

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
MONTES

PROYECTO FIN DE CARRERA



ORDENACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE
LA CUENCA DEL RÍO GUABALCÓN,
ECUADOR.

Autor: NUR ALGEET ABARQUERO

Director: JUAN ÁNGEL MINTEGUI AGUIRRE

MADRID, JUNIO DE 2.008

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES

Título del P.F.C.: Ordenación Hidrológico Forestal de la Cuenca del río Guabalcón, Ecuador.

Autor: Nur Algeet Abarquero

Director: Juan Angel Mintegui Aguirre

Tribunal:

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

Fdo.

Fdo.

Fdo.

CALIFICACIÓN: _____

Fecha: Madrid,

OBSERVACIONES:

AGRADECIMIENTOS

A Jose Carlos, porque su ayuda ha sido fundamental para la elaboración de este proyecto. A Juan, gracias por el apoyo y la confianza.

Al equipo del PROMAS, en especial a Felipe y Pedro Cisneros, por darme la oportunidad de conocer su realidad. A Cristian por las horas de trabajo compartidas, y a Marco, porque por él, conocí más y mejor el Guabalcón y sus gentes. Al resto del grupo, por las horas de trabajo, combinadas con amistad y sonrisas. Qué lindo es el PROMAS!

A la Universidad Politécnica de Madrid, por la concesión de la beca Proyectos Fin de Carrera para el Desarrollo que me brindó la oportunidad de viajar y conocer un país que ahora es mi segundo hogar.

A mi familia, porque siempre están esperando mi regreso con una sonrisa, porque confían en mí y me animan en todas mis idas y venidas. A mi hermano, porque es mi confidente y mi apoyo siempre. Porque hay veces que te echo mucho de menos. Escandar. Porque solo nosotros sabemos.

A mi familia Mora Serrano, gracias por tanto cariño y tantos momentos felices. Fui desde el primer día, y ya para siempre, una morita más. No os olvido.

A Jesús, porque compartir esto, y todo, contigo, es un placer y todo un orgullo y privilegio. Por tu mirada que me da el aire, por esa palabra, idónea en cada momento, que me anima y me da fuerzas.

A Chuki, porque juntos somos mucho más que dos. Porque estás a mi lado aquí o allá. El próximo viaje decides tú el destino.

A los montesinos, amigos y compañeros de un camino que ahora llega al final. Lo mejor de montes es su gente. Un placer haber disfrutado tantos años con vosotros. Nos vemos mañana.

Título: ORDENACIÓN HIDROLÓGICO FORESTAL DE LA CUENCA DEL RÍO GUABALCÓN, ECUADOR.

Autor: Nur Algeet Abarquero.

Director: Juan Ángel Mintegui Aguirre.

Departamento: Ingeniería Forestal.

RESUMEN

La ordenación agrohidrológica de las cuencas se considera un pilar importante sobre el que basar las políticas territoriales de las comunidades que se integran en ellas. Así, estos proyectos son documentos que analizan desde la perspectiva física y socioeconómica, los recursos agua y suelo y recogen una serie de propuestas de manejo de las cuencas, que ayuden al desarrollo racional de estas comunidades y al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Este proyecto fin de carrera se integra dentro del Programa Marco de la Comisión Europea EPIC FORCE (Evidence Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt - Políticas basadas en la evidencia científica para la gestión integrada de cuencas hidrográficas forestadas frente a precipitaciones extremas y fusiones repentinas del manto de nieve), y su objetivo principal dentro de este es estudiar la defensa de la cuenca ante eventos torrenciales, cualquiera que fuera su intensidad, y encontrar las vías adecuadas para garantizar su aprovechamiento sustentable

La cuenca del río Guabalcón (Ecuador), se encuentra situada en la Cordillera de los Andes, provincia del Chimborazo. En ella se ha realizado un estudio de su comportamiento hidrológico así como un estudio de sus usos de suelo y técnicas de manejo con el fin de identificar los principales problemas físicos. Para estos, y para los problemas socioeconómicos que la población misma detecta como acuciantes, la alta tasa migratoria de su población y los bajos precios de los productos agrícolas y ganaderos, se han intentado buscar unas alternativas que protejan a la población ante fenómenos relacionados con el geodinamismo torrencial, y otras, que representen para las comunidades una alternativa de futuro.



Tabla de contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES	3
III.	OBJETIVOS	5
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	9
V.	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA	11
1.	SITUACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
2.	CARACTERÍSTICAS DE FORMA Y RELIEVE. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE	15
a.	CARACTERÍSTICAS DE FORMA	15
b.	CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE.....	16
c.	CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE	18
3.	GEOLOGÍA Y COMPOSICIÓN DE SUELOS	25
a.	LITOFACIES	25
b.	EDAFOLOGÍA	28
4.	ESTUDIO DE LOS USOS ACTUALES DEL SUELO Y VEGETACIÓN POTENCIAL.....	33
a.	VEGETACIÓN POTENCIAL Y FORMACIONES ECOLÓGICAS	33
b.	USO ACTUAL DEL SUELO Y CUBIERTA VEGETAL.....	36
5.	CONDICIONES CLIMÁTICAS	43
a.	ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS.....	44
b.	ÍNDICES CLIMÁTICOS.....	49
c.	EL FENÓMENO “EL NIÑO”	56
6.	COMPONENTE SOCIOECONÓMICA	59
a.	A PROPÓSITO DEL ECUADOR	59
b.	ZONA DE ESTUDIO.....	59
VI.	COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA.....	63
1.	ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS.....	65

a.	ANÁLISIS DE DATOS.....	65
b.	CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24H Y PRECIPITACIONES EN OTROS TIEMPOS.....	70
c.	DEFINICIÓN DE LOS HIETOGRAMAS DE TORMENTA.....	72
2.	ANALISIS Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES LÍQUIDOS.....	77
a.	REGIMEN HIDROLÓGICO ORDINARIO	77
b.	CAUDALES MÁXIMOS.....	81
3.	ESTUDIO Y ESTIMACIÓN DE LOS PROCESOS EROSIVOS	89
a.	DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN LAMINAR Y EN REGUEROS; MODELO RUSLE.....	89
b.	EROSIÓN Y ESTABILIDAD EN CAUCES.....	99
c.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS:	105
4.	DESLIZAMIENTOS	111
a.	ZONIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES DE SUFRIR DESLIZAMIENTOS	114
5.	INUNDABILIDAD	117
a.	FACTORES HIDROLÓGICOS.....	118
b.	FACTORES TOPOGRÁFICOS	120
c.	PELIGROSIDAD.....	124
VII.	CONDICIONANTES SOCIOECONÓMICOS.....	127
1.	RIESGOS HIDROLÓGICOS EN LA RED DE DRENAJE	129
a.	DESLIZAMIENTOS	129
b.	INUNDABILIDAD	130
2.	EVALUACIÓN DEL RIESGO GLOBAL DE LA EROSIÓN SUPERFICIAL EN LA CUENCA	131
3.	ESCENARIO: USOS DE SUELO ÓPTIMOS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.....	141
a.	USOS DE SUELO ÓPTIMOS.....	141
b.	MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS NECESARIAS	147
c.	ESCENARIO: PÉRDIDAS DE SUELO	149
VIII.	ORDENACIÓN AGRO-HIDROLÓGICA.....	151



IX. PROPUESTAS Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES.....	157
X. CONCLUSIONES	163
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	169
ANEXOS	177
ANEXO 1: INVENTARIO BOTÁNICO.....	179
ANEXO 2: FICHAS DE ESPECIES VEGETALES.....	185
ANEXO 3: ENTREVISTAS.....	193
ANEXO 4: CALIBRACIÓN DEL PARÁMETRO K DE LA FÓRMULA DE TÉMEZ	207
ANEXO 5: CALIBRACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA Y DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	217
ANEXO 6: CÁLCULO DEL FACTOR R DE EROSIÓN PLUVIAL.....	231
ANEXO 7: DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCHÁN.	235
MAPAS.....	239



I. INTRODUCCIÓN

El proyecto de ordenación hidrológico-forestal de la cuenca del río Guabalcón, situada en plena Cordillera Andina del Ecuador, se integra en el programa de trabajo WP-7 asignado a la Universidad Politécnica de Madrid (en adelante UPM) dentro del Proyecto INCO-CT2004-510739 del Sexto Programa Marco de la Comisión Europea **EPIC FORCE (Evidence Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt - Políticas basadas en la evidencia científica para la gestión integrada de cuencas hidrográficas forestadas frente a precipitaciones extremas y fusiones repentinas del manto de nieve)**, liderado por el Profesor **J. C. Bathurst** de la Universidad de Newcastle (Reino Unido).

Dicho programa WP-7 ha desarrollado un conjunto de **Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña**, como aplicación del contenido asignado inicialmente al mismo de elaborar unas **Guidelines improved catchment management – Directrices para mejorar la ordenación de cuencas vertientes**, bajo la responsabilidad de los Profesores **Mintegui y Robredo** (2007). El principal destinatario de tales directrices-estrategias son las cuencas de montaña de América Latina comprendidas en un amplio marco geográfico; desde las cuencas tropicales húmedas de Centro América, pasando por las cuencas de alta montaña andina, como es el caso que nos ocupa de la cuenca del río Guabalcón, hasta las cuencas andino-patagónicas del sur del continente americano. En todas ellas y con la finalidad de obtener datos sobre el propio terreno se plantearon realizar proyectos específicos de ordenación hidrológico-forestal, para ajustar las estrategias mencionadas a las realidades locales. Los trabajos de campo se realizaron conjuntamente entre el equipo EPIC FORCE de la UPM y los equipos locales del citado proyecto en los países de origen y con la total colaboración de estos últimos, que pusieron a disposición de los mencionados proyectos específicos de ordenación de sus cuencas el personal y los medios disponibles.

En el caso de la cuenca vertiente del río Guabalcón, el socio del proyecto EPIC FORCE contraparte de la UPM ha sido la Universidad de Cuenca (Ecuador) y dentro de ella el grupo de

investigación y desarrollo PROMAS (Programa de Manejo del Agua y el Suelo), dirigido por el Dr. Felipe Cisneros que es asimismo co-director de este trabajo de fin de carrera. El PROMAS ha proporcionado las bases necesarias para el desarrollo de los trabajos de caracterización preliminares para la elaboración de esta ordenación hidrológico-forestal

Aunque en su origen el Proyecto EPIC FORCE surgió con el objetivo de analizar científicamente los efectos de las cubiertas forestales de las cuencas vertientes de montaña en el comportamiento de éstas ante los eventos extremos acaecidos en ellas, especialmente sobre los ciclos del agua y de los sedimentos dentro de la cuenca; el Proyecto evolucionó en los tres años de su realización y, sin olvidar el principal objetivo planteado, asumió también el de estudiar la defensa de la cuenca ante eventos torrenciales, cualquiera que fuera su intensidad, y la de encontrar las vías adecuadas para garantizar su aprovechamiento sustentable, **Mintegui y Robredo (2007)**.

Para la realización de este proyecto fin de carrera se ha contado con dos becas, en dos periodos diferentes cada una; la primera otorgada por el propio proyecto EPIC-FORCE durante el curso 2006/2007 para trabajar en el equipo de la Escuela de Montes, junto a los profesores J.A. Mintegui Aguirre (director de este proyecto) y J.C. Robredo Sánchez; La otra beca fue otorgada por la UPM, dentro del programa *Proyectos Fin de Carrera para el Desarrollo*. Esta última beca hizo posible una estancia de 6 meses en el Ecuador, trabajando dentro del equipo del PROMAS (Universidad de Cuenca). Esto posibilitó las visitas de campo necesarias para la obtención de los datos precisos sobre el terreno, además de trabajar conjuntamente con el equipo de PROMAS en Cuenca, quien ha sabido transmitir no solo el estado del conocimiento físico de la cuenca, sino también el contexto socio-económico de la misma y las inquietudes de su población.

El título que se ha dado a este proyecto fin de carrera intenta seguir la línea que tradicionalmente han marcado este tipo de proyectos, que engloban por un lado la ordenación agro-hidrológica de la cuenca y además las propuestas y actuaciones que conforman la fase de restauración hidrológico forestal de la misma.



II. ANTECEDENTES

En la actualidad la cuenca vertiente del río Guabalcón presenta una población dispersa y aún estable, pero paulatinamente decreciente. Hay dos áreas donde principalmente se concentra la población y en cada una de ellas los usos de la tierra están ligados a las condiciones climáticas y topográficas. La primera se sitúa por encima de los 2000 m de altitud y básicamente se dedica a la ganadería de leche, se trata de un área de pastos, que durante la época de sequía requieren de irrigación y comprende el 42 % de la cuenca. La segunda se ubica en cotas inmediatamente inferiores a la anterior y la población se concentra fundamentalmente en torno al valle del Piñancay, comprendiendo un 18,6 % de la cuenca. En ella alternan los cultivos hortícolas con los pastos y parte de la población se vio obligada a cambiar su asentamiento inicial debido a que éste presentaba riesgos de deslizamientos. Por encima de los 2700 m de altitud la cuenca se encuentra deshabitada y ocupada por chaparral en las cotas inferiores y por el pajonal por encima de los 3000 m. Asimismo por debajo del valle del Piñancay los cultivos son muy escasos, únicamente en algunas terrazas, y alternan con extensas superficies de matorral altamente xerofítico, por lo que también está prácticamente deshabitada.

La situación actual de la cuenca permite intuir su pasado, con una población mayor, dedicada prácticamente a los mismos usos de la tierra, aunque posiblemente las áreas de cotas más bajas pudieron haber estado ocupadas por cereales, que antaño presentaban un mejor mercado en el Ecuador que en el presente. La presión de la antigua población de la cuenca sobre el medio era lógicamente más intensa y tratándose de terrenos en pendientes pudo ser causa de fuertes procesos de erosión hídrica; pero lo que mejor se observa en la cuenca procedente del pasado son las cubiertas herbáceas o de matorral ralo en las zonas limítrofes a las ocupadas por las actuales actividades agropecuarias, que pueden responder a áreas de chaparral que fueron ganadas a favor de los pastizales y que la actividad antrópica continuada los ha mantenido como tales, aunque en la actualidad su uso es escaso.

Sin embargo, la cuenca mantiene casi intacta su cabecera de pajonal y chaparral, lo que representa su mejor activo para una adecuada ordenación agro-hidrológica de la misma; así como una población estabilizada, tendiendo a la baja, que es bastante respetuosa con el medio, aún cuando las elevadas pendientes de éste dificultan muchas veces mantener el equilibrio.

En síntesis puede decirse que el resultado actual de la cuenca es consecuencia de la disminución de la población, el abandono de las tierras menos productivas, y el asentamiento de las que se utilizan con el paso del tiempo tras años en las mismas de prácticas agrícolas y ganaderas, sorteando los problemas de elevadas pendientes, suelos en ocasiones inestables y condiciones climáticas muy determinantes, con estaciones lluviosa y seca bien definidas.

Con este panorama, atendiendo también a sus posibilidades de recuperación y sobre todo por su representatividad como cuenca prototipo de alta montaña tropical andina, es por lo que el PROMAS lo adoptó como cuenca piloto para llevar a cabo en ella su ordenación agro-hidrológica, como fase previa para su posterior restauración hidrológico-forestal.



III. OBJETIVOS

Los dos objetivos fundamentales de la ordenación agro-hidrológica de una cuenca vertiente, así como de su posterior restauración hidrológico-forestal en el caso de que lo necesite, que se asumen en el Proyecto EPIC FORCE, **Mintegui y Robredo** (2007), son:

1. La protección de la cuenca vertiente, para amortiguar los efectos geo-torrenciales que le puedan causar las precipitaciones torrenciales, tanto ordinarias como extraordinarias, o las repentinas fusiones del manto de nieve que sucedan en la misma.
2. El mejor aprovechamiento de los recursos agua y suelo en la cuenca hidrográfica, es decir, su aprovechamiento sustentable.

Para ambos objetivos se actúa tanto en el ámbito de las superficies vertientes, como en los cauces de evacuación.

- a) En las primeras, planificando los usos más adecuados del suelo para sus diferentes zonas, con el propósito de influir en los ciclos del agua y de los sedimentos, a fin de tratar de moderar sus procesos y en el caso de situaciones extremas incluso de regularlos. Esto trae consigo aplicar las acciones pertinentes para una distribución estratégica de las cubiertas vegetales permanentes (en especial el arbolado) en la cuenca vertiente, así como la adopción de las medidas convenientes para el control de las escorrentías superficiales y la conservación de los suelos.
- b) En los segundos, analizando el comportamiento de los cauces ante las diferentes avenidas, ordinarias o extraordinarias, que pasen por ellos; para regular el tránsito de las corrientes e incluso, tratándose de avenidas extraordinarias, laminarlas; complementando dichas acciones mediante técnicas de bioingeniería o ingeniería paisajística.

En cualquier caso, el previsible comportamiento de la cuenca hidrográfica se debe analizar a largo plazo y para las dos situaciones que en la misma se presentan:

1. Cuando le inciden precipitaciones torrenciales, en especial cuando se trata de eventos extraordinarios.
2. Durante los periodos que transcurren entre precipitaciones torrenciales.

Este trabajo de fin de carrera se refiere a la ordenación agro-hidrológica de la cuenca vertiente del río Guabalcón y en la misma se establecen como objetivos específicos los siguientes:

- a) Atendiendo a la situación de la cabecera de la cuenca en cuestión, tanto el **pajonal del páramo** situado por encima de la cota de los 3000 m s. n. m., como el **chaparral** situado aguas abajo de la misma y por encima de los 2700 m de altitud, constituyen la vegetación climática de la región. Por tanto, uno de los objetivos de esta ordenación es la justificación de su conservación en su estado actual, evitando cualquier tipo de deterioro en ambas cubiertas vegetales. En lo que respecta a los pastizales que ocupan el área inmediatamente inferior a las cubiertas permanentes de cabecera, se analiza su comportamiento actual ante los eventos torrenciales que incidan en ella, para proponer las medidas apropiadas para su conservación y mejora, atendiendo tanto a criterios hidrológicos, como de conservación de suelos, en el contexto de una adaptación específica al lugar de la Clasificación Agrológica de Suelos. Los mismos criterios se adoptaran también para delimitar las actividades adecuadas en las superficies cultivadas y pastizales del valle del Piñancay.
- b) Otro aspecto importante de la ordenación de esta cuenca es la delimitación en ella de las superficies afectadas por los deslizamientos rotacionales y las medidas a considerar para alejar a la población de las mismas y establecerla en áreas seguras.
- c) Finalmente también se analiza el comportamiento del propio río Guabalcón como elemento específico de la cuenca y su incidencia en la evolución de la misma.



La finalidad de todo el estudio es garantizar la permanencia de la población en las áreas que ocupan, manteniendo en lo posible su modo de vida y mejorando sus condiciones de existencia, evitando en lo posible riesgos ante eventos torrenciales, y un empobrecimiento de los recursos naturales de la cuenca, a fin de no hipotecar el futuro de las siguientes generaciones.

Es además importante plantear la ordenación en un momento como el presente, cuando las condiciones de conservación de la cuenca son aún aceptables, y se dispone de potencialidades de recuperación elevadas, lo que disminuirá en gran medida costosas y traumáticas intervenciones que serían necesarias en un futuro.





IV. JUSTIFICACIÓN

La cuenca del río Guabalcón, situada en plena cordillera andina, mantuvo hasta hace una década una población extensa. Esto cambió con las olas migratorias que ha sufrido el país a lo largo de los últimos años, dejando unos parajes casi deshabitados por todo el centro del mismo, donde la población es mayoritariamente rural. Los habitantes de la zona tienen en su mayoría familiares en el extranjero que los ayudan económicamente y por ello la actividad agraria en cada vez es más marginal. Al mismo tiempo, el éxodo rural hacia las ciudades, al igual que pasa en los países europeos, ha contribuido a despoblar la zona que en la actualidad, presenta una población envejecida y sin generaciones jóvenes dispuestas a trabajar el campo.

La actividad agraria aparece muchas veces sobre terrenos que, bien por su naturaleza inestable o ante grandes aguaceros, sufren deslizamientos e importantes pérdidas de suelo. En cambio, se pueden encontrar también terrenos, con una potencialidad productiva mucho más alta, que desafortunadamente están abandonados en la actualidad debido a las razones migratorias ya comentadas. Es esencial por ello reordenar los usos, teniendo en cuenta el sector económico y las tendencias de los precios de los distintos productos agrarios, con el fin de proponer unos cultivos sustentables que aporten ingresos suficientes a los campesinos, para que se cree un vínculo entre estos y el medio natural en el que viven y vean estas tierras como su hogar y además obtengan de él todo lo necesario para vivir dignamente.

Por supuesto no hay que olvidar la necesidad de recuperar una cubierta natural en aquellas zonas más inestables y de cabecera, donde la regulación del ciclo hídrico pasa por mantener la vegetación existente y posibilitar la regeneración de ésta en terrenos hoy en día abandonados. Además esta necesidad es percibida por las gentes de la zona, que son conscientes de la función reguladora de esta vegetación, lo que facilita la implementación de medidas de conservación y de regeneración.

Así, tras un estudio de la potencialidad de cada zona, y teniendo en cuenta la presión antrópica que hoy en día presenta la cuenca, se ha diseñado una ordenación que optimice el uso de los

recursos naturales (agua y suelo) y que integre todos los usos del territorio, armonizando la actividad humana con la conservación del medio natural, algo de especial importancia en las cuencas de montaña.

