Article in press. En: www.sciencedirect.com

- Egüez, A., Dugas, F. & Bonhomme, M., 1992. Las Unidades Huigra y Alausí en la evolución Geodinámica del Valle Interandino del Ecuador. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 3, 47-56. En: Breve léxico estratigráfico del Ecuador.
- Fannin, R.J., Jaakkola, J., Wilkinson, J.M.T., Hetherington, E.D., 2000. Hydrologic response of soil to precipitation at Carnation Creek, British Columbia, Canada. *Water Resources Research* 36 (6), 1481-1494
- Giannecchini R., 2005. Rainfall triggering soil slips in the southern Apuan Alps (Tuscany, Italy). *Advances in Geosciences* (2005) 2: 21-24.
- Gorservski P, Gessler P, Randy B. Foltz., 2000. Spatial prediction of landslide hazard using discriminant analysis and GIS. *GIS in the Rockies 2000 Conference and Workshop. Applications for the 21st Century*. Denver, Colorado. September 25 - 27, 2000.
- Gorservski P., 2001. Statistical modeling of landslide hazard using GIS. *Proceeding of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, March 25 to 29. Reno, Nevada.
- Gumbel, E. J., 1941, The return period of flood flows: *Annals Math. Statistics* v. 12, no. 2, p. 163-190.
- Gumbel, E. J., 1958, *Statistics of extremes*: New York, Columbia Univ. Press, 375 p.
- Guzzetti F; Carrara A; Cardinali M; Reichenbach P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31 (1999) 181-216.
- Hidráulica de Canales Abiertos, Ven te Chow, 1994, McGraw Hill Bogota
- INAMHI. Fenómeno El Niño 1997-98. Evaluación meteorológica. Informe final. 1998.
- Narea D y Tamayo M. 2006. "Transporte de Sedimentos en Suspensión en ríos de Montaña". Tesis de Ing Civil. Universidad de Cuenca.
- Riggs. H. C., 1965, Estimating probability distributions of drought flows: *Water and Sewage Works*, v. 112. no. 5, p. 153-157.
- Riggs, H. C., 1967, Some statistical tools in hydrology: U.S. Geol. Survey Tech. Water-Resources Inv., book 4, chap. A2 Frequency Curves.
- Rossel F. 1997. Influencia de El Niño sobre los regímenes hidro-pluviométricos del Ecuador. (Traducción en español de tesis de doctorado) ORSTOM – INAMHI, Serie INSEQ, 18, Tome I, II y III, 203 p.
- Temez, J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.
- Vanacker V, 2002. Geomorphic Response to Human-Induced Environmental Change Areas. The Austo Ecuatoriano as a Case-Study. Ph.D. Thesis.
- Wieczorek, G.F., 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. In: Giacomo D'Ámato Avanzi, Roberto Giannecchini, Alberto.
- Puccinelli., 2004. The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An Example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy). *Engineering Geology* 73 (2004) 215-228.