Todo proyecto de ordenación se concibe como un conjunto de actuaciones a largo plazo, puesto que no hay que olvidar que se está interviniendo en ecosistemas naturales y modelos sociales, en los cuales los cambios son lentos y necesitan de muchas intervenciones distanciadas en el espacio. Para que la ordenación cumpla sus objetivos, es necesario involucrar a todos los estamentos sociales, con el fin de conseguir una continuidad en las actuaciones. Por ello, a la hora de la planificación es esencial la participación no solo de las autoridades estatales y regionales, sino también de las poblaciones locales por sus conocimientos del medio en el que viven y trabajan y por sus diversas formas de producción.



V. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA





1. SITUACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Guabalcón se encuentra situada en la región andina de la República del Ecuador, dentro de la cordillera Occidental, en las provincias del Chimborazo y Cañar, en concreto en los cantones Alausí, Cañar y Chunchi, y las parroquias Huigra, Zhud, Comput, Llagos, Capzol y Chunchi, **Zaruma** (2007). Sus aguas drenan al río Chanchán que forma parte del sistema hídrico del río Guayas que desemboca en el océano Pacífico. Las coordenadas UTM que localizan sus vértices aparecen en la tabla V.1:

Tabla V.1: Coordenadas UTM de la cuenca del río Guabalcón

UTM	
X	Y
728331,	9749477 N
734230,	9734487 S
725834,	9741798 O
735237,	9735495 E

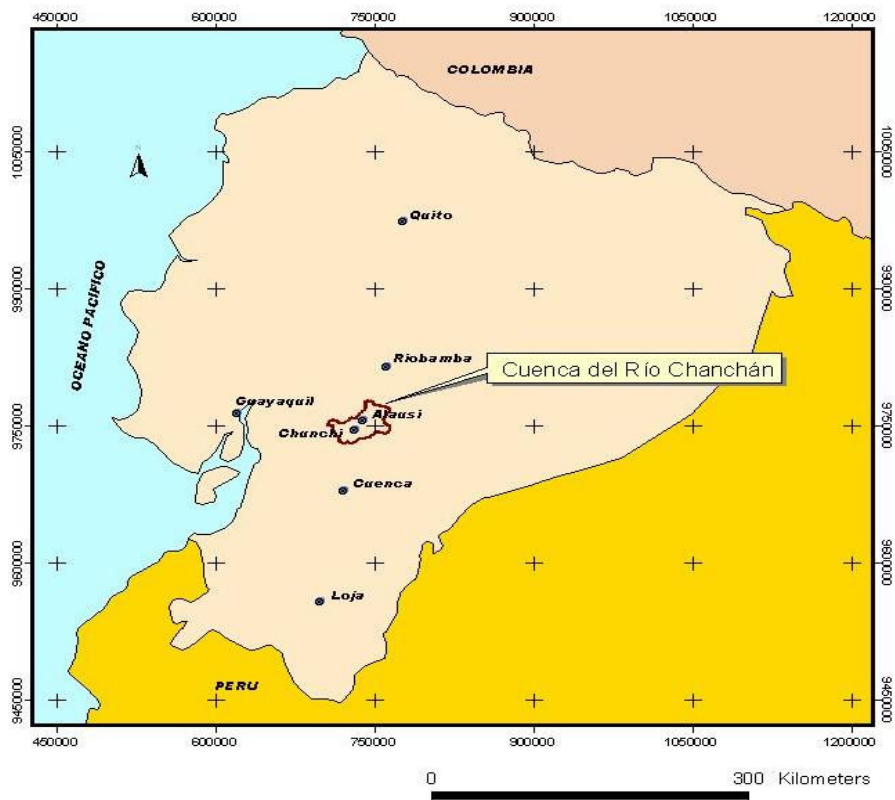


Figura V.1: Situación de la cuenca del río Chanchán dentro de Ecuador. Fuente PROMAS

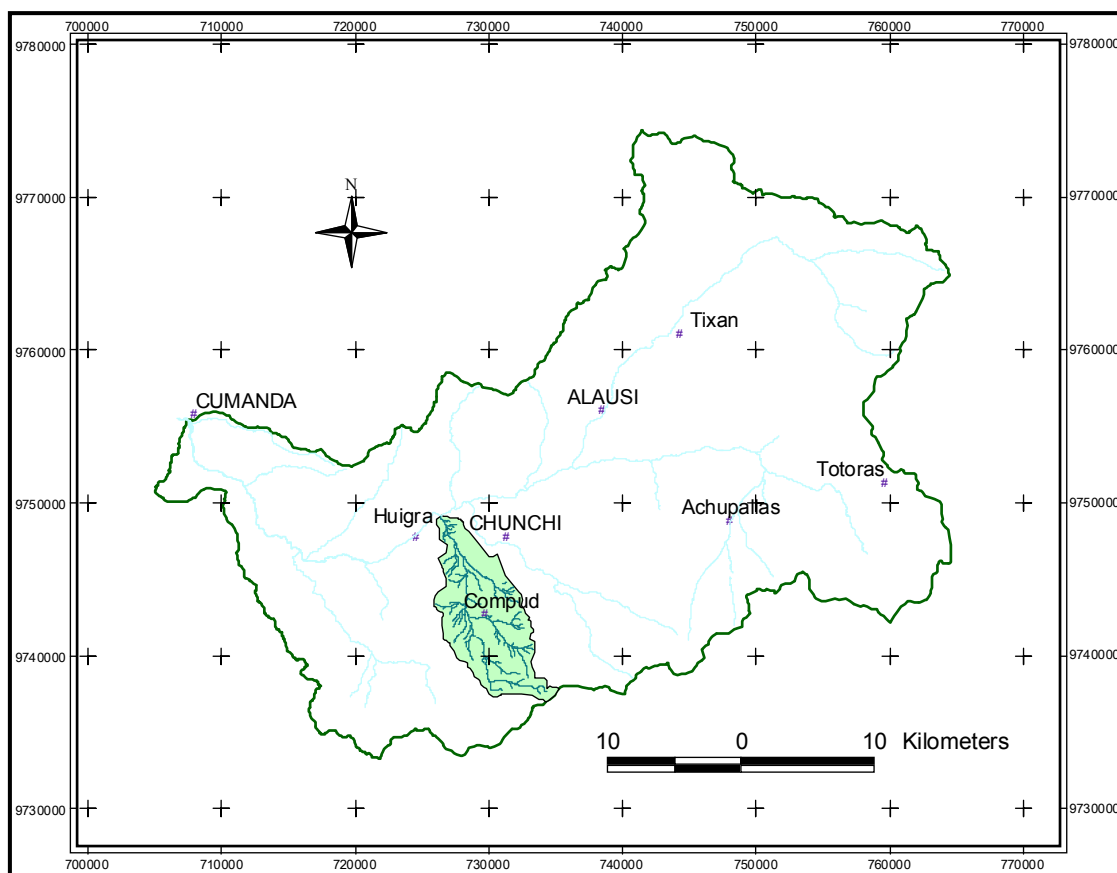


Figura V.2: Situación de la cuenca del río Guabalcón (resaltada en verde) dentro de la cuenca del río Chanchán.

La cuenca del río Guabalcón tiene una superficie total de 65,83 Km², con una cota que varía desde los 4.420 m.s.n.m en la parte sur de la cuenca, hasta los 1.370 m.s.n.m en la parte norte. El río está formado por la unión de los ríos Guabalcón y Turmas. Aguas arriba recibe la afluencia de las quebradas Compud, Cuchicorral y Tinajeras además de otros pequeños drenes, **PROMAS** (2006). La pendiente media de la cuenca es del 56% y la longitud de cauce máxima ronda los 18,5 Km.



2. CARACTERÍSTICAS DE FORMA Y RELIEVE. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE

a. CARACTERÍSTICAS DE FORMA

La forma de una cuenca se puede evaluar mediante varios coeficientes o factores. Es una propiedad que interviene de manera importante en las características del hidrograma de salida. A continuación se detallan los cálculos de 2 coeficientes seleccionados para caracterizar la cuenca, que aparecen así mismo en la tabla V.3 donde se resumen todos los parámetros.

Índice de Compacidad

Definido por **Gravelius** como la relación entre el perímetro de la cuenca y la de un círculo que tenga la misma superficie que la cuenca,

$$k_c = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}}$$

P es el perímetro de la cuenca en Km.

A es el área de la misma en Km².

Para la cuenca del río Guabalcón, $k_c = 1,45$ lo que clasifica a la cuenca como ovalo-alargada.

Factor de forma

Es una relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del cauce principal:

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

A , es el área de la cuenca en Km²

L es la longitud máxima del cauce principal en Km.

Para la cuenca del Guabalcón $k_f = 0,19$ lo que significa que la cuenca posee una forma alargada.

b. CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE

La cuenca presenta un paisaje montañoso en donde predominan las pendientes fuertes entre el 25 y el 75 % de inclinación, que ocupan el 66% de la superficie; Las pendientes muy fuertes representan el 10% del área total y las extremadamente fuertes con más del 100% de inclinación cerca del 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, **PROMAS** (2006).

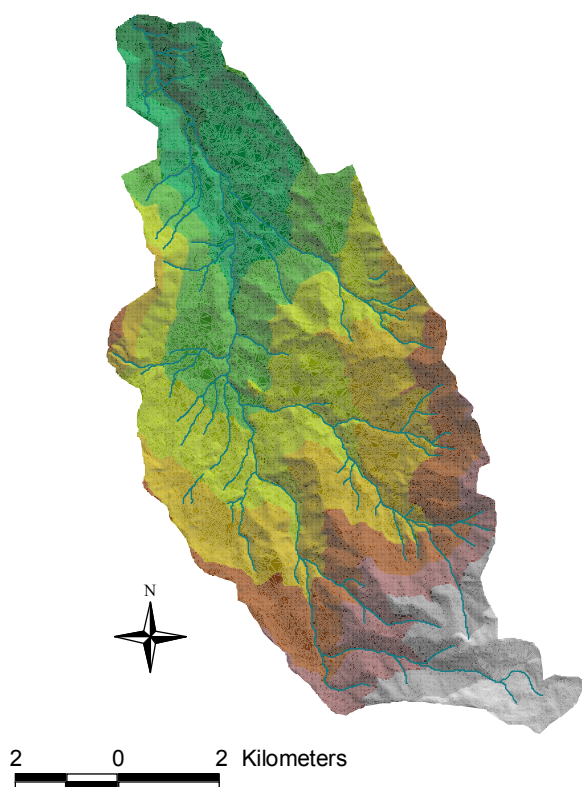


Figura V.3: Mapa de la cuenca del río Guabalcón y su red de drenaje.

La morfología y el relieve de esta cuenca le confieren unas características de cuenca de montaña. El área de recepción y la garganta están bien definidas, mientras que el cono de sedimentación no es apreciable por las acusadas características torrenciales que presenta el río, con una pendiente elevada que le facilita el transporte de su carga sólida durante las avenidas hasta su confluencia con el río Chanchán. El 75 % de la cuenca conforma el área de recepción y los últimos 4 km finales del río corresponden a la garganta. Toda la cuenca presenta como ya se ha señalado unas pendientes elevadas y el desnivel total de la cuenca es también importante desde los 4420 de los páramos de montaña hasta los 1370 de la sección de salida de la cuenca.



Curva hipsográfica

Es una representación gráfica de la superficie horizontal que hay por encima de cada cota del terreno. De este modo se construye una curva que comienza con la cota inferior de la cuenca, sobre la que se encuentra toda la superficie de ésta, y termina con la cota superior, sobre la que no hay superficie. En su conjunto representa el perfil de la vista lateral de la cuenca. La figura V.4 representa esta curva:

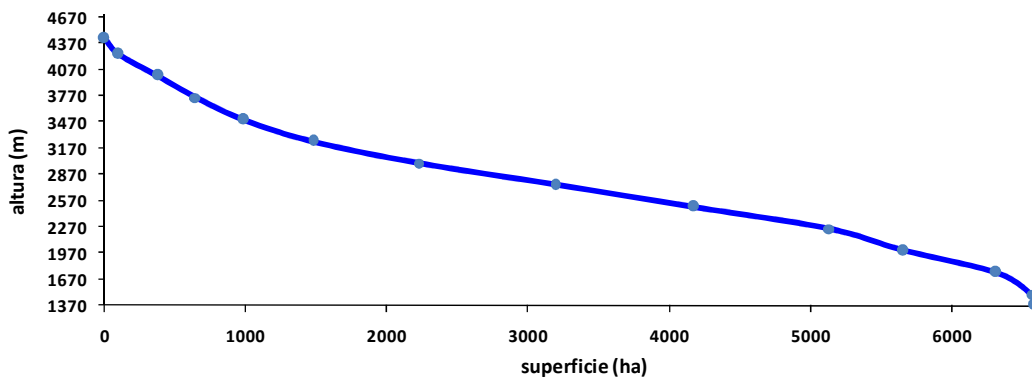


Figura V.4: Curva hipsográfica de la cuenca del río Guabalcón

La pendiente media y la altitud media de la cuenca se han calculado por métodos digitales y aparecen, junto con el resto de características de forma y relieve, en la tabla V.3

c. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE

Jerarquización de los tramos de la red de drenaje según STRAHLER (1964)

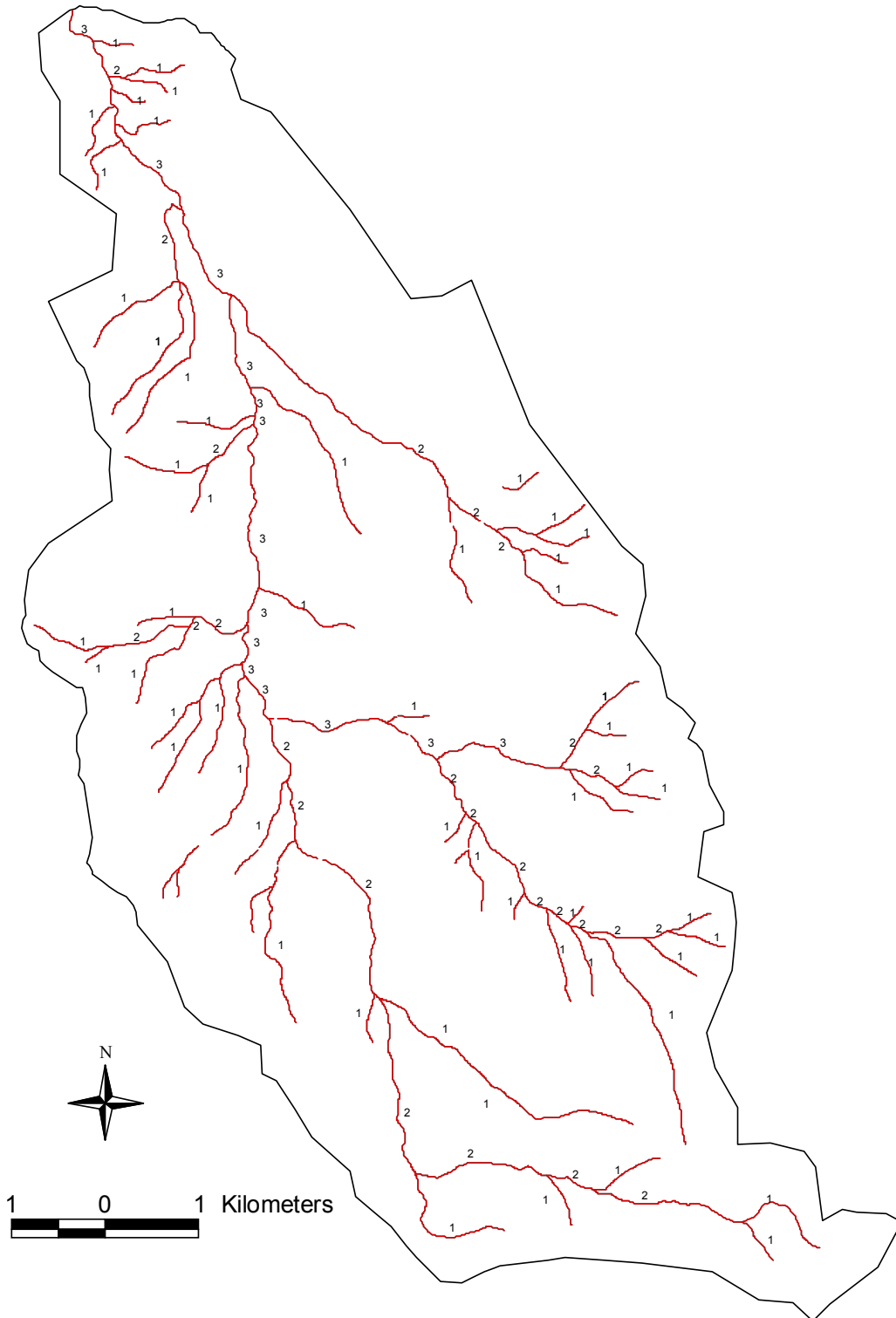


Figura V.5: Jerarquización de los cursos de agua de la red de drenaje del río Guabalcón



Tabla V.2: Orden de los tramos obtenidos a partir del método de Strahler (1964)

ORDEN	NÚMERO DE CAUCES	RAZÓN DE BIFURCACIÓN
1	55	2,11
2	26	1,53
3	17	

Esta metodología de jerarquización de los cursos de agua propuesta por **Strahler** sirve para caracterizar la red de drenaje considerando el número de vertientes y su forma de confluir con el curso principal. Strahler propone asignar un orden a cada tramo de curso de agua, empezando por el 1 y aumentando este orden según vaya confluyendo con tramos de igual valor. Cuando lo que confluyen son dos tramos de distinto valor la unión de ambos continúa como un tramo de orden igual al mayor de los dos. Esta caracterización revela cuencas con una red de drenaje muy densa, con multitud de tramos de orden bajo o por lo contrario redes de drenaje con un cauce principal al que drenan directamente todos los cursos más pequeños.

A partir de esta jerarquización se pueden calcular parámetros como la razón de bifurcación (R_b), tabla V.2, definida como la relación entre el número de cauces de cualquier orden de magnitud y el número de cauces en el orden inferior. **Strahler** (1964) postula que las distintas razones de bifurcación así calculadas tienden a ser constantes entre un orden y otro, si el clima y la litología no varían. Esto no se verifica en el caso de la cuenca del río Guabalcón, donde además estos valores son anormalmente bajos, puesto que el mismo autor cita como valores frecuentes en cuencas de alta montaña los que oscilan alrededor de 5 y 6.

Sobre el cauce principal de esta red de drenaje se van a realizar más adelante cálculos para estimar su estabilidad, el grado de erosión que presenta y el riesgo de inundaciones del área cercana. Se ha seleccionado para ello un tramo comprendido entre las dos estaciones de aforo presentes en la cuenca. Estas dos estaciones, Sagüin y Piñancay, situadas a 1.684 y 2.523 m.s.n.m respectivamente, determinan la sección de salida de dos subcuencas que van a ser objeto de estudio también en apartados posteriores. El tramo de estudio y ambas subcuencas aparecen ilustradas en la figura V.6.

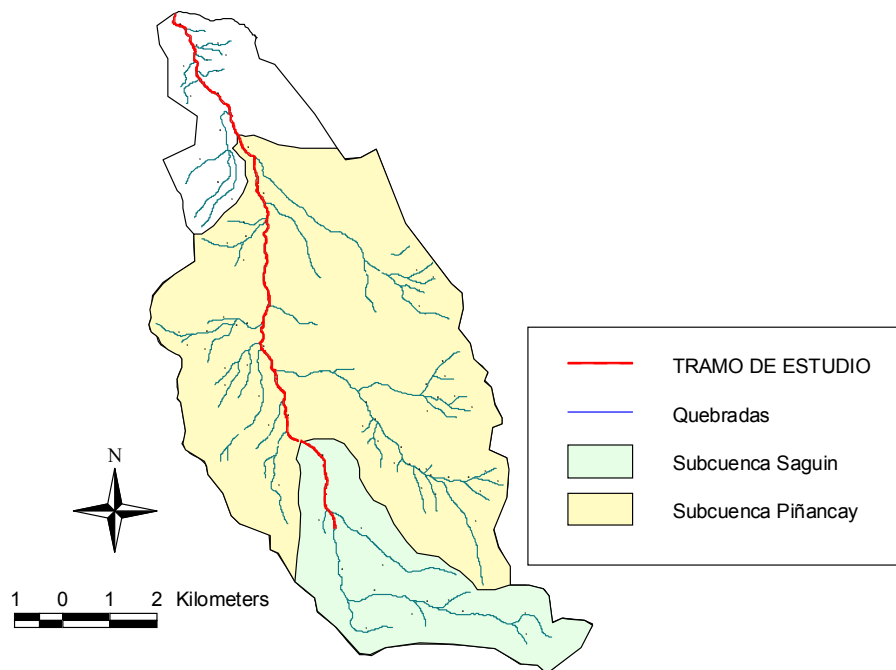


Figura V.6: Tramo de estudio seleccionado en el río Guabalcón.

Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota caída en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca vertiente en alcanzar la sección de salida.

Existen multitud de ecuaciones para calcular el t_c . La más extendida es quizá la de **Kirpich** (1940) desarrollada por el **S.C.S.** que tiene la siguiente expresión:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \cdot L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde,

L es la longitud del cauce estudiado en Km

H es la diferencia de cotas en metros entre el punto hidrológicamente más alejado y la sección de salida considerada.