ANEXO

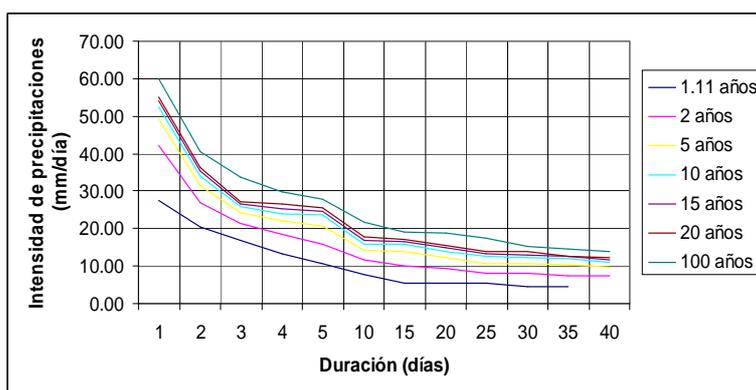
Chunchi

Duración \ período de retorno	Duración												
	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días	40 días	
100 años	62.90	41.20	28.97	24.18	20.32	16.44	13.80	11.41	10.18	8.84	8.13	7.63	
75 años	61.40	40.35	28.27	23.65	19.90	16.07	13.49	11.17	9.98	8.66	8.02	7.54	
50 años	59.20	39.05	27.23	22.88	19.28	15.52	13.04	10.81	9.68	8.41	7.85	7.39	
25 años	55.10	36.60	25.33	21.45	18.12	15.12	12.20	10.15	9.12	7.93	7.53	7.11	
20 años	53.70	35.80	24.67	20.95	17.75	14.50	11.77	9.92	8.93	7.76	7.41	7.01	
15 años	51.80	34.65	23.77	20.28	17.72	14.15	11.51	9.60	8.66	7.54	7.25	6.87	
10 años	48.90	32.90	22.40	19.25	17.16	13.66	10.90	9.17	8.26	7.19	7.00	6.66	
9 años	48.00	32.40	22.03	18.95	16.32	12.92	10.73	8.99	8.15	7.09	6.93	6.59	
8 años	47.10	31.85	21.57	18.87	16.10	12.72	10.53	8.84	8.02	6.98	6.85	6.52	
7 años	46.00	31.20	21.07	18.63	15.82	12.48	10.31	8.65	7.86	6.85	6.75	6.44	
6 años	44.60	30.40	20.43	18.23	15.50	12.20	10.03	8.44	7.68	6.69	6.63	6.33	
5 años	42.90	29.40	19.63	17.18	14.64	11.41	9.67	8.16	7.45	6.49	6.47	6.20	
4 años	40.70	27.90	18.70	16.38	14.00	10.88	9.21	7.80	7.14	6.23	6.25	6.02	
3 años	37.40	25.60	17.40	15.23	13.06	10.06	8.53	7.26	6.70	5.93	5.85	5.74	
2 años	31.70	21.55	15.13	13.20	11.42	8.61	7.34	6.32	5.90	5.30	5.21	5.17	
1.11 años	14.50	9.45	8.33	7.18	6.52	4.30	3.79	3.55	3.52	3.17	3.15	3.15	



Achupallas

Duración \ período de retorno	Duración												
	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días	40 días	
100 años	59.80	40.60	33.60	29.67	27.90	21.72	19.05	18.77	17.46	15.32	14.71	13.85	
75 años	59.10	39.90	31.90	29.27	27.45	21.07	18.70	18.24	16.85	14.98	14.31	13.45	
50 años	58.00	38.85	30.32	28.70	26.80	20.13	18.20	17.48	15.98	14.48	13.72	12.96	
25 años	56.00	36.95	27.63	27.60	25.58	18.43	17.25	16.10	14.49	13.54	13.22	12.50	
20 años	55.00	36.25	27.27	26.70	25.54	17.85	17.08	15.64	14.00	13.84	12.77	12.30	
15 años	54.20	35.25	26.73	25.15	24.55	16.92	16.46	15.01	13.36	12.98	12.66	11.81	
10 años	52.60	34.05	25.97	23.84	23.55	15.94	15.78	14.08	12.61	12.45	12.10	11.10	
9 años	52.10	33.70	25.73	23.43	23.40	15.63	15.59	13.83	12.30	12.20	11.94	10.90	
8 años	51.60	33.30	25.50	23.15	22.90	15.37	15.27	13.54	11.93	11.91	11.69	10.68	
7 años	51.00	32.80	25.20	22.80	22.30	15.11	14.87	13.21	11.61	11.53	11.44	10.42	
6 años	50.20	32.20	24.83	22.40	21.62	14.79	14.37	12.81	11.24	11.13	11.06	10.11	
5 años	49.20	31.50	24.40	21.90	20.80	14.40	13.77	12.31	10.79	10.74	10.49	9.72	
4 años	47.80	30.55	23.80	21.23	19.74	13.87	12.99	11.67	10.23	10.22	9.78	9.23	
3 años	41.80	29.35	22.93	20.23	18.30	13.11	11.89	10.76	9.47	9.45	8.83	8.53	
2 años	42.00	26.85	21.40	18.50	16.00	11.76	10.07	9.26	8.22	8.15	7.37	7.36	
1.11 años	27.60	20.50	16.87	13.43	10.74	7.75	5.54	5.44	5.43	4.67	4.38	4.30	