Para el posterior estudio de avenidas es necesario el cálculo de tiempos de concentración para dos subcuencas en las que se dividirá la superficie de estudio. En ese momento se calcularán



tiempos de concentración por diversos métodos con el fin de encontrar el que mejor se ajuste a cada subcuenca.

En este apartado se va a hacer sólo referencia al t_c de la cuenca en global, entendiendo éste como una característica más que define tanto su red de drenaje como su forma y relieve. El t_c calculado por tanto por la fórmula de Kirpich para toda la cuenca aparece en la tabla V.3 junto con el resto de parámetros descritos anteriormente:

Tabla V.3: Características morfológicas de la cuenca del río Guabalcón

ÁREA	65,83 Km ²
PERÍMETRO	41,85 Km
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA	2.776 m
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	56 %
LONGITUD MÁXIMO RECORRIDO	18,5 Km
PENDIENTE MÁXIMA DEL CAUCE	18 %
LONGITUD TOTAL CAUCES	88,65 Km
DENSIDAD DE DRENAJE	13,46 m/ha
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Kirpich)	1,25 h
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (GRAVELIUS)	1,45
FORMA DE LA CUENCA	Ovalo-alargada
FACTOR DE FORMA	0,19

Granulometría del lecho

El laboratorio del PROMAS efectuó en 2007 análisis sobre muestras de sedimentos extraídos del lecho del río en el sector de Piñancay con el fin de determinar la distribución de las partículas de sedimento y las características de gradación de las mismas.

Se efectuaron dos ensayos de laboratorio, el primero comprende el tamizado para las partículas gruesas – granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), (PROMAS, 2007).

Los resultados de estas dos pruebas para los diferentes tamaños de tamiz se indican en la tabla V.4.

Tabla V.4: Granulometría del lecho de fondo del río Guabalcón. Fuente: PROMAS, 2007

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

Para la determinación del tipo de sedimento granular en el lecho del río se utilizaron los criterios de coeficiente de uniformidad C_u y el coeficiente de curvatura C_c . Cuanto más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D_{10} , D_{30} , D_{60} son los tamaños en diámetro de las partículas, para el cual el % del material es más fino que ese tamaño.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Se considera bien gradado cuando $C_u > 4$ a 6 y $1 < C_c < 3$, (PROMAS, 2007).

De acuerdo a este criterio los resultados de esta interpretación se presentan en la tabla V.5.



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

Tabla V.5: Criterios de gradación para el sedimento del lecho del río Guabalcón.

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

Como se puede apreciar en la ilustración siguiente, en el lecho existen materiales, bolos de mayor tamaño que pueden llegar alcanzar el metro de diámetro y que no se han tenido en cuenta a la hora de calcular estos parámetros.



Ilustración V.1: lecho del río Guabalcón.

Sección de salida

La sección de salida de la cuenca se ha fijado en Piñancay, donde está situado el sensor para la toma de datos de caudales. En este punto además estaba construido un puente, que en estos momentos está derrumbado y es por tanto un punto de interés a la hora de plantear posibles mejoras en las infraestructuras y en las estructuras de corrección hidráulica.

La sección del cauce en el puente así como las inmediatamente anterior y posterior fueron levantadas por el equipo de PROMAS en el año 2007 y aparecen la figura V.7.

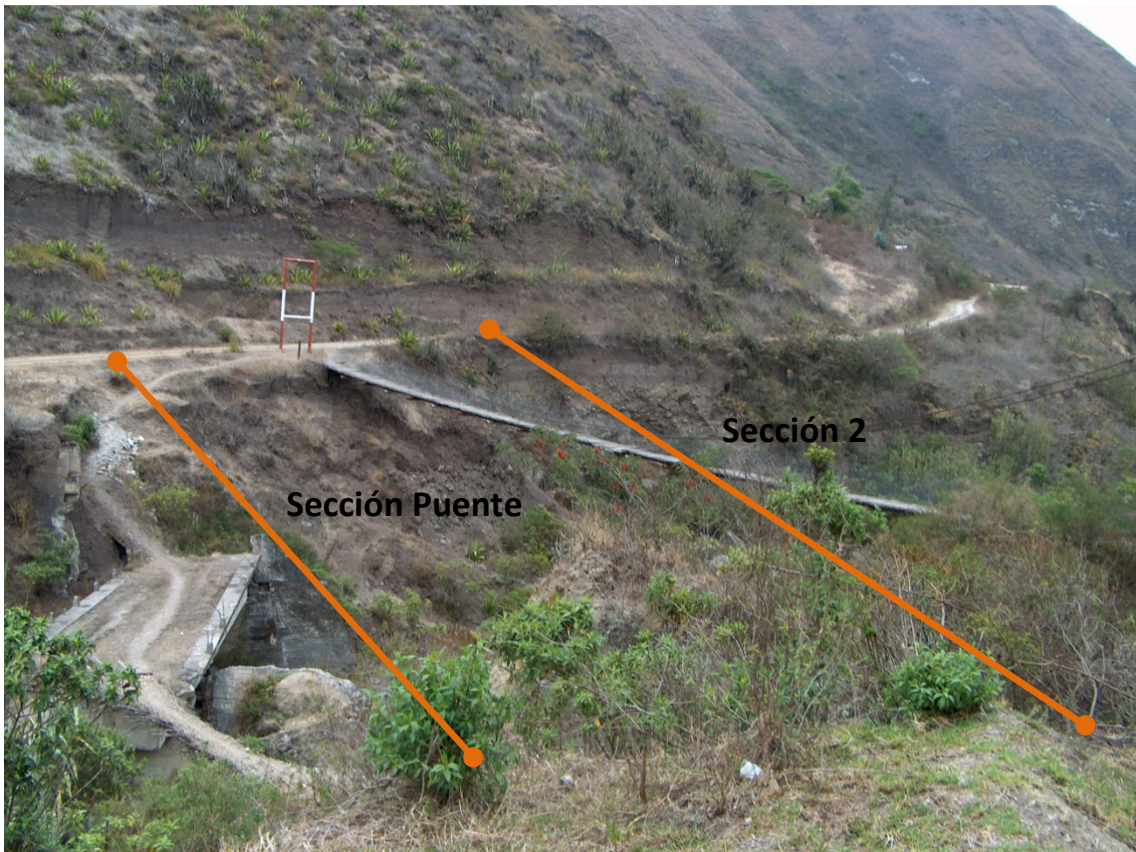


Ilustración V.2: Localización del puente y de la sección 2 sobre el terreno.

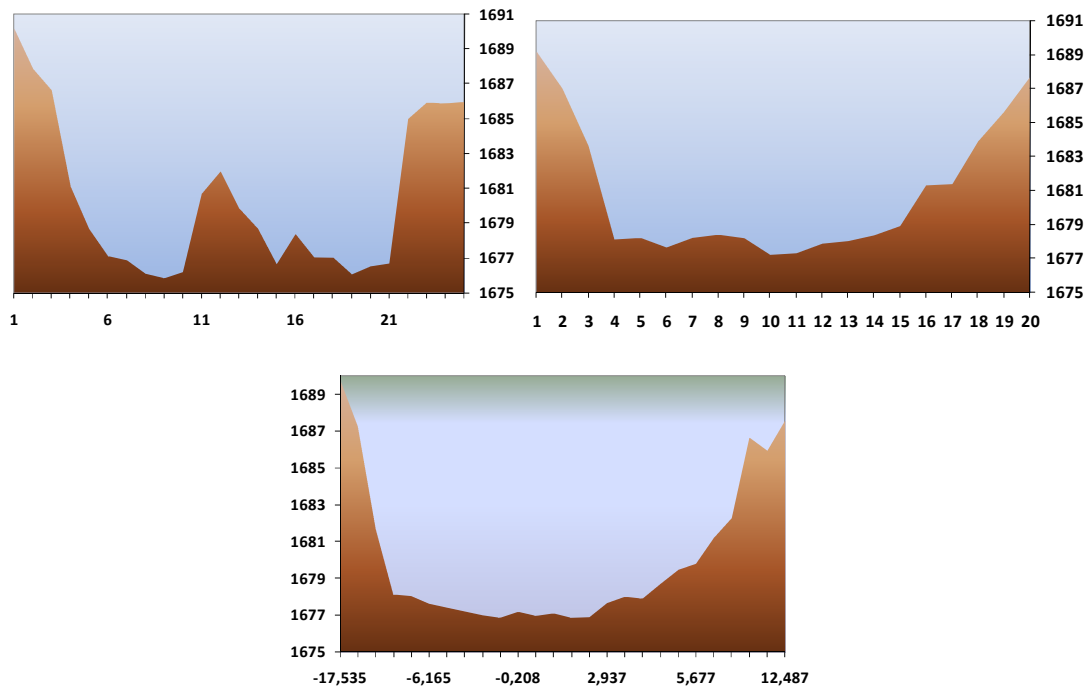


Figura V.7: Arriba a la izquierda sección 1, 10 metros antes del puente; arriba derecha sección 2 tomada 10 metros después del puente. Sobre estas líneas sección sobre la que se asentaba el puente.



3. GEOLOGÍA Y COMPOSICIÓN DE SUELOS

a. LITOFACIES

La cuenca del río Chanchán, en el que se ubica su afluente el río Guabalcón, está situada dentro de la cordillera andina. Los Andes forman dos cadenas montañosas: la cordillera Occidental y la Oriental (o Real), entre las cuales surgen los valles interandinos, separados entre sí por cadenas montañosas transversales denominadas nudos. La cuenca del río Guabalcón se encuentra situada dentro de la cordillera Occidental y está compuesta de rocas marinas que fueron levantadas por las presiones generadas al chocar la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, proceso que se prolongó desde el Mioceno medio hasta el Holoceno **Coltorti y Ollier** (2000). Por tanto, la edad geológica de la cuenca se remonta hasta el Terciario, al que pertenecen alrededor del 64% de los materiales. Las unidades geológicas que se pueden diferenciar dentro de la cuenca son los que se citan a continuación:

➤ Formación Cisarán

Comprende la zona sur de la cuenca y presenta hasta 2.200 m de sedimentos volcánico clásticos y lavas intermedias estratificadas. Fue datada por **Steinmann** (1998) con una edad entre 6,8 a 6,9 Ma, lo que la sitúa dentro del Plioceno medio.

➤ Formación Tarqui.

Esta formación aparece en el centro y oeste de la cuenca, correspondiendo con la presencia de tobas ácidas. Su espesor no sobrepasa los 500 m. Se la considera perteneciente a una última fase volcánica ocurrida en el Pleistoceno.

➤ Formación Ocaña

Se ubica al norte de la cuenca. Consiste en tobas dacíticas a riodacíticas con presencia de brechas. La unidad data del Eoceno medio a tardío, **Egüez et al.** (1992).

➤ Unidad Puñay

Aflora al oeste de la cuenca con un espesor de unos 3.000 m. Comprende material sedimentario de areniscas volcánicas, tobas líticas andesíticas, brechas limolitas y lavas subordinadas, que descansan sobre la formación Ocaña. Se ha datado entre 27 Ma, lo que la sitúa dentro del Oligoceno.

Otra parte importante de la cuenca compuesta por materiales del Cuaternario presenta derrumbes y deslizamientos de masa con grava y arena sueltas, en terrazas y depósitos aluviales y coluviales. Todas estas litofacies vienen recogidas en la Figura V.8 y la Tabla V.6 donde se señala la superficie ocupada por cada una de ellas.



Ilustración V.3: Arriba y sobre estas líneas aspecto que presenta el área con materiales del cuaternario, con deslizamientos de arenas sueltas y derrumbes. Autor: EPIC FORCE, 2006

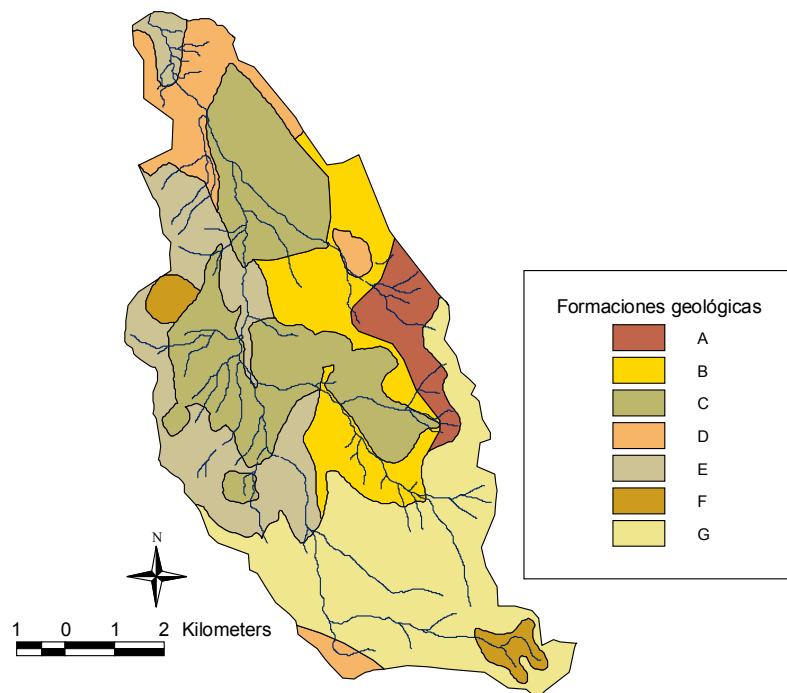


Figura V.8: Mapa de formaciones geológicas de la cuenca del río Guabalcón. Fuente: PROMAS.

Tabla V.6: Descripción de las formaciones geológicas presentes en la cuenca del río Guabalcón.

FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Clase	Período	Sup.(ha)	Descripción de los componentes
A	Eoceno Medio a Mioceno	333,13	Areniscas tobáceas, cantidades menores de limolitas, brechas detríticas y tobas
B	Eoceno Medio a Mioceno	879,28	Areniscas tobáceas, cantidades menores de limonitas, brechas detríticas, tobas, base Andesita-Dacita
C	Holoceno	1712,44	Deslizamientos en masa y derrumbes
D	Holoceno	529,94	Grava y arenas sueltas
E	Eoceno Medio a Mioceno	1128,43	Lavas andesitas con anfíbol, brechas areniscas, limonitas y capas rojas
F	Cretácico	172,91	Plutones calcoalcalinos de tonalitas y granodioritas con homblenda y biotita
G	Eoceno a Mioceno	1821,56	Tobas ácidas, blancas a rojas

b. EDAFOLOGÍA

Hay una serie de factores y procesos que han afectado directamente a la formación de los suelos hoy en día existentes. Los más importantes se comentan a continuación;

Junto al material parental ya descrito, han influido decisivamente en la formación de los suelos de la cuenca el clima, tanto el actual como el pretérito (paleo-climas) y la topografía; de hecho se percibe la influencia glacial en la zona por la existencia de valles en forma de U con depósitos de morrenas arrastradas por los glaciares.

El periodo geológico en el que se depositó el material parental determina el tiempo de meteorización del mismo; pero el volcanismo ha acompañado a cada fase de los movimientos orogénicos que se han reseñado anteriormente, lo que ha causado una gran variedad de rocas desde el punto de vista de la composición y de la edad.

En el Ecuador ocurrieron dos episodios importantes de caídas de ceniza:

a) las cenizas recientes, con una antigüedad menor a los 10.000 años, aparecen en la superficie de todos los relieves de páramos y moldean el paisaje con capas de espesor constante, **Winkell et al.** (1991) y

b) las cenizas más antiguas, que aparecen en alturas más bajas, ya que hay que tener en cuenta que durante los tiempos glaciales el límite de las nieves perpetuas se encontraban de 800 a 1.000 m más abajo que en la actualidad **FAO** (1971). A partir de los 3.250 m en el sur del país las cumbres estaban cubiertas de hielo, lo que significa que las cenizas que se depositaron allí se desplazaron con el deshielo.

El abrupto relieve de la cuenca conduce a procesos de erosión, arrastre y deposición de sedimentos; así como graves deslizamientos. Estos procesos determinan una inestabilidad importante en la zona, que se traduce en procesos geo-morfológicos en continuo desarrollo.

Todos estos factores han dado lugar a una amplia variedad de suelos en general poco desarrollados. El PROMAS, mediante el uso de metodologías descriptivas, transeptos de observación en el campo y uso de medios digitales, procedió a la caracterización de suelos según el sistema de la **FAO (WRB: SICS-AISS-IGB; FAO; ISRIC., 1999)**. La Figura V.9 presenta el mapa de suelos elaborado, que aparece ampliado además en el anexo de Mapas, y en la Tabla V.7 se detalla la superficie ocupada por cada grupo.

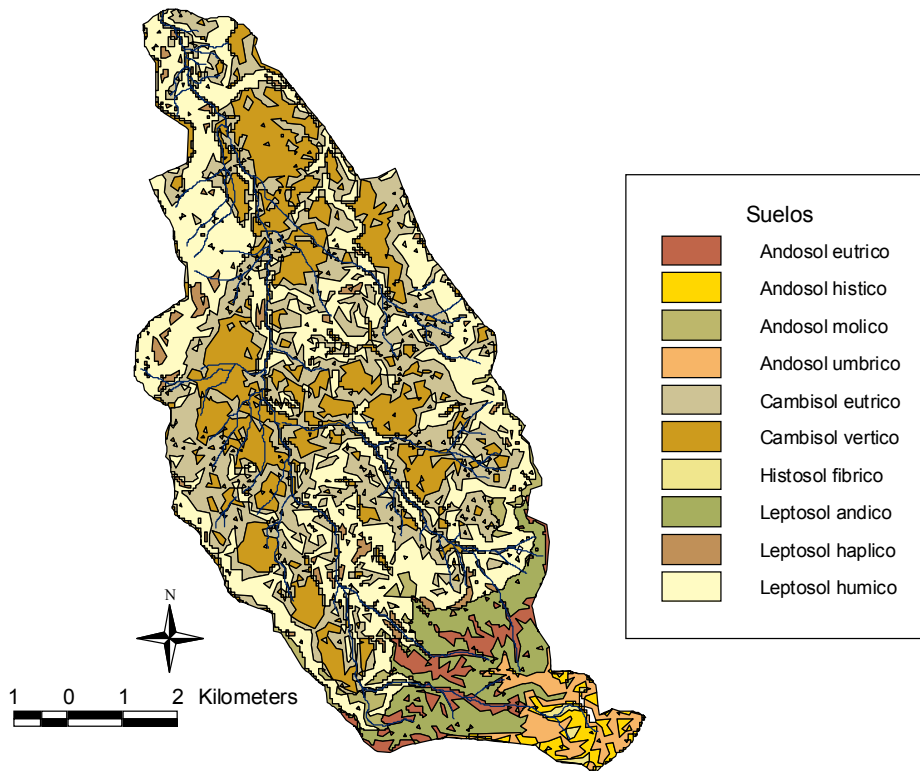


Figura V.9: Mapa de suelos de la cuenca del río Guabalcón. Fuente: PROMAS

Tabla V.7: Superficies que presentan las distintas clases de suelos de la cuenca del río Guabalcón.

GRUPO DE SUELO	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE (%)
ANDOSOL ÉUTRICO	198,23	3,0
ANDOSOL HÍSTICO	96	1,5
ANDOSOL MÓLLICO	106,29	1,6
ANDOSOL ÚMBRICO	169,06	2,6
LEPTOSOL HÁPLICO	127,39	1,9
LEPTOSOL ÁNDICO	505,68	7,7
LEPTOSOL HÚMICO	2085,98	31,6
HISTOSOL FIBRICO	23	0,3
CAMBISOL ÉUTRICO	2989,94	30,2
CAMBISOL VÉRTICO	1291,02	19,6

Como se aprecia en la Figura V.9, los Andosoles e Histosoles son los suelos característicos del área dominante de la cuenca. Los Histosoles aparecen bajo climas húmedos, en aquellas zonas

donde, por las bajas temperaturas y la falta de drenaje, la descomposición de la materia orgánica es muy lenta y tiende a acumularse conformando las denominadas turberas.

Los Andosoles son suelos de origen volcánico, jóvenes y por tanto con horizontes poco desarrollados. Presentan una estructura estable con una porosidad muy elevada, lo que hace que funcionen como auténticas esponjas, siendo capaces de absorber gran cantidad de agua; Estos suelos tienen un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico.



Ilustración V.4: Andosol con vegetación de páramo. Fuente: PROMAS.

En el área dominada de la cuenca aparecen suelos desde francos a arcillosos, siendo característicos los Cambisoles éutricos y vérticos en laderas con pendiente media y los Leptosoles en las zonas más escarpadas donde el desarrollo edáfico es menor y el suelo es por tanto más superficial.

Esta característica es de vital importancia en la zona más baja de la cuenca donde esta superficialidad de los leptosoles hace que los materiales subyacentes estén directamente relacionados con la geología, que según se ha visto es de por sí vulnerable a deslizamientos y derrumbes (zonas C y D del mapa de formaciones geológicas, figura V.8). Por ello, en esta zona el riesgo de deslizamientos en masa es alto.

Parámetros de suelos

El equipo de PROMAS realizó en Junio 2007 un ensayo con pruebas hidrofísicas sobre diferentes muestras tomadas dentro de la cuenca del río Guabalcón. La localización y características de los puntos de muestreo aparecen en la tabla V.8. Los resultados de estos análisis aparecen resumidos en las tablas V.9 y V.10

Tabla V.8: Zonas de muestreo de suelos, características y localización.

ZONA	CÓDIGO	ALTURA (m.s.n.m)	UTMx	UTMy	SUELO
Sitincay	G1				Cambisol
Guabalcón	G2				Cambisol
Saguin	G3	2555	729097	9739341	Leptosol
Cullun	G4	2749	730331	9739892	Leptosol
Tauri	G5	2724	730633	9740923	Cambisol
Piñancay	G6	1805	728854	9745609	Cambisol
Verdepamba	G7	2019	729153	9743933	Cambisol

Tabla V.9: Composición textural de los suelos muestreados.

Sitio	Código	Profundidad (cm)	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Sitincay	EPF-MA-G1-1	40	2,6	39	39	22
	EPF-MA-G1-2	>40	0,3	59	31	10
Guabalcón	EPF-MA-G2-1	20	3,8	47	35	18
	EPF-MA-G2-2	>20	0,3	59	31	10
Saquín	EPF-MA-G3-1	40	1,8	41	35	24
	EPF-MA-G3-2	>40	0,6	41	31	28
Cullun	EPF-MA-G4-1	40	3,2	39	43	18
	EPF-MA-G4-2	>40	0,2	39	29	32
Tauri	EPF-MA-G5-1	60	6	37	45	18
	EPF-MA-G5-2	>60				
Piñancay	EPF-MA-G6-1	30	1,8	39	37	24
	EPF-MA-G6-2	>30	0,7	35	37	28
Verdepamba	EPF-MA-G7-1	40	0,8	43	31	26
	EPF-MA-G7-2	>40	0,2	39	35	26
Páramo	EPF-MA-G8-1	17	12,7	40,1	42,3	17,6
	EPF-MA-G8-2	55	12,9	59,5	24,6	15,9

Tabla V.10: Resumen de características hidrofísicas de las muestras de suelos.

Sitio	Código	Ks (cm/hr)	Saturación (cm ³ agua/cm ³ suelo)	CC (cm ³ agua/cm ³ suelo)	PM (cm ³ agua/cm ³ suelo)	Agua Disponibile (cm ³ agua/cm ³ suelo)	Densidad Aparente
Sitincay	G1-1	0,716	0,475	0,270	0,133	0,137	1,52
Sitincay							
Guabalcón	G2-1	1.012	0,458	0,245	0,119	0,127	1,46
Guabalcón	G2-2	2.645	0,417	0,207	0,090	0,117	
Sawin	G3-1	0,572	0,478	0,273	0,142	0,131	1,41
Sawin	G3-2	0,397	0,487	0,287	0,160	0,127	
Cullun	G4-1	1.093	0,464	0,259	0,117	0,142	1,33
Cullun	G4-2	0,297	0,496	0,306	0,179	0,127	1,39
Tauri	G5-1	1.116	0,465	0,263	0,117	0,145	0,93
Tauri	G5-2						
Piñancay	G6-1	0,134	0,480	0,276	0,142	0,135	1,30
Piñancay	G6-2	0,434	0,491	0,297	0,159	0,138	1,18
Verdep	G7-1	0,460	0,481	0,277	0,151	0,125	1,50
Verdep	G7-2	0,487	0,484	0,283	0,150	0,133	1,39
Páramo	G8-1	2,085	0,8625	0,724	0,362	0,362	0,39
Páramo	G8-2	1,695	0,8710	0,739	0,429	0,310	0,40



4. ESTUDIO DE LOS USOS ACTUALES DEL SUELO Y VEGETACIÓN POTENCIAL.

Para alcanzar un uso sustentable de los recursos, objetivo primordial de cualquier ordenación territorial, se hace necesario conocer los usos actuales del suelo, así como la vocación, la potencialidad que este tiene en cada zona, con el fin de proponer alternativas de manejo adecuadas.

El análisis de la cobertura vegetal de la Cuenca del Río Guabalcón fue llevado a cabo por el **Ing. For. Jorge Zarume Torres** dentro del proyecto EPIC FORCE, con el fin de obtener una caracterización de la cuenca que pudiese así mismo ser usada para la toma de decisiones dentro de un programa de gestión integral de cuencas. El Anexo 1 es un inventario de las especies determinadas.

a. VEGETACIÓN POTENCIAL Y FORMACIONES ECOLÓGICAS

Dentro de la cuenca se pueden diferenciar hasta 5 formaciones (figura V.10) según la clasificación de las Zonas de Vida Natural del Mundo de **L.R. Holdridge** (1967). Están determinadas por la influencia de la cordillera andina, donde se halla situada la cuenca, pero también por los influjos costero y oriental, que han originado una inmensa diversidad de nichos de vegetación.

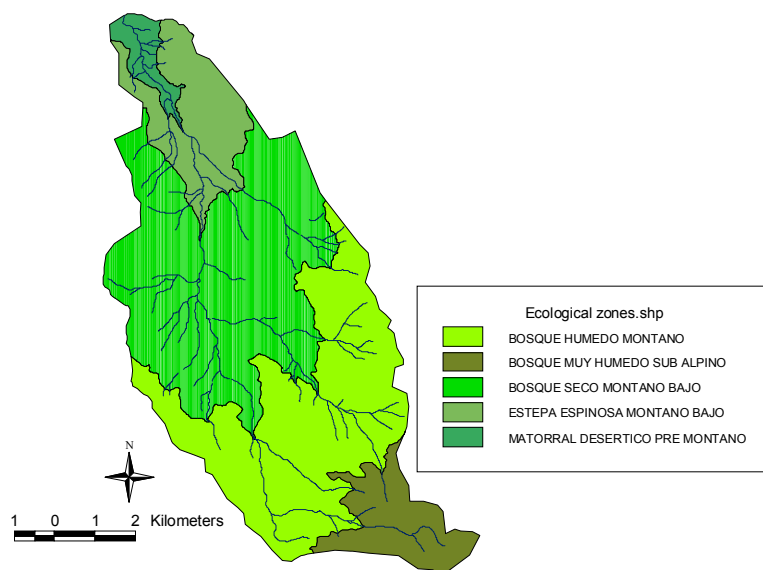


Figura V.10: Zonas ecológicas en la cuenca del río Guabalcón

BOSQUE MUY HÚMEDO SUBALPINO. PÁRAMO

Las mayores cotas que se alcanzan en la cuenca rondan los 4420 m.s.n.m. y la formación característica a estas alturas es el pajonal, que muchas veces se presenta acompañado de vegetación achaparrada que asciende desde los 2200 m.s.n.m.

El páramo se sitúa en torno a los 3000 m.s.n.m. aunque hay puntos donde se le puede encontrar a menor altura. La vegetación característica de esta zona presenta estructuras coriáceas y duras propias de especies xerófilas. Cabe destacar entre las gramíneas los géneros *Andropogon*, *Cyper*, *Carex*, *Juncus*, *Poa*, *Calamagrotis* y *Paspalum*.



Ilustración V.5: a la izquierda, vista panorámica del páramo; a la derecha primer plano de esta misma formación. Fuente: PROMAS.

Bajo el páramo aparece típicamente la denominada “ceja de montaña”, donde se encuentran pajas y helechos rizomatosos como *Pteridium aquilinum*.

En ambas formaciones el suelo es turboso y humífero, con gran capacidad de retención de agua, muchas veces formando zonas pantanosas.

Este bosque subalpino ocupa una extensión en la cuenca cercana a las 570 ha, lo que representa el 9% del área total de la cuenca. Esta zona no presenta una marcada presencia humana, aunque si se han detectado áreas donde se han llevado a cabo quemas para obtener un aprovechamiento pascícola.

BOSQUE HUMEDO MONTAÑO

Esta formación aparece entorno a los 2200 – 2300 m.s.n.m. Se la conoce con el nombre genérico de pajonal, que abarca desde vegetación de chaparro hasta árboles.



Dentro del estrato arbóreo o bosque nativo, la especie típica es el *Symplocos quitensis* (lechero) y *Myrcianthes rhopaloides* (arrayán). En el subdosel aparecen con frecuencia *Miconia bracteolata* (colca), *Viburnum triphyllum* (tillo) y *Oreopanax aviceniifolius* (pumamaqui).

Esta formación cubre una superficie de 2287 ha, el 35% del área total de la cuenca. Esta vegetación en algunos sectores ha sido transformada en su totalidad, llegando a aparecer algún cultivo en las zonas planas e incluso en pendientes severas, donde los procesos erosivos se ven acelerados.



Ilustración V.6: vista panorámica de la parte alta de la cuenca. Fuente: PROMAS

BOSQUE SECO MONTANO BAJO

Esta formación se caracteriza por la presencia de matorrales y prados, predominantemente especies del género *Miconia* (colcas), *Tibouchina* (serrag) *Baccharis* (chilcas) *Senecios* (Ilipis) y *Gynoxis* (tushig).

En las zonas de roca afloran poáceas del género *Chusquea* (suro) mientras que las lomas más secas se encuentran especies de ericáceas (géneros *Gaultheria*, *Pernettya*, *Vaccinium* y *Befaria*). Las poáceas adaptadas son el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y otras de baja altura.

Esta formación cubriría una superficie de 2757 ha (41% del área total), las cuales han sido completamente alteradas por la influencia antrópica. El clima de este piso de vegetación ha sido idóneo para el asentamiento poblacional, lo que trae consigo la presencia de huertos de

clima templado, cultivos de subsistencia y potreros. Debido al éxodo poblacional que está sufriendo esta región, estas áreas agropecuarias son cada vez menos numerosas dejando eriales a pasto que por sí solos están avanzando en la sucesión vegetal.

ESTEPA ESPINOSA MONTANO BAJO

Esta formación aparece en la parte más baja de la cuenca donde encontramos especies como *Mimosa andina* (iso) *Cithartexylon* sp. y *Caesalpineia spinosa* (tara), todas ellas especies xerofíticas que vienen acompañadas de especies arbóreas como *Ferreyranthus verbascifolius*, *Croton* sp. (lechero) y *Dalea coerulea* (dalia). Aparecen también en esta zona cactus como *Echinopsis pachanoi*, *Opuntia* sp. y pencos como *Agave americana* y *Furxroya gigantea*.

Esta formación tiene una superficie de 778 ha (12% del área total). El uso de la tierra en esta zona está condicionado por la disponibilidad de riego, apareciendo cultivos hortícolas como cebolla, arveja y alfalfa en aquellas zonas con suelos más profundos.

MATORRAL DESÉRTICO PRE MONTANO

Esta formación ocupa 191 ha, representando tan sólo el 3% de la superficie total. Por ello y por las paupérrimas condiciones ecológicas que posee, además de abruptas pendientes en torno al 70%, presenta una importancia económica baja dentro del conjunto de la cuenca. La vegetación característica de esta formación es xerofítica y espinosa.

b. USO ACTUAL DEL SUELO Y CUBIERTA VEGETAL

El uso del suelo es un aspecto complejo debido a su carácter dinámico y a la multitud de factores que lo determinan, ya sean de orden físico, histórico (tenencia de tierras, propiedades), económico (costo de producción, vías, precios) y social (migración, género).

Se propone una diferenciación de usos de suelo en relación al grado de protección que ofrece frente a la acción de los agentes y procesos de degradación del mismo (agua, viento y especialmente la intervención antrópica), figura y tabla V.11:



Tabla V.11: Usos del suelo dentro de la cuenca del río Guabalcón

COBERTURA	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE	COBERTURA SUELO (%)
PÁRAMO-PAJONAL	975,36	14,8	60-80
CHAPARRO- PAJONAL	1133,96	17,2	54
PASTIZAL-CHAPARRO	2776,74	42,2	47
CULTIVOS+PASTOS	1221,93	18,6	35
MALEZA+CULTIVOS	475,11	7,2	22
	6583	100	

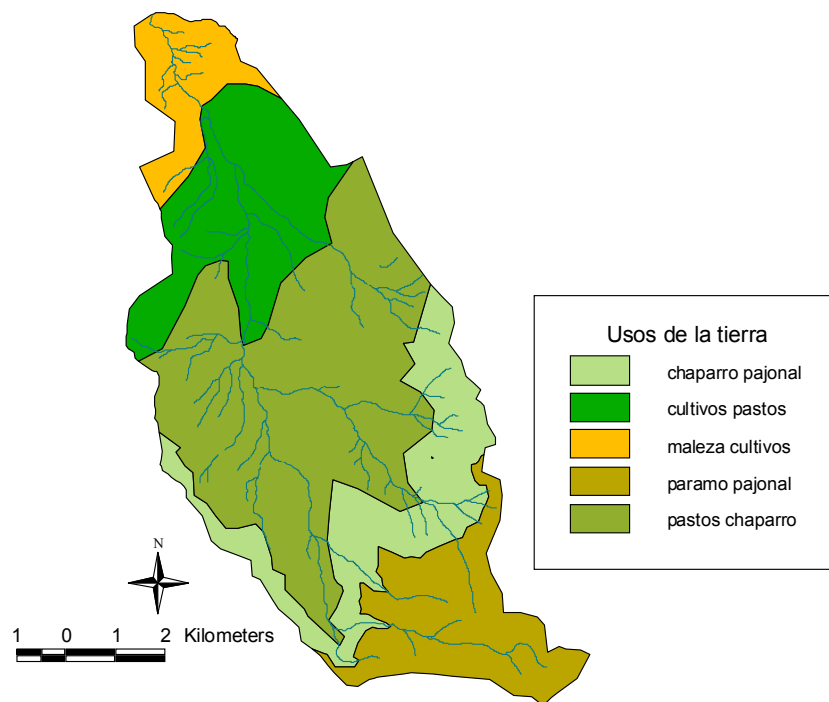


Figura V.11: Usos del suelo dentro de la cuenca del río Guabalcón.

CULTIVOS

Dada la diversidad de condiciones fisiográficas y de relieve dentro de la cuenca, se da gran variedad de cultivos agrícolas repartidos en diferentes pisos altitudinales, pero que en su conjunto no suponen más del 18 % de la superficie.

En general, los cultivos aparecen en parcelas diseminadas y entremezcladas con pastos, matorral y plantaciones, conformando un mosaico muy interesante pero de difícil delimitación cartográfica. A esto hay que añadir, el dinamismo que este uso del suelo en particular presenta, puesto que éste más que ningún otro se ve en gran medida afectado por factores económicos como el precio que el producto agrícola adquiere en el mercado.

El sector de Piñancay y Verdepamba es en donde se sitúan las principales áreas agrícolas, con cultivos de papas, u otros de ciclo corto, como la rotación maíz, frejol, pepino. En general son monocultivos, aunque es frecuente la presencia de huertas con combinación cultivo/árboles con diferente distribución espacial, bien sea con árboles dispersos o lo que es más frecuente, árboles conformando cercas vivas y linderos.



Ilustración V.7: Dos áreas agrícolas en el sector de Verdepamba. Fuente: EPIC FORCE.

PASTOS

Es el uso de suelo predominante en la cuenca. Cubre alrededor del 40 % de la superficie total. Aparece en general en zonas con vocación forestal, cuya cubierta natural fue removida para dar paso a una formación pascícola dedicada a la actividad pecuaria, en concreto pastoreo extensivo de ganado vacuno para producción de leche (los denominados potreros).

Se pueden diferenciar tres tipos distintos de pastos:

- ✿ Pastos naturales: formados por poáceas herbáceas asociadas con kikuyo. Se incluye dentro de este tipo, aquel pasto inducido por la eliminación de la vegetación natural, ya sea como consecuencia de un desmonte intencional, de una quema o del abandono de un área agrícola.
- ✿ Silvopastorales: son los pastos que aparecen en asociación con árboles. Estos pastos aparecen en la zona de Compud y Sagüin, zonas ganaderas bien manejadas, con pastos de buena calidad y en cantidad.



- Pastos cultivados: Son escasas las zonas que se han descrito donde se lleve a cabo un relativo manejo, siendo en general éste temporal, reduciéndose a la época lluviosa.



Ilustración V.8: Amplia extensión de terreno dedicada al uso pascícola dentro de la cuenca del río Guabalcón. Fuente: EPIC FORCE.

FORESTAL

Dentro del uso forestal se puede distinguir diversos tipos de cubierta, como son:

- Bosque natural:

Son los llamados en general bosques de altura, bosques de ceja de montaña o bosques neblinosos, localizados principalmente en la zona dominante de la cuenca. Se engloba dentro de este grupo así mismo el páramo.

Constituye en general un ecosistema natural, no intervenido, con mecanismos de restauración y recuperación propios.

Estos bosques han sido en algunos sectores sometidos a una intensa explotación, apareciendo un bosque remanente compuesto de especies sin valor económico y salpicado de áreas pascícolas.

▀ Vegetación xerofítica:

Son formaciones que por sus limitaciones climáticas, principalmente la precipitación, son caducifolias. Se ubica en las cotas más bajas de la cuenca donde se forma un cañón profundo donde se pueden llegar a apreciar alguna terraza agrícola; en general son tierras inaprovechables dominadas por una cobertura de especies arbustivas y herbáceas propias de climas semiáridos.



Ilustración V.9: Zona dominada de la cuenca donde predominan las condiciones xerofíticas. Fuente: EPIC FORCE

▀ Plantaciones forestales de pino, eucalipto y cipre:

Son muy escasos los lugares en los que se han efectuado y, si bien el objetivo inicial de estas plantaciones era la protección del suelo y la producción forestal, al no haber sido ejecutadas bajo unos criterios silvícolas idóneos, estas plantaciones presentan en la actualidad problemas de formación y de desarrollo de follaje.

Las especies más utilizadas han sido *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*.



➤ Chaparro:

Este tipo de cubierta engloba desde árboles de bajo porte hasta vegetación arbustiva de poca altura. Se desarrolla en cotas elevadas, próxima ya a los páramos, donde las formaciones boscosas están limitadas por la altitud y la temperatura.



Ilustración V.10: formación de chaparro en la cuenca del río Guabalcón. Fuente: EPIC FORCE.





5. CONDICIONES CLIMÁTICAS

En Ecuador se pueden localizar 4 grandes regiones geográficas, cada una de ellas caracterizada por una climatología propia: la costa, los Andes, la Amazonía (el “oriente”) y las Islas Galápagos. Los principales factores que explican esta variabilidad climática son la posición a uno u otro lado de la línea ecuatorial, la posición y los movimientos de las corrientes oceánicas y los efectos orográficos causados por la abrupta topografía de los Andes, que recorren el país de Norte a Sur. La cuenca del río Guabalcón se encuentra situada dentro de esta cordillera andina y, debido a los factores citados, presenta grandes diferencias climáticas entre las superficies situadas en sus cotas superiores y las ubicadas en las inferiores.

A la hora de definir las condiciones climáticas de la cuenca se atiende a las temperaturas y a las precipitaciones, los dos elementos que mejor las definen, siendo sus valores medios los que establecen el clima en general. Los valores extremos se usan para calcular los caudales de avenida que caracterizan los fenómenos geo-torrenciales, que se estudian en el siguiente apartado.

Debido a su posición geográfica, la cuenca del río Guabalcón se encuentra influenciada por lluvias provenientes del sector costa en invierno y por lluvias provenientes del sector oriental en la época lluviosa de verano. La influencia de una u otra es mayor dependiendo la posición geográfica y, es por ello, que la posición de las estaciones meteorológicas a seleccionar para el estudio climático adquiere gran importancia. Los datos de temperatura y radiación solar (164 Watts/m² como promedio anual) son bastante constantes a lo largo del año, sólo viéndose modificados en altitud, con un gradiente que se fija para la temperatura entorno a los 6.5 °C /1000m; en contraste, la fluctuación diaria de la temperatura, en un periodo de 24 horas, puede llegar a ser muy pronunciada, llegando a alcanzar variaciones de hasta 20°C. La humedad relativa registra valores medios entorno al 90% con máximos de 100% y mínimos de 40%.

Dentro de la cuenca se definen dos climas distintos, uno correspondiente a la parte baja y otro para las tierras más elevadas de la cuenca, debido a la variación altitudinal de las temperaturas que se ha descrito.

a. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS

Selección de las estaciones meteorológicas

En toda la cuenca del río Chanchán se dispone de estaciones meteorológicas, bien propiedad del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) como del PROMAS, que las instaló dentro del programa EPIC-FORCE. A lo largo del estudio que aquí se está desarrollando se han utilizado diversas estaciones. Se caracterizan todas ellas aquí a continuación (tabla V.12):

Tabla V.12: Principales estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización climática

Estación			Altitud (m)	Coordenadas		Periodo de años disponible	
Código	Nombre	fuelle		Latitud	Longitud	Temperaturas	Precipitaciones
M-136	Chunchi	INAMHI	2245	2 16 31 S	78 55 25 W	1969-1989 1993-1998	1969-2004
M-135	Pachamama Tixan	INAMHI	3690	2 11 42 S	78 46 54 W	1972-1989	1969-2000
M-369	Compud	INAMHI	2860	2 2022 S	78 5613 W	-----	1970-2005
M-399	Achupallas	INAMHI	3320	2 16 49 S	78 46 6 W	-----	1970-2005
M-405	Guasuntos	INAMHI	2540	2 13 45 S	78 48 38 W	-----	1980-2005
---	Tinajeras	PROMAS	4033	2 23 20 S	78 54 17 W	-----	V-2007 al I-2008
---	Piñancay	PROMAS	1793	2 17 57 S	78 56 45 W	-----	II-2006 al II-2008
---	Joyagsi	PROMAS	2810	2 22 9 S	78 58 3 W	-----	II-2005 al II-2008
---	Santa Rosa	PROMAS	2578	2 20 23 S	78 57 49 W	-----	II-2005 al II-2008
----	Chunchi	PROMAS	2252	2 16 28 S	78 55 18 W	-----	XII-2005 al XII-2007

Se han seleccionado tres estaciones meteorológicas para caracterizar las dos zonas de la cuenca de acuerdo con su condición climática: La estación de Compud, en plena cuenca del río



Guabalcón, se ha adoptado para caracterizar la pluviometría de toda la cuenca. Para el resto de los parámetros climáticos se han seleccionado de las estaciones de Chunchi para las áreas dominadas y la de Pachamama-Tixan para las dominantes; pues aunque ésta última se encuentra alejada de la cuenca, caracteriza la cabecera de la misma, debido a que la altitud es el factor que más influye en el parámetro en cuestión.