Curvas de IDF para las estaciones de Chunchi y Achupallas

Precipitaciones acumuladas de 1 a 40 días y periodos de retorno para los eventos de deslizamientos en la cuenca del río Chanchán

	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días	40 días
Chunchi 31/03/1983	Sictur - río Huataxi (Flujo de lodos, 150 muertos)											
Precipitación acumulada (mm)	27	47.6	71.6	80.8	81.4	113.1	123.8	149.5	179.1	206	207.6	209.5
*precipitación acumulada considerada (mm)	27	47.6	71.6	80.8	81.4	113.1	123.8	149.5	179.1	206	207.6	209.5
*Intensidad considerada (mm/día)	27.00	23.80	23.87	20.20	16.28	11.31	8.25	7.48	7.16	6.87	5.93	5.24
período de retorno (años)	1.61	2.45	4.08	2.94	2.09	4.76	2.67	3.35	1.5	1.5	1.44	1.23
**Chunchi 28/04/1983	Chunchi carretero a la altura de Gonzol (destrucción de la vía)											
Precipitación acumulada (mm)	16.3	21	25.6	27	33	40.6	47.3	51.7	126.3	176.9	224.9	242.4
*precipitación acumulada considerada (mm)	16.3									176.9	224.9	242.4
*Intensidad considerada (mm/día)	16.3									5.90	6.43	6.06
período de retorno (años)	1.15									1.3	1.6	1.44
Achupallas 19/11/1997	San Antonio (Pérdida de vidas)											
Precipitación acumulada (mm)	9.5	40.5	48.8	49.7	68.5	138.1	163.2	189.7	268	268	268	295.7
*precipitación acumulada considerada (mm)		40.5			68.5	138.1	163.2	189.7	268			295.7
*Intensidad considerada (mm/día)		20.25			13.7	13.81	10.88	9.485	10.72			7.39
período de retorno (años)		1.10			1.43	3.85	2.38	2.10	4.88			2.02
Chunchi 09/01/1998	Agua Santa (Viviendas destruidas)											
Precipitación acumulada (mm)	6	6	6	24	24	24	48	57.5	91.5	123.5	132.5	170.5
*precipitación acumulada considerada (mm)									91.5		132.5	170.5
*Intensidad considerada (mm/día)									3.66		3.79	4.26
período de retorno (años)									1.12		1.23	1.33
Achupallas 17/03/2005	Paccha - Bagtinas (31 viviendas destruidas)											
Precipitación acumulada (mm)	18.50	26.40	45.00	73.80	77.40	123.50	174.80	214.90	214.90	214.9	224.4	224.4
*precipitación acumulada considerada (mm)				73.80	77.40	123.50	174.80	214.90				
*Intensidad considerada (mm/día)				18.45	15.48	12.35	11.65	10.745				
período de retorno (años)				1.96	1.85	2.35	2.84	3.00				
Chunchi 09/04/1998	Agua Santa, Cachagua, Manzanapamba, Los Tanques, Callanga, Piñancay (6 deslizamientos)											
Precipitación acumulada (mm)	6	10	12	23	23	49	83	99	127	144	166	180
*precipitación acumulada considerada (mm)						49	83	99	127	144	166	180
*Intensidad considerada (mm/día)						4.9	5.53	4.95	5.08	4.8	4.74	4.5
período de retorno (años)						1.14	1.35	1.37	1.49	1.69	1.40	1.45
Chunchi 03/05/1998	Deslizamiento en el pueblo de Piñancay											
Precipitación acumulada (mm)	8	32	32	42	42	68	93	109	137	160	182	189
*precipitación acumulada considerada (mm)		32		42		68	93	109	137	160	182	189
*Intensidad considerada (mm/día)		16		10.5		6.8	6.2	5.45	5.48	5.3	5.2	4.725
período de retorno (años)		1.39		1.41		1.63	1.52	1.54	1.69	2.22	2.13	1.56

*Mayor a 1.11 años de período de retorno

**La estación Pachamama-Tixán registró el 28/04/1983 una precipitación de 402mm/día y la estación Alausí registró para la misma fecha una precipitación acumulada en 40 días de 669.6mm