Análisis Pluviométrico

La pluviometría a lo largo de la cuenca varía con la altitud, como demuestran las distintas clases bioclimáticas que se detectan sobre el terreno. La precipitación oscila entre los 500-700 mm (que presenta el límite climático del piso montano bajo situado en la zona) entre los 1700-2000 m s.n.m y los 1500-2000 mm (que requiere el bosque húmedo montano que aparece en la parte alta de la cuenca) entre los 3800 y 4200 m. s.n.m.

Aún teniendo esta variabilidad, se ha decidido caracterizar la cuenca con la precipitación de la estación de Compud, situada a 2860 m s.n.m., ya que presenta la serie más completa y a la vez más representativa de todas las disponibles, tanto dentro como alrededor de la cuenca.

El módulo pluviométrico (precipitación media anual) en dicha estación, obtenida a partir de la serie histórica disponible (Figura V.12), se estima en 982,9 mm. El patrón anual de precipitaciones (Figura V.13) presenta un máximo en febrero-marzo y otro mucho menos pronunciado en torno a diciembre. Los meses de julio y agosto por el contrario son los que registran las precipitaciones mínimas.

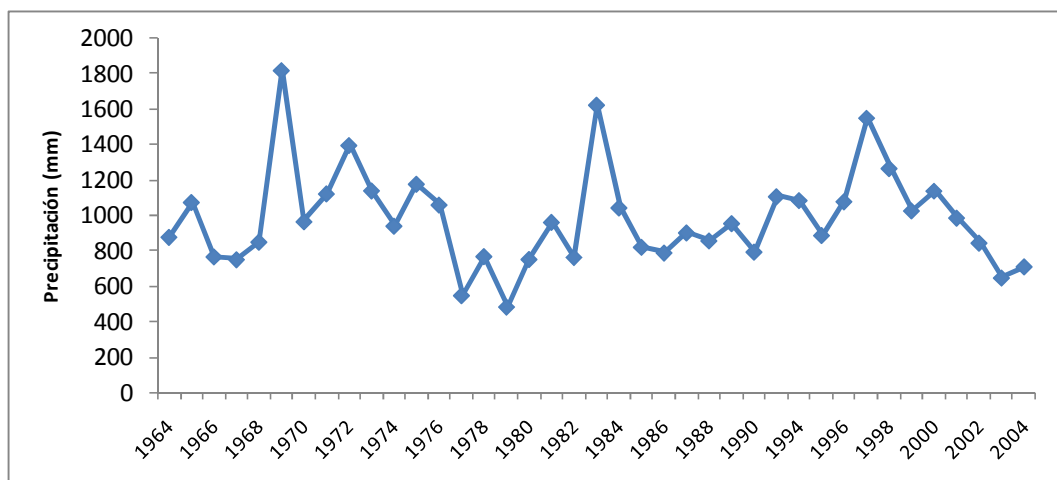


Figura V.12: Variación histórica de las precipitaciones en la estación de Compud. Serie 1970-2005. (Fuente de datos: INAMHI).

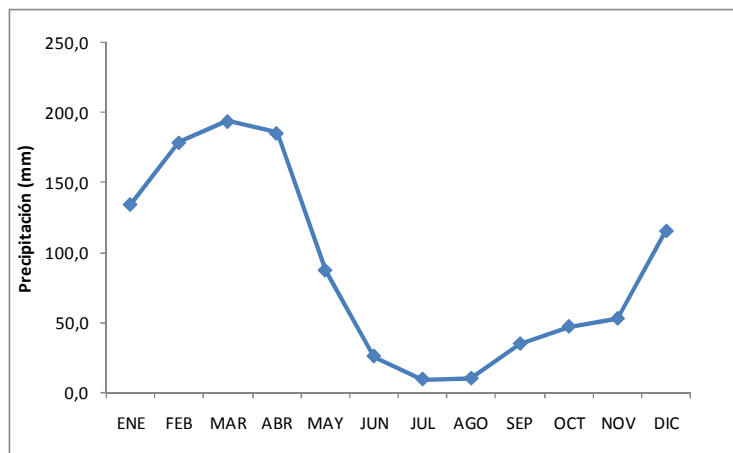


Figura V.13: Módulo pluviométrico (Precipitación media mensual) en la estación meteorológica de Compu. (Fuente de datos: INAMHI)

Análisis de temperaturas en el área dominada de la cuenca.

La estación meteorológica de Chunchi, localizada a 2245 m s.n.m ha servido para caracterizar el patrón de temperaturas para las zonas bajas y medias de la cuenca. La temperatura en estas latitudes es bastante constante a lo largo del año, manteniéndose la media en torno a los 14 °C, la máxima en torno a los 23°C y la mínima alrededor de los 6°C.

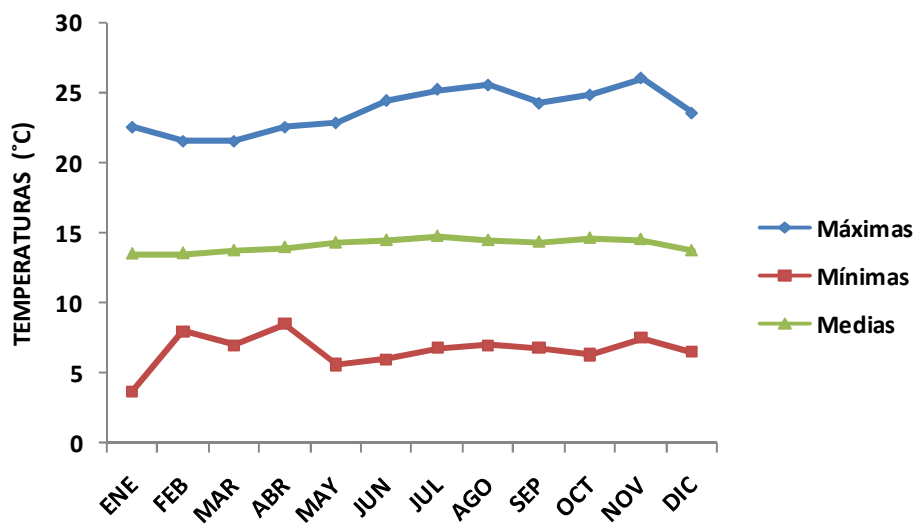


Figura V.14: Temperaturas máximas, medias y mínimas de la estación meteorológica Chunchi. (Fuente de datos: INAMHI).



Análisis de temperaturas en el área dominante de la cuenca.

Para caracterizar la cabecera de la cuenca se han utilizado los datos de temperatura de la estación de Pachamama-Tixan, situada a 3690 m.s.n.m. Ésta presenta una temperatura media mensual aproximadamente de 7°C, unas máximas alrededor de los 17°C y mínimas en torno a -1°C.

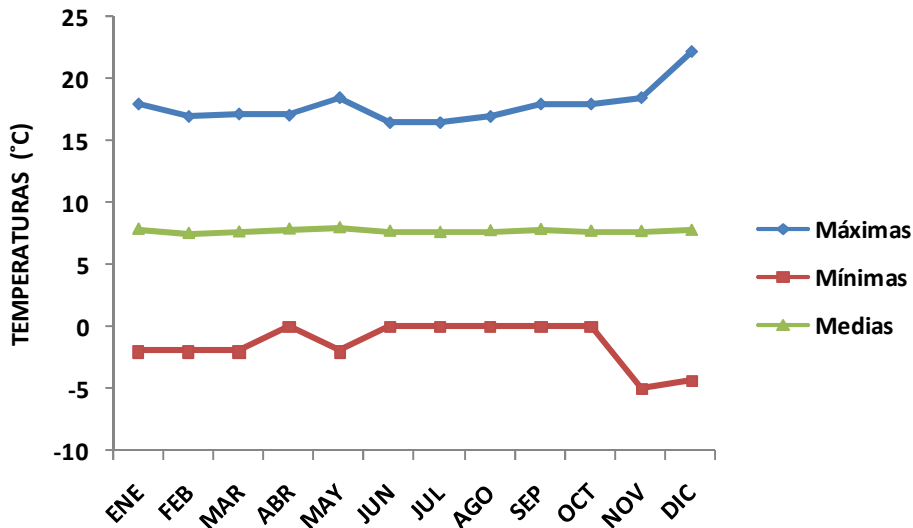


Figura V.15: Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales de la estación meteorológica Pachamama-Tixan. (Fuente de datos INAMHI).

Análisis de la evapotranspiración.

Los datos de evapotranspiración no están disponibles en ninguna de las dos estaciones climatológicas seleccionadas, por lo que se ha calculado la evapotranspiración potencial partir de datos climáticos utilizando para ello el programa **EToCalculator**.

Dado que la estación de Chunchi dispone de datos de parámetros climatológicos como la presión de vapor, la humedad relativa y la velocidad del viento, se ha calculado la evapotranspiración media a través del método de **Penman-Monteith** modificado por la FAO.

En el caso de la cabecera de la cuenca, la estación meteorológica de Pachamama-Tixan sólo tenía disponibles los datos de temperaturas, por lo que se ha calculado la evapotranspiración por el método de **Blaney-Criddle** modificado por FAO.

Los resultados para ambas zonas se muestran en la figura V.16:

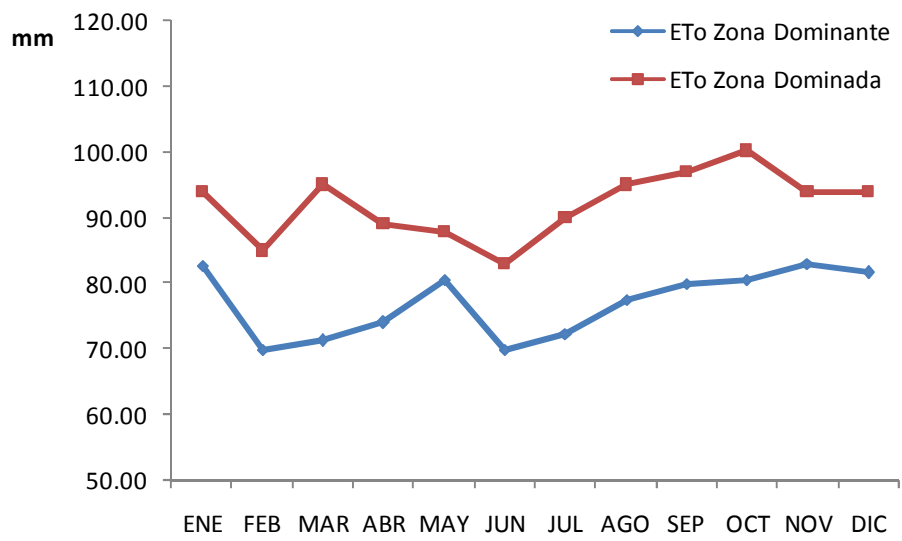


Figura V.16: Evapotranspiración media calculada por el método de Penman-Monteith para los datos de la estación meteorológica Chunchi.



b. ÍNDICES CLIMÁTICOS

Determinación zonas termales

Se utiliza para la Clasificación climatológica el sistema propuesto por FAO basado en las temperaturas. Las zonas termales en el sistema **FAO/UNESCO (FAO, 1978)** se muestran en la siguiente tabla V.13:

Tabla V.13: Zonas termales en el sistema FAO/UNESCO (Fuente de datos: FAO, 1978)

TIPO DE CLIMA	CARACTERISTICA	Temperatura diaria promedio durante el período vegetativo
TROPICOS - Todos los meses con temperaturas medias corregidas al nivel del mar > 18°C	cálidos	> 20
	moderadamente fresco	15 - 20
	frescos	6,5 -15
	fríos	< 6,5
SUBTROPICOS - Uno o más meses con temperaturas medias corregidas al nivel del mar <18°C, pero todos los meses >5 °C	cálidos	> 20
	moderadamente fresco	15 - 20
	frescos	6,5-15
	fríos	< 6,5
TEMPLADO - Uno o más meses con temperaturas < 5 °C	templado fresco	6,5- 20
	templado frio	< 6,5

Según esta clasificación, la cuenca del río Guabalcón se enmarca dentro de un clima *Tropical*,

- ☛ *Frío*: en la cabecera de la cuenca, caracterizada por las temperaturas de la estación de Pachamama Tixan, con un promedio durante el periodo vegetativo de 7,8 °C.
- ☛ *Fresco*: para zona dominada, definida por la temperatura promedio durante el periodo de crecimiento en la estación Chunchi, que es de 14°C.

Determinación del periodo vegetativo

La longitud del periodo vegetativo se define como el tiempo en días, en el cual la precipitación está por encima de la mitad de la evapotranspiración potencial, más un periodo necesario para la evaporación de 100 mm de precipitación almacenada en el suelo (FAO, 1978). Para el austro ecuatoriano **Dercon et al.**, (1998) estimaron que la estación vegetativa más frecuente es la intermedia, razón por la cual se hizo una simplificación y no se tomó en cuenta el agua almacenada en el suelo. Esto significa que la estación vegetativa comienza cuando la precipitación es igual a la mitad de la evapotranspiración potencial (en adelante, ETo). Según este cálculo, el periodo de crecimiento para las áreas dominantes de la cuenca asciende a 273 días y para las áreas dominadas a 230 días de días. (Figura V.17).

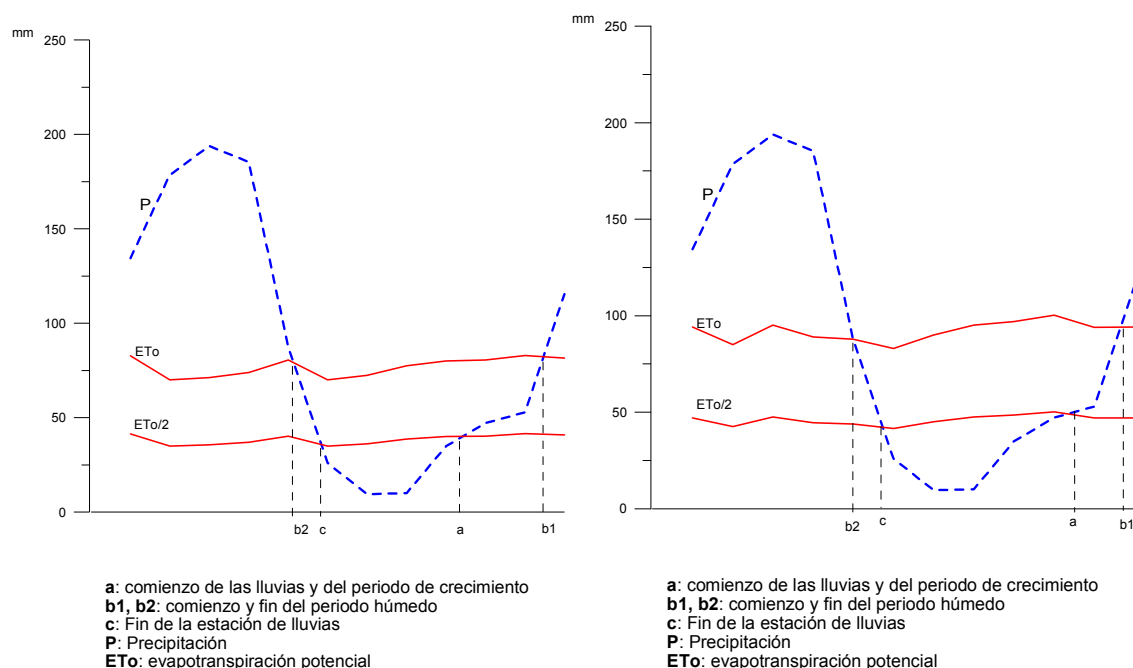


Figura V.17: Esquema del periodo de crecimiento para las áreas dominantes (izquierda) y para las áreas dominadas (derecha) de la cuenca del río Guabalcón.

La Tabla V.14 muestra el régimen de humedad de acuerdo con la clasificación adoptada de la **FAO** (1978), Según lo cual el área dominada de la cuenca queda caracterizada por un clima *Subhúmedo*, mientras que el área dominante queda englobada dentro de un clima *Húmedo*.



Tabla V.14: Tipo de clima atendiendo a la duración del periodo vegetativo de acuerdo con Clasificación climatológica de la FAO (1978).

Duración del periodo de crecimiento (días)	Tipo de Clima
<70	Árido
70-180	Semiárido
180-270	Subhúmedo
>270	Húmedo

Climodiagrama de Walter-Gausson

En el climodiagrama de **Walter-Gausson** se representan conjuntamente el régimen pluviométrico medio anual y el termométrico, de tal forma que la escala de los valores de precipitación sea el doble que la de temperatura. El diagrama permite calcular directamente los meses áridos según el índice de **Gausson**, que establece que un mes es árido si $P < 2T$.

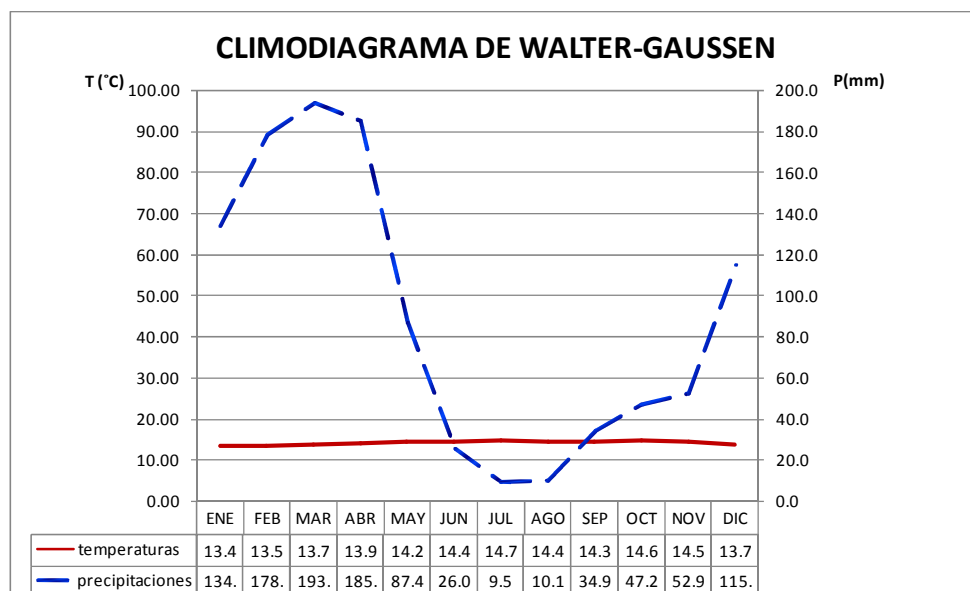


Figura V.18: Climodiagrama de Walter-Gausson en el área dominada de la cuenca

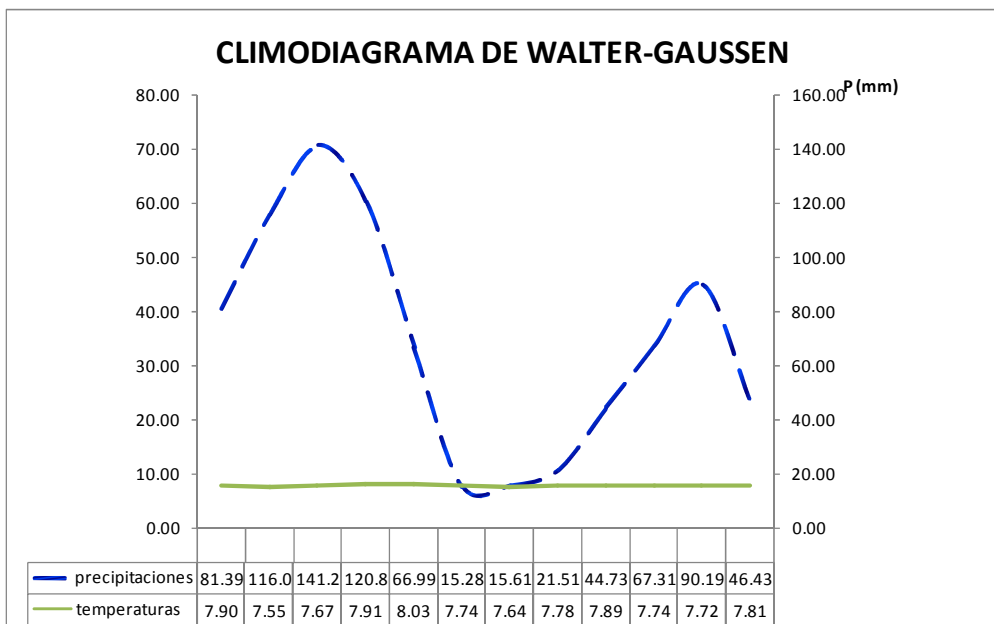


Figura V.19: Climodiagrama de Walter-GausSEN en el área dominante de la cuenca.

Como se puede apreciar en las figuras V.18 y V.19 en el área dominada de la cuenca del río Guabalcón se presenta alrededor de 3 meses de aridez, coincidiendo con los primeros meses de verano; sin embargo, en el área dominante de la misma el periodo árido no es tan marcado, pudiéndose considerar casi inapreciable.

Deficit de escorrentía según Turc

Éste índice climático establecido por **Turc** (1961) fue obtenido a partir de mediciones realizadas en 254 cuencas, distribuidas por todos los climas del mundo. Se ajusta en gran medida a los resultados establecidos por otros investigadores. Su expresión es:

$$D = \left(\frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \right)$$

D, es el Déficit de escorrentía (mm.), que en la práctica coincide con la evapotranspiración;

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$; siendo **T** la temperatura media anual en °C;



P es la precipitación anual o módulo pluviométrico (mm)

Esta fórmula permite definir el clima de la cuenca, siguiendo criterios de balance de humedad, como se muestra en la Tabla V.15.

Tabla V.15: Tipos de clima según Turc (1961).

CONDICIÓN	TIPO DE CLIMA
$P > 0.632 L$	Húmedo
$0.316 L < P < 0.632$	Semiárido
$P < 0.316$	árido

El cálculo de este parámetro para las diferentes áreas de la cuenca del río Guabalcón (dominante y dominada), establece en ambos casos un clima húmedo, como se muestra en la Tabla V.16

Tabla V.16: Clasificación del clima en la cuenca del río Guabalcón según Turc (1961).

Área de la cuenca	T media (°C)	L	P anual (mm)	tipo de clima
dominada	14,16	795,900	982,9	Húmedo
dominante	7,78	518,131	982,9	Húmedo

Índice de agresividad del clima de Fournier (1960)

Es un parámetro que trata de reflejar la incidencia del clima en la erosión del suelo para grandes áreas geográficas. Se calcula por año y se define por el cociente:

$$k = \frac{p^2}{P}$$

Donde,

p es la precipitación del mes más lluvioso del año (mm)

P es la precipitación anual (mm)

Para la cuenca del río Guabalcón aporta los siguientes valores (Tabla V.17).

Tabla V.17: Índices de agresividad del clima según Fournier (1960) en la cuenca del río Guabalcón

AÑO	P anual	p	K FOURNIER	AÑO	PREC	MAX	K FOURNIER
1970	872,10	168,40	32,52	1989	955,20	250,80	65,85
1971	1153,60	346,10	103,84	1990	606,30	153,10	38,66
1972	1406,60	390,60	108,47	1991	1097,50	273,80	68,31
1973	1199,40	225,40	42,36	1992	612,40	173,00	48,87
1975	1206,40	286,90	68,23	1993	1049,70	253,20	61,07
1976	1041,50	266,70	68,29	1994	1085,30	262,10	63,30
1977	595,70	136,90	31,46	1995	887,20	161,60	29,43
1978	748,80	192,50	49,49	1996	1045,80	216,90	44,99
1979	478,80	171,30	61,29	1997	2072,50	457,20	100,86
1980	776,20	246,20	78,09	1998	1265,90	240,70	45,77
1982	764,10	295,90	114,59	1999	1500,10	275,40	50,56
1983	1623,80	352,40	76,48	2000	1026,30	251,70	61,73
1984	1043,80	340,60	111,14	2001	1329,30	285,00	61,10
1985	822,80	245,30	73,13	2002	986,40	346,00	121,37
1986	789,30	243,90	75,37	2003	844,40	159,10	29,98
1987	902,30	237,50	62,51	2004	648,20	131,80	26,80
1988	1063,30	438,20	180,59	2005	711,10	241,10	81,75

A continuación se aporta la clasificación del índice de **Fournier** según la cartografía **CORINE CEC** (1992), (Tabla V.18).

Tabla V.18: Clasificación del índice de Fournier según la cartografía CORINE CEC (1992)

Clase	K	Descripción
1	<60	Muy bajo
2	60-90	bajo
3	90-120	Moderado
4	120-160	Alto
5	>160	Muy alto



Zonas de vida natural del mundo, Holdridge (1987)

La aplicación de las zonas de vida natural del mundo a la cuenca del río Guabalcón, según la clasificación propuesta por **Holdridge**, diferencia en ella las cinco áreas siguientes:

Bosque muy Húmedo Subalpino

Esta formación se encuentra localizada en las cumbres de la cuenca, entre los 3800-4200 m.s.n.m. La temperatura media en ellas oscila entre los 3 y 6°C y la precipitación entre los 1500-2000 mm. Hay pocos días durante el año sin lluvias y la vegetación característica de esta zona es el pajonal.

Bosque Húmedo Montano

Esta formación vegetal se presenta en la cuenca entre los 2800-3800 m.s.n.m. Los límites climáticos que caracterizan esta zona son temperaturas medias entre 12 y 16 °C y un valor de lluvias anuales entre 750 y 1000 mm.

Se trata de una zona que ha sido en su mayor parte transformada por el hombre, transformando en pastizales y cultivos antiguas superficies ocupadas por el chaparral. En ocasiones dichos aprovechamientos se sitúan en terrenos de pendientes muy elevadas, en el límite de lo que puede resultar un aprovechamiento sustentable. Para caracterizar estas dos zonas que conforman el área de cabecera de la cuenca del río Guabalcón, se instaló un pluviógrafo en Tinajeras (2005) en el marco Proyecto EPIC-FORCE. Las características de la misma se definieron en la tabla V.12.

Bosque Seco-Montano Bajo

La zona con esta formación está localizada en la cuenca entre los 2000-3800 m.s.n.m. y presenta variaciones micro climáticas de acuerdo a los pisos altitudinales de las cordilleras, aunque mantiene siempre un clima subhúmedo con precipitaciones oscilando entre los 500 y 1000 mm y temperaturas medias entre 12 y 18°C.

La vegetación autóctona de esta zona ha sido alterada totalmente por el hombre, debido a la idoneidad del clima para el asiento población y la agricultura.

El régimen pluviométrico de esta zona se ve caracterizado por los datos pluviométricos de CompuD, utilizados para el estudio general de la cuenca.

Estepa Espinosa Montano Bajo.

Esta formación se encuentra localizada en el noreste de la zona baja de la cuenca entre los 1700-2000 m.s.n.m. Como límites climáticos tiene una temperatura media de 24°C y un módulo pluviométrico entre 500 y 700 mm. La vegetación predominante lo compone un matorral de tipo xerofítico.

Matorral Desértico Pre Montano

La formación en cuestión se encuentra localizada sobre colinas volcánicas y sedimentarias en pendientes abruptas de más del 70% en la parte más baja de la cuenca, en un rango altitudinal entre los 1300 – 1600 m.s.n.m. La precipitación es de hasta 500 mm y la temperatura media mensual oscila entre los 18 y 24°C.

El régimen pluviométrico de las dos últimas zonas de vida natural, las situadas en la parte más baja de la cuenca, se ve representado por los datos obtenidos de la estación de Piñancay.

c. EL FENÓMENO “EL NIÑO”

El Niño es un fenómeno meteorológico que se da en el Pacífico, cuyo origen mantiene relación con el nivel de la superficie oceánica y sus anomalías térmicas. Es un fenómeno de grandes repercusiones sobre la vida tanto del océano, como del continente y en el mundo entero, ya que conlleva fuertes sequías e inundaciones.

En condiciones normales las corrientes atmosféricas desplazan ligeramente el volumen de agua del océano Pacífico hacia la costa este. En las condiciones del Niño las corrientes atmosféricas quedan alteradas, disminuyendo de intensidad en su dirección habitual (oeste-este) o incluso invirtiéndose. Esta disminución o incluso inversión de la corriente superficial causa una variación del nivel del océano que en algunos Niños puede llegar a los 40 cm.

Paralelamente se da un incremento de la temperatura superficial del océano (en el Niño de 1982 de hasta 8°C) y un descenso de la termoclina (línea que separa las aguas frías ricas en nutrientes, de las cálidas más pobres) que conlleva importantes consecuencias sobre la vida marina. En la costa, las aguas se mezclan por unas corrientes naturales originadas por el impacto de la masa acuática sobre el continente. Durante un periodo normal, las corrientes mezclan el agua fría con la cálida, pero durante el Niño, el descenso de la termoclina impide



esta mezcla, ya que la corriente no desciende al descender la termoclina. La anomalía térmica de la superficie oceánica altera el clima habitual de las regiones afectadas (costa de Sur América, especialmente Colombia, Ecuador y Perú, archipiélagos del Pacífico como las Galápagos). Esta alteración se manifiesta en forma de fuertes inundaciones y sequías. Áreas habitualmente húmedas del interior entran en un periodo de sequía, mientras el desierto florece extraordinariamente por las generosas precipitaciones. Ciertas lagunas andinas se secan totalmente, mientras en otras zonas, las lluvias torrenciales se llevan puentes, caminos, y en algunos casos vidas humanas (NOAA, 2008).

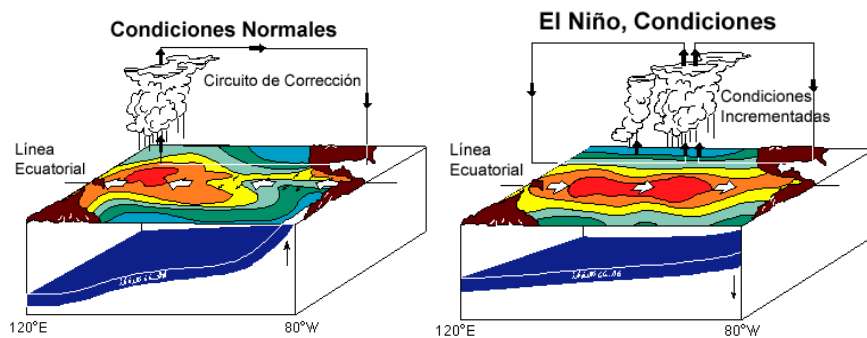


Figura V.20: Condiciones normales y condiciones climáticas de El Niño. Fuente: NOAA.

En Ecuador, a lo largo del siglo XX se han producido numerosos fenómenos “El Niño” con efectos negativos. Los más notables, en orden de magnitud descendente han sido los de 1997-1998, 1982-1983, 1957-1958 y 1972-1973, (Ministerio de Salud Pública de Ecuador, 1998).

Las consecuencias de estos eventos en las planicies de la región costera del país fueron principalmente la inundación de áreas agrícolas y naturales. En las zonas montañosas el principal problema fueron los deslizamientos de tierra, con el consecuente bloqueo de caminos y posibles daños a poblaciones, que en algunos casos produjeron cuantiosas pérdidas económicas, llegando a afectar a vidas humanas. Se estima que las pérdidas producidas por el Niño de 1982-1983 supusieron el 10% del PIB anual y 14% del PIB en el 1997-1998.

Dentro de la cuenca del río Chanchán, del cual es tributario el río Guabalcón, tanto El Niño del año 82 como el del año 97 produjeron importantes estragos. El primero causó un importante deslizamiento en la zona de Chunchi, dejando muertos y grandes pérdidas económicas. El segundo produjo el embalsamiento del río en las cercanías de Huigra, afortunadamente sin causar esta vez muertos. Ambos puntos están localizados en las cercanías de la cuenca del río Guabalcón, y es necesario por ello apuntar aquí las consecuencias tan devastadoras como inevitables que podría llegar a ocasionar este fenómeno dentro de la cuenca.





6. COMPONENTE SOCIOECONÓMICA

a. A PROPÓSITO DEL ECUADOR

El Ecuador es un país con una población entorno a los 13 millones y medio de habitantes de los cuales alrededor de la mitad viven en el medio rural. El PIB per capita se sitúa en los US\$ 2.987 (**informe de las Naciones Unidas**, 2006). En términos de desarrollo humano, según los últimos informes publicados por la **ONU** el Ecuador se encuentra en el puesto 83º.

Desde el punto de vista socioeconómico es un país eminentemente agrícola; en primer lugar, porque este sector aporta al PIB entorno al 17% del total y, en segundo, porque ocupa al 30% de la población en activo. Sin embargo, hay que destacar la diferencia manifiesta que existe dentro del sector; por un lado lo que es verdaderamente uno de los motores económicos del país, que es la agricultura de las zonas costeras, donde las exportaciones de banano, café, flores y cacao suponen la segunda actividad del país en cuanto a generación de divisas; por otro lado en la región de la sierra, en la Cordillera Andina, la actividad agrícola y ganadera se centra en la producción de rubros de consumo interno, para el mercado local y en muchos casos tan solo constituye la base de una economía de subsistencia (Cisneros P. et al ,2006).

b. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Guabalcón, situada dentro de la provincia del Chimborazo, soporta una población rural entorno a las 1.700 personas repartidas en comunidades según se muestra en la figura V.21. La mayor parte de estas comunidades pertenecen al cantón Chunchi, del cual en el año 2005 se elaboró un informe a través de la **Dirección Provincial Agropecuaria del Chimborazo** y con la participación de 5.471 personas (*“Diagnostico participativo, socio económico y de situación organizacional de las comunidades campesinas del Cantón Chunchi”*, Mayo 2005) de donde se han extraído los datos demográficos y de producción agrícola que se comentan a continuación.

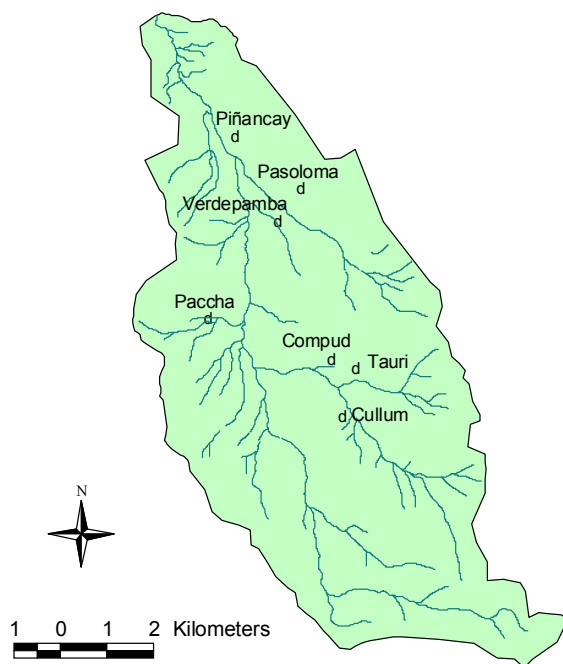


Figura V.21: Comunidades dentro de la cuenca del río Guabalcón.

Adicionalmente a los datos que aparecen en este informe, se cuenta con valiosa información obtenida a partir de entrevistas que se realizaron sobre el terreno a un total de 16 personas. La estructura de la entrevista y el cuadro resumen con los resultados obtenidos aparecen en el Anexo 3.

La población que vive en estas áreas rurales mantiene, como ya se ha señalado, una economía de subsistencia; orientada hacia la producción agrícola en aquellas zonas que por el clima y los suelos resulta posible, o hacia la ganadera donde los pastos constituyen el uso de suelo más productivo.



Ilustración V.11: izquierda, el yugo (arado romano), apero de labranza más común; derecha, plantación de frejol trepador.



La zona dominada de la cuenca, sobretodo el área de Piñancay, presenta unas características óptimas para la agricultura, con unos suelos fértiles sobre pendientes moderadas o nulas que sustentan cultivos hortofrutícolas como el pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) y otras veces arvejas (*Pisum sativum* L.) y fréjoles (*Phaseolus vulgaris* L.). El apero de labranza más utilizado es el yugo, tirado normalmente por una pareja de bueyes. El riego es por gravedad, mediante surcos que realizan a nivel. Las comunidades están organizadas en juntas de regantes y de ahí salen los turnos de riego y las horas que corresponden a cada agricultor, dependiendo del terreno que cada uno tenga en cultivo.

Las comunidades de Verdepamba y Pasaloma están formadas hoy en día por 20 familias cada una, de las que solo 5 viven tienen hijos viviendo en la cuenca. Estas familias mantienen huertos en terrenos cercanos a su casa y algunas poseen ganado vacuno para producción de leche.

La zona media de la cuenca presenta terrenos sobre pendientes mayores al 60%, que históricamente habían venido siendo cultivados, pero que en las últimas épocas, por la paulatina despoblación que está sufriendo la zona, presentan una vegetación casi naturalizada. Las poblaciones de Paccha y Compud se dedican mayoritariamente al ganado de leche, aunque mantienen pequeñas extensiones de cultivos sobre todo de maíz y papas, que van destinadas a consumo propio y al mercado local.

Por último, Las comunidades de Tauri y Cullum tienen en su conjunto alrededor de 400 has dedicadas al ganado bovino para producción de leche. Los pastos de esta zona, sin llegar a ser excepcionales, mantienen una calidad aceptable durante la mayor parte del año por la disponibilidad de agua que tiene la zona.

Los problemas más graves que se han detectado en el Informe y durante las entrevistas son: la falta de mano de obra, la emigración, los bajos precios de los productos agrícolas y ganaderos y la falta de agua en determinadas épocas del año, esto último sobre todo en las poblaciones de la zona media y baja de la cuenca.

El agua es un recurso limitado en este área, sobre todo en la época seca cuando su disponibilidad no es suficiente para mantener los cultivos. En las entrevistas se pudo verificar que había agricultores con tierras sin labrar por falta de este recurso. Del mismo modo, los ganaderos consideraban la temporada seca como uno de los principales limitantes para aumentar los potreros; los pastos están secos y no disponen de más alternativas para

alimentar al ganado. No existe hasta el momento un embalse en la zona, aunque algún agricultor de manera particular disponga de uno propio construido por él mismo. Todos los entrevistados consideraban fundamental la construcción de uno en la parte alta, por encima de Cullum, para solucionar los problemas hídricos del resto de la cuenca.

Pero el problema más importante que en la actualidad sufren éstas y en general todas las comunidades andinas es la emigración. Según datos extraídos del Informe elaborado por la Dirección Provincial Agropecuaria del Chimborazo, *durante los últimos tres años han emigrado en torno al 40% de los asociados a alguna de las organizaciones agropecuarias existentes*. En concreto, dentro de las comunidades que residen en el Guabalcón, la emigración de los años 2002 al 2005 supuso el 10% del total de la población. No existen datos actualizados pero de las entrevistas en campo se puede deducir que a día de hoy se sigue con esta misma tendencia.

Los emigrantes son muchas veces gente joven, que bien en las ciudades ecuatorianas o en los países extranjeros a los que marchan (fundamentalmente E.E.U.U. y España) fijan su residencia de manera definitiva, y no retornan nunca a su lugar de procedencia. En este caso los que quedan atrás son padres ya mayores, que por su edad avanzada han abandonado ya las tareas agrícolas y viven del dinero que sus hijos les mandan. Otras veces, los emigrantes son cabezas de familia que han tenido que dejar atrás a mujer e hijos. Esta situación es también común en la zona, donde son muchas las mujeres que llevan el hogar y las tierras ante la ausencia del marido y no encuentran mano de obra joven dispuesta a trabajar el campo.



Ilustración V.12: Comunidad de Compud. Fuente: EPIC FORCE.



VI. COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA





1. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

a. ANÁLISIS DE DATOS

La estación utilizada para el estudio de precipitaciones extremas se seleccionó de entre las estaciones pertenecientes al INAHMI (figura VI.1), que son las que poseen una serie histórica disponible. Las características de estas estaciones vienen recogidas en la tabla V.12 del apartado “Condiciones climáticas”.

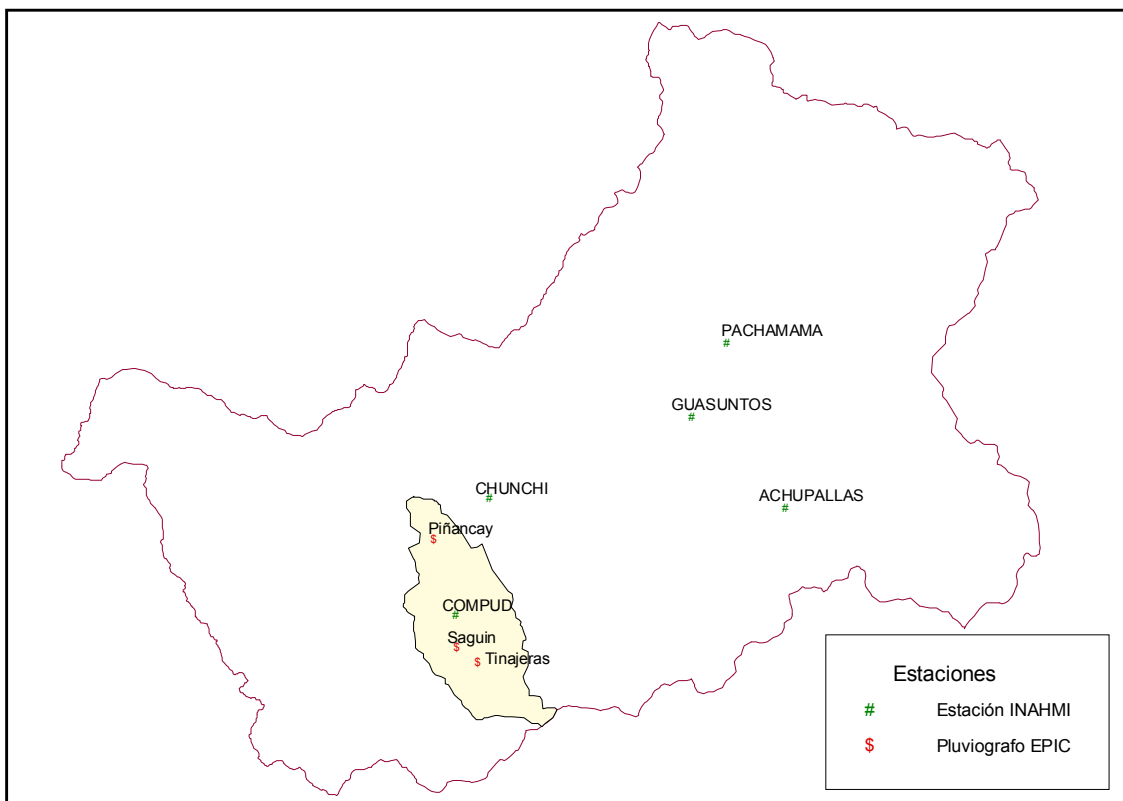


Figura VI.1: Estaciones meteorológicas utilizadas.

Se ha seleccionado el valor máximo de precipitación en 24h para cada año desde 1970 hasta 2005 en cada una de las estaciones meteorológicas disponibles.

Tabla VI.1: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas. Fuente INAHMI.

Año	Chunchi	Compud	Pachamama	Achupallas	Guasuntos	Año	Chunchi	Compud	Pachamama	Achupallas	Guasuntos
70	33,5	39	13	32,8	-	88	40	30,9	400	42,2	23,5
71	26,5	41,2	7	53,8	-	89	33,7	48,5	52,9	29,2	20,5
72	36,73	49,7	89,3	61,6	-	90	21,2	27,4	34,5	24,6	11
73	90,8	46	30,2	33,5	-	91	16,2	36,6	26,6	21,1	18,4
74	21,2	-	40,2	-	-	92	38	26,7	27,4	30	29,7
75	39,2	27,2	102	54,4	-	93	30	49,4	50,2	32,8	24,2
76	-	42,7	34,1	40,3	-	94	22	33,2	31,9	44,3	22,5
77	17,4	22,7	42,1	22,6	-	95	24	60,2	-	40,8	28,3
78	28,2	33,2	53,8	40,3	-	96	12	31	18,8	28,6	22
79	27,4	29	23	38	-	97	24	41,9	25,2	31	30,4
80	80,9	41,9	34	90	16,7	98	24	59,8	51,3	48,9	42,5
81	35,6	-	38	24,4	40	99	19	34	34,5	40	28,8
82	39	48,5	62	32,1	35	00	50,4	48	27,8	35,2	36,2
83	42,4	90,1	402,1	40	55,2	01	50,4	41,2	-	21,1	41,6
84	18	30,7	217,8	68,4	20,5	02	18,2	44,6	-	26,8	28,6
85	22	30	32,2	14,8	26,2	03	23,2	52,6	-	26,6	28,4
86	22,6	27,2	96	39,2	19,8	04	78	48,4	-	20,9	23,5
87	34,1	49,5	130,5	48	51,8	05	-	29,8	-	36,9	25

Para el análisis detallado de estas precipitaciones máximas se ha empleado el programa informático de “**Cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas**” (CHAC) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento. Las leyes de frecuencia que presenta el programa son las que aparecen reseñadas en la tabla VI.2:

**Tabla VI.2: Leyes de frecuencia disponibles en el programa CHAC**

LEYES DE FRECUENCIA	CÓDIGO
Ley SQRT por método de máxima verosimilitud.	SQRT
Normal por método de momentos (MOM)	NORMAL
Ley logPearson III por método individual por sesgo muestral.	LP III
Ley de Gumbel por método de momentos (MOM)	GUMBEL MOM
Ley de Gumbel por método de máxima verosimilitud (ML).	GUMBEL ML
Ley de Gumbel por método de momentos ponderados (PWM).	GUMBEL PWM
Ley de valores extremos generales (GEV) por método de momentos (MOM)	GEV MOM
Ley de valores extremos generales (GEV) por método máxima verosimilitud (ML)	GEV ML
Ley de valores extremos generales (GEV) por método momentos ponderados (PWM).	GEV PWM

Se ha trabajado con los datos pertenecientes a la estación de Compud, al considerarla representativa de la cuenca al estar situada en el centro y a una elevación de 2860 m. Para los datos disponibles, las leyes de frecuencia aportan los resultados detallados en la tablaVI.3 y representados en los gráficos posteriores.

Tabla VI.3: Datos obtenidos a partir del programa CHAC para la estación de Compud.

T	SQRT	NORMAL	LP III	GUMBEL MOM	GUMBEL ML	GUMBEL PWM	GEV MOM	GEV ML	GEV PWM
2	38	41	38	39	39	39	38	38	39
5	50	52	50	50	49	50	50	49	50
10	58	58	58	58	57	58	57	58	58
25	69	64	69	68	66	68	68	69	68
50	78	68	77	75	72	75	76	78	76
100	88	71	86	82	79	82	84	87	84
200	97	74	95	89	85	89	93	98	92
500	111	78	107	98	94	99	104	112	103
1000	123	81	118	105	101	106	113	124	111
2000	134	84	129	112	107	113	123	137	120

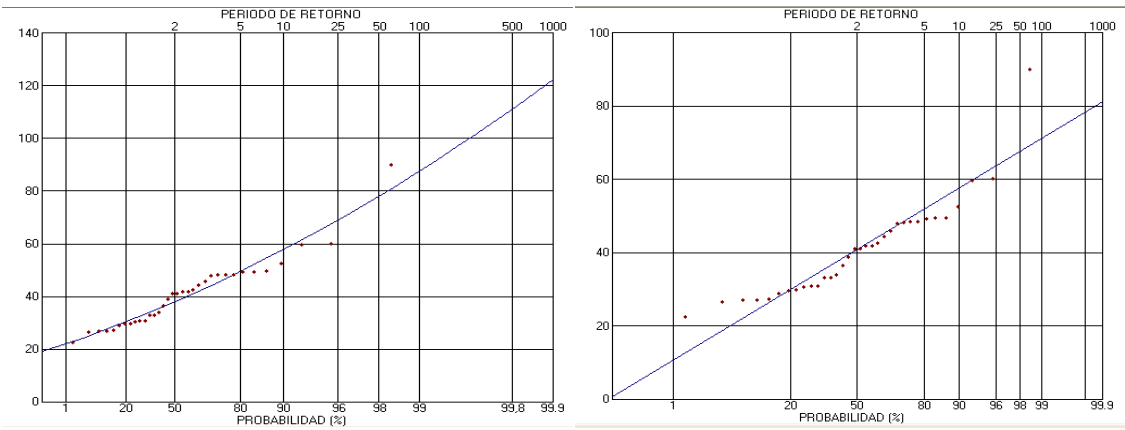


Figura VI.2: Ajuste de la ley de frecuencia SQRT y NORMAL para la estación de Compu

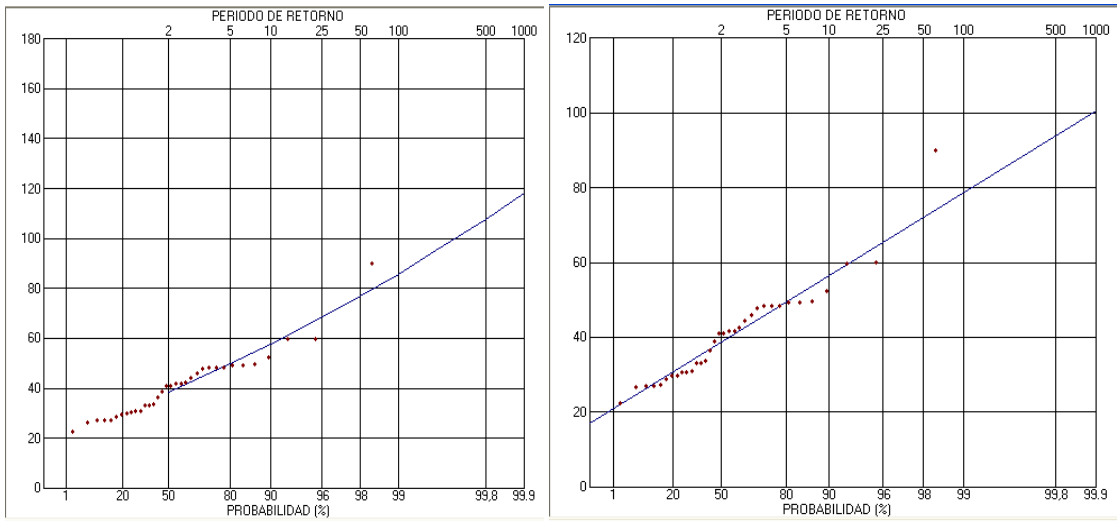


Figura VI.3: Ajuste para la ley de frecuencia LP III y GUMBEL ML para la estación de Compu

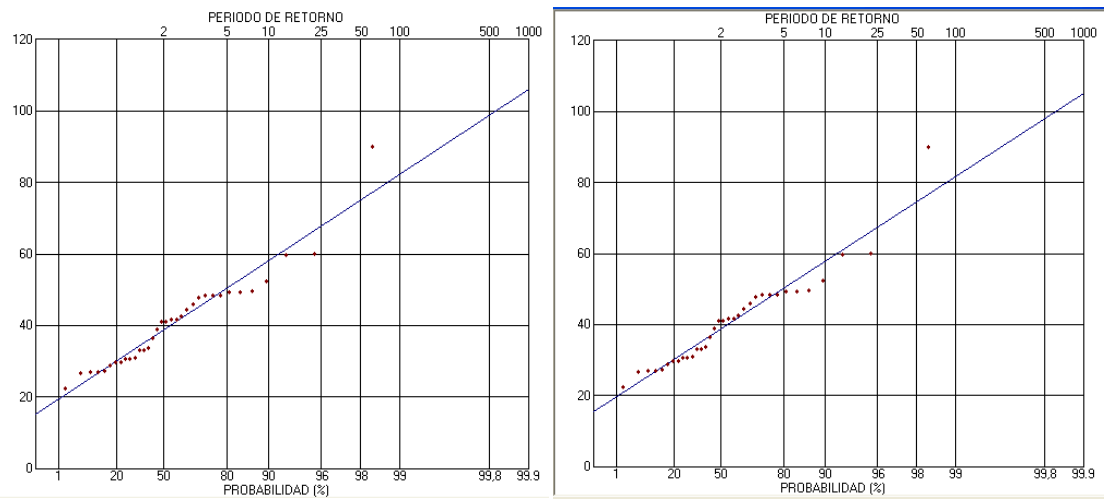


Figura VI.4: Ajuste de la ley de frecuencia GUMBEL PWM y GUMBEL MOM para la estación de Compu.



COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

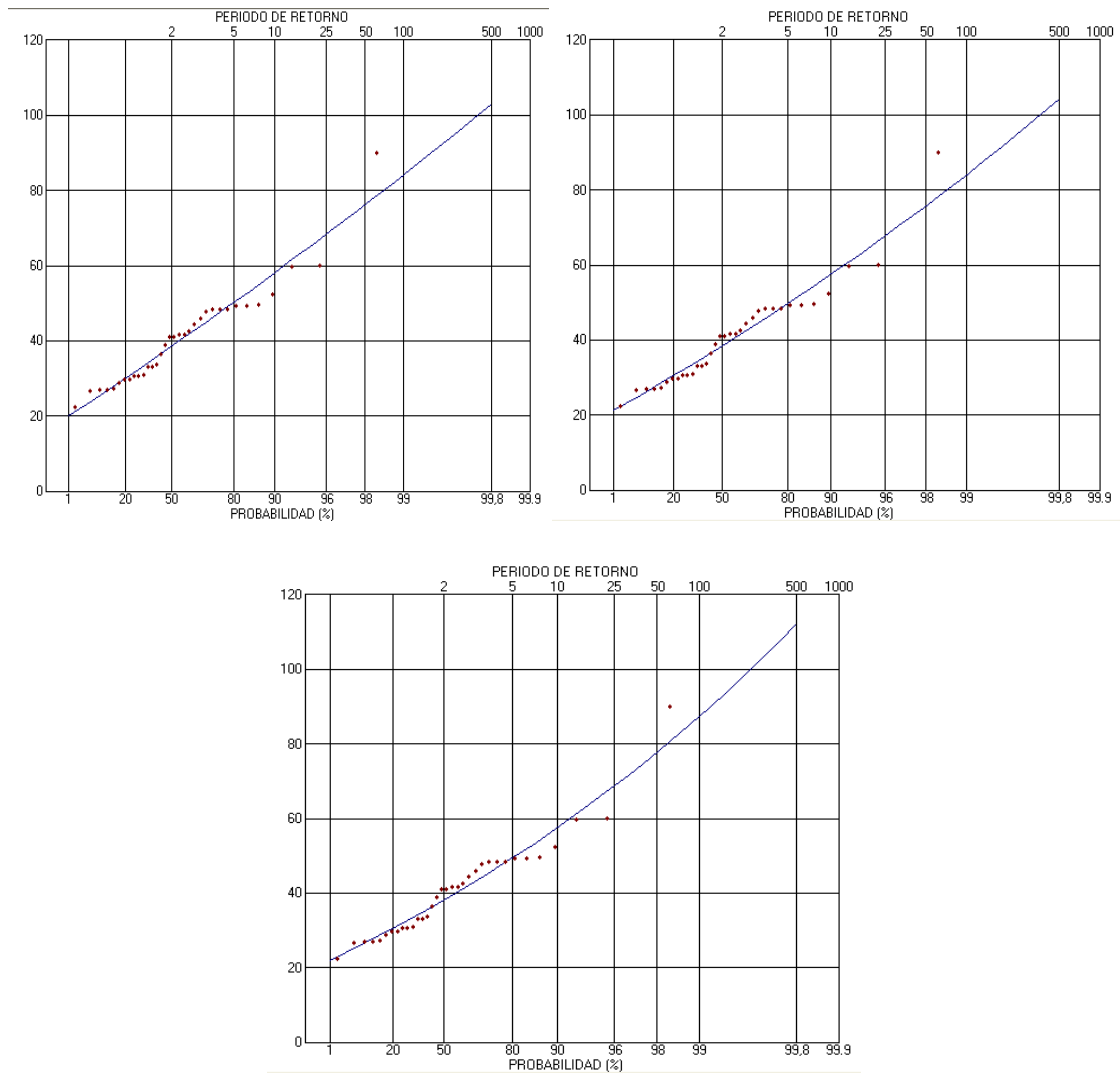


Figura VI.5: Ajuste de la ley de frecuencia GEV ML, GEV MOM y GEV PWM para la estación de Compud

Se ha decidido trabajar con la ley de frecuencia SQRT por el buen ajuste que da tanto para la nube de puntos como para el dato de 90 mm. Al ser la función de ajuste una curva, el valor aumenta mucho más según aumenta el período de retorno que si ajustamos con una función recta (como es el caso de la Gumbel).

b. CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24H Y PRECIPITACIONES EN INTERVALOS MENORES DE TIEMPO.

Para la elaboración de las curvas intensidad-duración-frecuencia (I-D-F) es necesario calcular previamente las intensidades máximas en 24h, asociadas a las precipitaciones usadas anteriormente, lo que se calcula a partir de la fórmula

$$I_{24} = \frac{P_{24}}{24}$$

Las precipitaciones para intervalos menores de tiempo, necesarias para la elaboración de las curvas IDF se han calculado a partir de la fórmula de **De Salas** (2006)

$$I_t = I_{24} \cdot K \left(\frac{24^a - t^a}{24^a - 1} \right)$$

Donde,

a, parámetro regionalizado en principio para la península ibérica, pero que para la cuenca del río Guabalcón se ha podido estimar en 0,1.

t, es la duración de la precipitación en horas

K, es un parámetro regionalizado para la península ibérica, cuyo valor es el cociente $\frac{I_1}{I_{24}}$,

donde I_1 es la intensidad máxima en una hora e I_{24} es la intensidad máxima en 24 horas.

A través del estudio de las tormentas aisladas en 5 estaciones diferentes dentro de la cuenca, que aparece resumido en el Anexo 4, se ha estimado un valor aproximado de 7.

Los valores de las precipitaciones máximas de diferente duración y para los distintos periodos de retorno aparecen recogidos en la tabla VI.4. Estos valores se han utilizado para el cálculo de las curvas INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) que se muestran para cada periodo de retorno en la figura VI.6.



Tabla VI.4: Intensidades obtenidas a partir de la fórmula de De Salas para los distintos periodos de retorno

	Duración de la Precipitación											
	10min	15min	20min	30min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h	24 h
T=2	26,48	21,73	19,13	15,70	11,08	7,63	6,06	5,11	4,47	3,99	2,56	1,58
T=5	34,84	28,59	25,17	20,66	14,58	10,04	7,97	6,73	5,88	5,26	3,36	2,08
T=10	40,42	33,17	29,20	23,97	16,92	11,65	9,25	7,81	6,82	6,10	3,90	2,42
T=25	48,08	39,46	34,74	28,51	20,13	13,85	11,00	9,29	8,11	7,25	4,64	2,88
T=50	54,35	44,61	39,27	32,23	22,75	15,66	12,44	10,50	9,17	8,20	5,25	3,25
T=100	61,32	50,33	44,30	36,36	25,67	17,67	14,03	11,84	10,35	9,25	5,92	3,67
T=200	67,60	55,47	48,83	40,08	28,29	19,48	15,46	13,05	11,41	10,19	6,52	4,04
T=500	77,35	63,48	55,88	45,87	32,38	22,29	17,70	14,94	13,05	11,67	7,46	4,63
T=1000	85,71	70,34	61,92	50,82	35,88	24,70	19,61	16,55	14,47	12,93	8,27	5,13

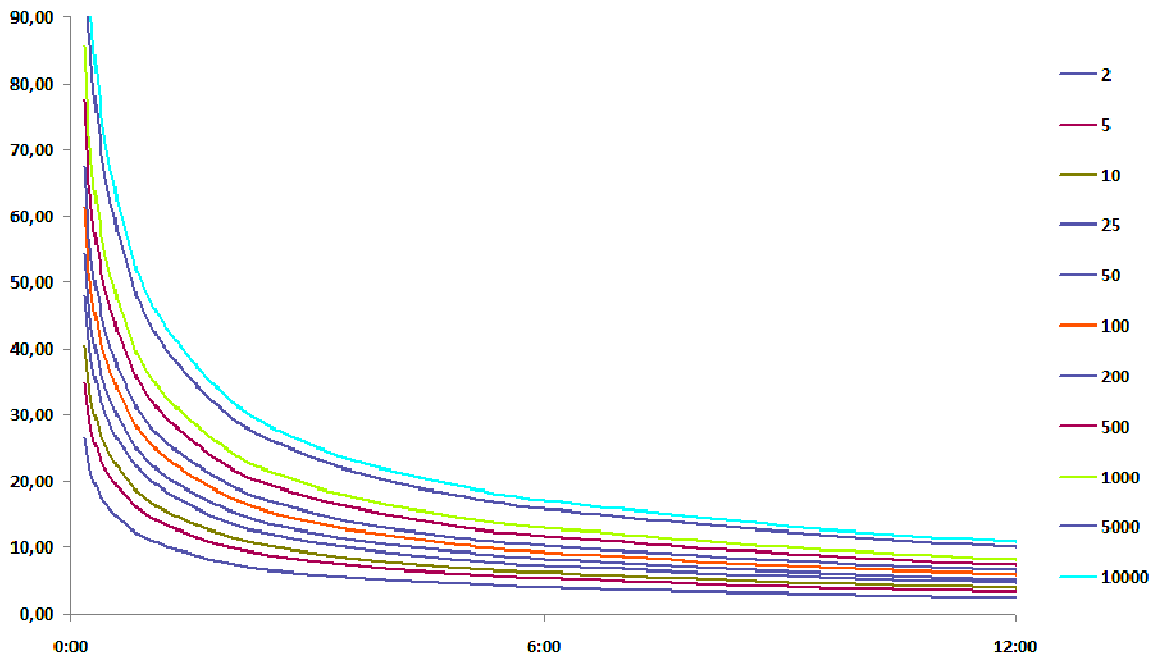


Figura VI.6: Curvas IDF obtenidas a partir de la fórmula de De Salas.

c. DEFINICIÓN DE LOS HIETOGRAMAS DE TORMENTA.

Los hietogramas de tormentas se pueden obtener de manera directa, a partir de los datos de pluviógrafo, donde se muestra una distribución temporal de la precipitación, o estimados a partir de datos estadísticos de precipitaciones máximas en 1 y 6 horas (P_1 y P_6 respectivamente), obtenidos a través de las curvas IDF.

Hietograma tipo

La construcción del hietograma de tormenta tipo de 6 horas de duración se ha realizado a partir de la distribución de precipitación propuesta por el **U.S.D.A. Soil Conservation Service**, que se muestra en la tabla VI.5:

Tabla VI.5: Diseño de tormenta tipo propuesta por la U.S.D.A Soil Conservation Service

	Intervalos (h)	Incremento de lluvia (mm)
	0-1	$0,15 * \delta$
	1-2	$0,17 * \delta$
	2-3	$0,19 * \delta$
(a)	3-3,5	$P_{0,5}$
	3,5-4	$P_1 - P_{0,5}$
(b)	3-4	P_1
	4-5	$0,32 * \delta$
	5-6	$0,17 * \delta$

Donde,

- (a) Estos intervalos se consideran solamente cuando el $t_c < 2,5$ h.
- (b) Id. Se utiliza cuando el tiempo de concentración es $t_c > 2,5$ h.

$\delta = P_6 - P_1$, donde P_6 es la precipitación máxima en 6 horas, obtenida de las curvas IDF y P_1 es la precipitación máxima en 1 hora, obtenida de igual manera.

$P_{0,5}$ es la precipitación máxima en media hora.



En el caso de la cuenca del río Guabalcón, el tiempo de concentración es mayor a 2,5 h.

Las precipitaciones así obtenidas para cada periodo de retorno se muestran en la tabla VI.6:

Tabla VI.6: Tormentas de 6 horas de duración para los distintos periodos de retorno.

		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años	
Intervalo (horas)	$\Delta(T)$	12,88	16,95	19,66	23,39	26,44	29,83	32,88	37,62	
	0-1	0,15 Δ	1.93	2.54	2.95	3.51	3.97	4.47	4.93	5.64
	1-2	0,17 Δ	2.19	2.88	3.34	3.98	4.49	5.07	5.59	6.40
	2-3	0,19 Δ	2.45	3.22	3.74	4.44	5.02	5.67	6.25	7.15
	3-4	P1	11.08	14.58	16.92	20.13	22.75	25.67	28.29	32.38
	4-5	0,32 Δ	4.12	5.42	6.29	7.48	8.46	9.54	10.52	12.04
	5-6	0,17 Δ	2.19	2.88	3.34	3.98	4.49	5.07	5.59	6.40

Hietograma por el método de bloques alternos

El método de bloques alternos propuesto por **Chow** (*alternating block method*, Chow et al. 1994) propone la construcción del hietograma de tormenta a partir de las intensidades de las curvas IDF con una distribución como la que se detalla en la tabla VI.7:

Tabla VI.7: Diseño de tormenta según el método de bloques alternos propuesto por Chow et al. 1994

t(h)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP
1	I_1	$P_1 = I_1$	P_1
2	I_2	$P_2 = 2 * I_2$	$P_2 - P_1$
3	I_3	$P_3 = 3 * I_3$	$P_3 - P_2$
4	I_4	$P_4 = 4 * I_4$	$P_4 - P_3$
5	I_5	$P_5 = 5 * I_5$	$P_5 - P_4$
6	I_6	$P_6 = 6 * I_6$	$P_6 - P_5$

Para la construcción del hietograma se colocan los datos de lluvias que aparecen en la última columna de la tabla 8 de tal manera que el incremento de lluvia más elevado corresponda a la lluvia de la hora central de la precipitación, el segunda más elevado a la hora siguiente a esta, el siguiente a la hora anterior a la de la precipitación central y así sucesivamente.

Para los datos de la estación de Compud resultaría, para cada periodo de retorno, la tormenta que aparece reconstruida en la tabla VI.8. Estas tormentas se utilizarán en el siguiente apartado para el cálculo de los caudales máximos de avenida.

Tabla VI.8: Hietogramas de tormenta de 6 horas de duración para los distintos periodos de retorno calculados a partir del método de bloques alternos.

intervalo	1	2	3	4	5	6
T	$P_5 - P_4$	$P_3 - P_2$	P_1	$P_2 - P_1$	$P_4 - P_3$	$P_6 - P_5$
2	1,89	2,91	11,08	4,18	2,28	1,62
5	2,49	3,83	14,58	5,50	3,00	2,13
10	2,88	4,45	16,92	6,38	3,48	2,47
25	3,43	5,29	20,13	7,58	4,14	2,94
50	3,88	5,98	22,75	8,57	4,68	3,32
100	4,37	6,75	25,67	9,67	5,28	3,75
200	4,82	7,44	28,29	10,66	5,82	4,13
500	5,52	8,51	32,38	12,20	6,66	4,73
1000	6,11	9,43	35,88	13,52	7,38	5,24

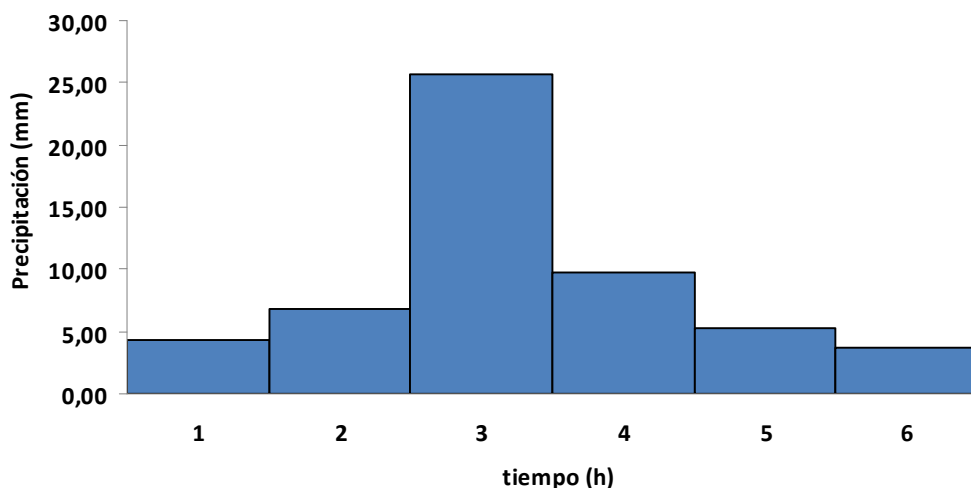


Figura VI.7: Hietograma de tormenta de 6 horas de duración para un periodo de retorno de 100 años elaborado a partir del método de bloques alternos.



Tormentas reales

La estación de Compud posee una serie histórica de datos diarios que no son de utilidad a la hora de aislar tormentas. Por ello para este apartado se han utilizado los datos de la estación de Tinajeras y Piñancay, que aunque cuentan con una serie limitada en el tiempo, los registros son cada 5 minutos. Se ha trabajado sobre los registros efectuados durante el año 2007 y enero 2008, aislándose las tormentas de mayor intensidad y duración (tabla VI.9). Se han escogido las mismas tormentas en ambas estaciones, para poder después utilizar éstas como información de partida para la calibración de los parámetros necesarios en el cálculo de los caudales de avenida.

Tabla VI.9: Tormentas (mm) del año 2007.

	4 Abril	13 Abril	28 abril	20 Mayo
Tinajeras	22,2	13,2	17	25,8
Piñancay	3,8	8	0,2	11,5





2. ANALISIS Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES LÍQUIDOS

a. REGIMEN HIDROLÓGICO ORDINARIO

El agua que llega a la cuenca en forma de precipitación es la responsable directa de las escorrentías. Pero no toda el agua que llega a la cuenca en forma de precipitación se transforma en escorrentía; de ahí que se realice a continuación un balance hídrico basado en la metodología propuesta por **Thornthwaite**. Mediante este cálculo se han obtenido valores que podrían considerarse caudales base en la sección de salida del río Guabalcón.

Para el cómputo de la ficha hídrica se han utilizado los datos de temperatura de la estación meteorológica de Chunchi, ya descritos en el apartado de condiciones climáticas. Con ellos se ha obtenido una evapotranspiración por el **método de Thornthwaite** que es más aconsejable para cálculos a escala que las ecuaciones de **Blaney-Criddle** o **Penman-Monteith**. A nivel parcela estas dos últimas ecuaciones dan cifras muy ajustadas, pero para realizar un balance a gran escala no son apropiadas, ya que la vegetación nunca cubre el suelo ni es tan homogénea como en una parcela de experimentación y sobreestiman el valor de la evapotranspiración.

La capacidad de campo es un dato de partida esencial a la hora del cálculo del balance hídrico. Ésta se ha obtenido a partir de los análisis edafológicos realizados por el laboratorio del PROMAS sobre muestras en distintas partes de la cuenca. Se ha dividido la cuenca en 7 zonas en relación al tipo de suelo y a la vegetación que presentan y para cada una de éstas se ha realizado un balance hídrico con el dato de capacidad de campo correspondiente. La capacidad de campo utilizada para cada zona viene recogida en la tabla VI.10. La aportación global de la cuenca se ha calculado a través de la superficie que ocupa cada zona dentro de la cuenca.

Tabla VI.10: Capacidad de campo según el tipo de suelo y vegetación presente.

	SUPERFICIE (ha)	CC (mm/m)	PROFUNDIDAD (cm)	CC final
PÁRAMO	968,572	731	40	292,4
CHAPARRO LEPTOSOL	726,945	273	40	109,2
CHAPARRO CAMBISOL	294,798	306	60	183,6
PASTO LEPTOSOL	694,983	273	40	109,2
PASTO CAMBISOL	2081,705	280	60	168
CULTIVO	968,370	257	30	77,1
MALEZA	473,173	245	30	73,5

La Pluviometría media mensual es el dato de partida restante. A partir de estos datos se van calculando consecutivamente parámetros como

- Pérdidas potenciales de la humedad del suelo (P-ETP);
- Pérdida potencial acumulada (p.p.a.);
- Agua almacenada en el suelo (ST), que depende de la capacidad de campo y de las pérdidas potenciales acumuladas;
- Cambios en la humedad acumulada en el suelo (Δ ST);
- Evapotranspiración real (ETR);
- Déficit de humedad (D);
- Exceso de humedad (S), y
- Escorrentía total (R);

Se ha realizado en primer lugar el balance con los datos de precipitación de Tinajeras del año 2007. La finalidad ha sido obtener unos caudales que pudiesen ser comparados con los datos aforados en la estación de Piñancay para ese mismo año (meses de Abril a Diciembre). Como se puede apreciar en la figura VI.8 los caudales teóricos se ajustan convenientemente a los aforados. Considerando el porcentaje de escorrentía de cada mes igual al 80% de la suma de la aportación mensual más lo que queda de los meses anteriores.

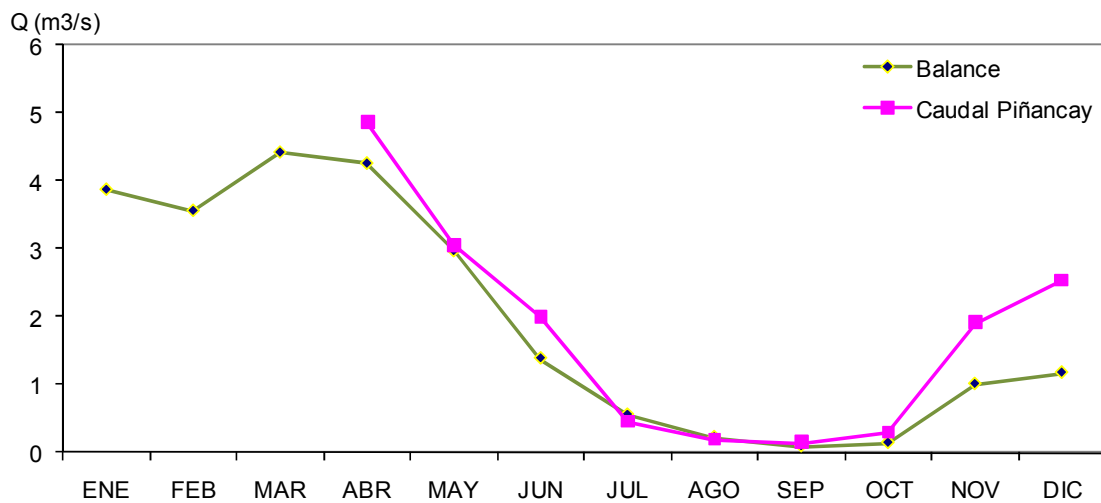


Figura VI.8: Comparativa entre la aportación real en Piñancay y el balance hídrico realizado con los datos de la estación Tinajeras correspondientes al año 2007.

Sin embargo no se puede considerar este balance como el más representativo de la cuenca, puesto que se ha realizado sobre tan solo un año de datos de precipitación. Sin embargo, la estación de Compud es idónea para el cálculo, por estar situada en el centro de la cuenca y por tener una serie histórica de precipitaciones de 35 años. El año medio, que se presentó para esta serie histórica en el apartado de condiciones climáticas, es el que se ha utilizado como dato de partida en el balance. La figura VI.9 muestra la aportación mensual de la cuenca y la tabla VI.11 la aportación de cada una de las subcuencas a la escorrentía final.

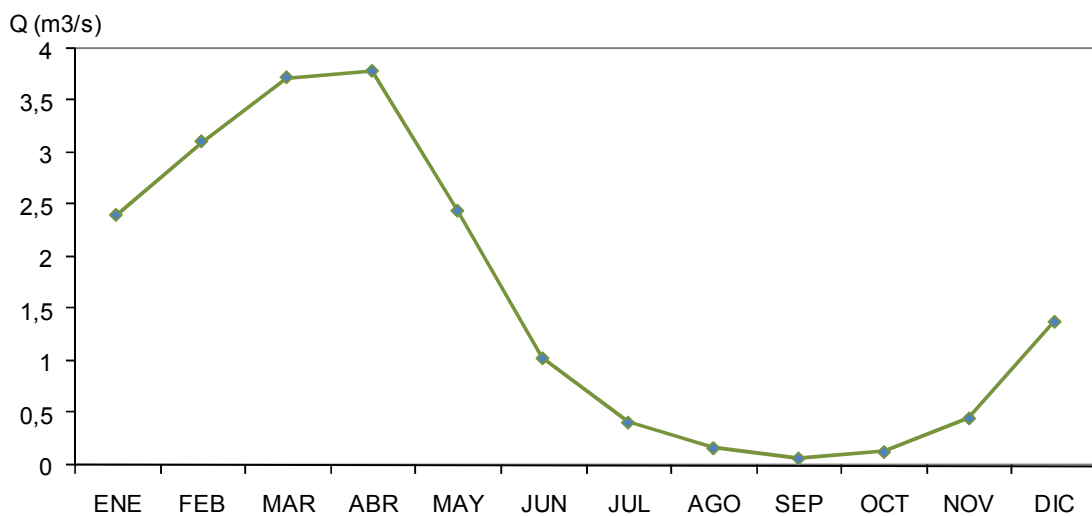


Figura VI.9: Balance hídrico realizado a partir de los datos de precipitaciones medias en la estación de Compud.

Tabla VI.11: Aportaciones de las respectivas zonas en m3/s.

	PÁRAMO	CHAP_LEPT	CHAP_CAMB	PASTO_LEPT	PASTO_CAMB	CULTIVO	Total mensual
ENE	0,54	0,24	0,10	0,23	0,69	0,61	2,40
FEB	0,75	0,35	0,14	0,33	0,99	0,55	3,11
MAR	0,88	0,41	0,17	0,40	1,18	0,68	3,72
ABR	0,90	0,43	0,17	0,41	1,22	0,66	3,79
MAY	0,59	0,27	0,11	0,26	0,77	0,45	2,44
JUN	0,26	0,11	0,04	0,10	0,31	0,21	1,03
JUL	0,10	0,04	0,02	0,04	0,12	0,08	0,41
AGO	0,04	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,16
SEP	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,07
OCT	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,13
NOV	0,15	0,03	0,01	0,03	0,08	0,15	0,45
DIC	0,38	0,16	0,06	0,15	0,45	0,18	1,38
Total	4,70	2,06	0,83	1,97	5,89	3,64	19,09
por zona							
%	24,6	10,8	4,4	10,3	30,8	19,1	



b. CAUDALES MÁXIMOS

Al estudio del régimen hidrológico ordinario que se acaba de plantear, hay que añadirle un estudio de caudales máximos de avenida que sirva para establecer un rango de valores sobre los que dimensionar las obras hidráulicas, que se propongan en la ordenación y corrección de los cauces. Como los datos de caudales reales aforados son escasos, se hace necesario el cálculo de estos de una manera sintética.

Los caudales de avenida se han calculado a partir de las tormentas diseñadas a través del método de Bloques, descritas en el apartado de precipitaciones extremas, por lo que van a venir por ello asociados a un periodo de retorno determinado.

El cálculo de los caudales de avenida se ha realizado con el programa HEC-HMS. Ello ha requerido la calibración de diferentes parámetros que intervienen en el método del Número de Curva utilizado para el cálculo de la precipitación efectiva; en el método del hidrograma unitario, para el cálculo del hidrograma de salida y en el método de Muskingum, utilizado para la conducción de hidrogramas. La calibración de estos parámetros se ha realizado a partir de tormentas y los datos de caudales aforados correspondientes. Se ha dividido la cuenca en dos subcuencas, y se ha asignado a cada una, una estación de datos pluviométricos; Tinajeras para la subcuenca de Sagüin y Piñancay para la subcuenca de Piñancay. Cada subcuenca tiene la salida situada en una estación de aforo que lleva el nombre de la respectiva subcuenca. Se ha intentado modelar cada una de las tormentas en cada una de las subcuencas y ajustar el resultado al dato de aforo. El proceso de calibración y su resultado viene detallado en el Anexo 5.

Con estos parámetros de entrada, obtenidos a partir de la calibración, se han calculado los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno con la aplicación informática HEC-HMS para las dos subcuencas descritas siguiendo el procedimiento que se detalla en la figura VI.10.

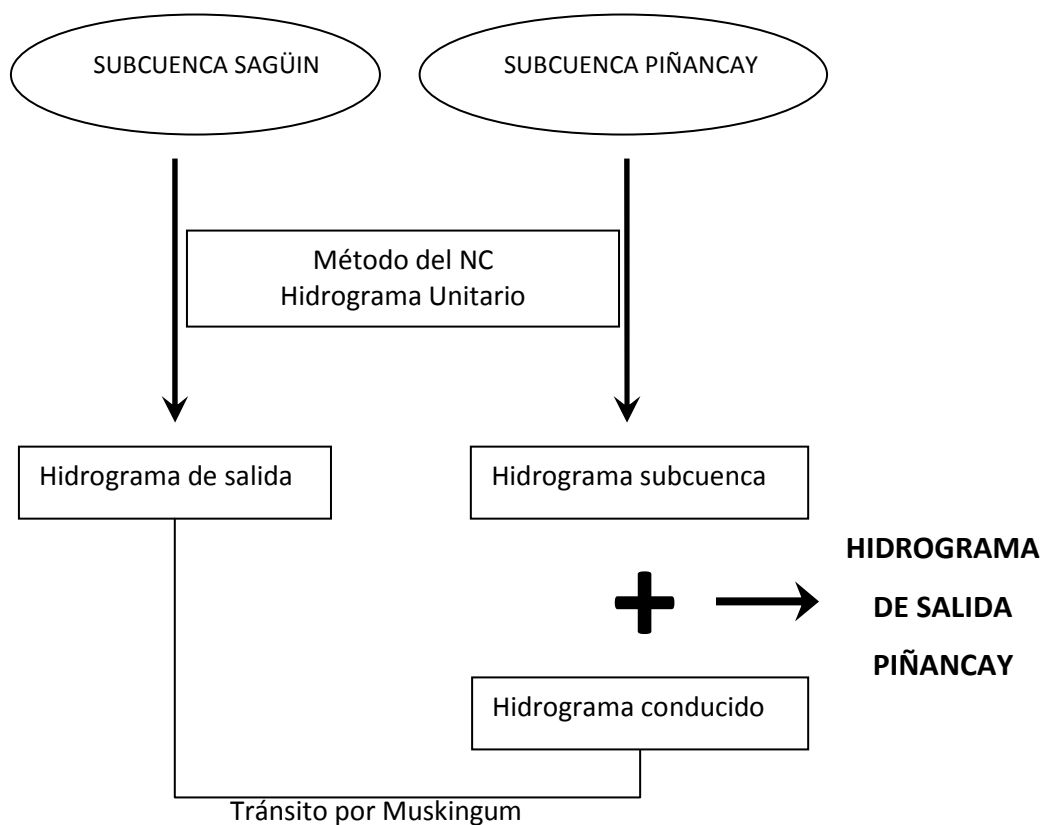


Figura VI.10: Esquema de cálculo de caudales máximos para la cuenca del río Guabalcón.

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA DEL SCS

El método se basa en la idea de que la precipitación efectiva o escorrentía directa P_e , es siempre menor o igual a la precipitación bruta P y que existe una cantidad de precipitación P_0 , (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurre escorrentía. La ecuación propuesta por el método para el cálculo de la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_e = \frac{(P - P_0)^2}{P - P_0 + S}$$

El método para el cálculo de la lluvia efectiva utilizado en ambas subcuencas ha sido el desarrollado por la **USDA Soil Conservation Service** (1972), organismo que actualmente se conoce como Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU.



Donde S es la retención potencial máxima del agua en el suelo. La relación determinada de manera experimental entre S y P_0 a partir del estudio de numerosas cuencas es $P_0 = 0,2 \cdot S$, por tanto la ecuación queda expresada finalmente como

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P - 0,8 \cdot S}$$

Esta retención máxima S (mm) se calcula a partir del Número de Curva (NC) según la expresión

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$

MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS

A partir de esta precipitación efectiva P_e se calcula el caudal de salida para cada subcuenca a través del **Método del Hidrograma Unitario del S.C.S.**, concretamente el Hidrograma triangular adimensional.

Se entiende por *Hidrograma Unitario* de una cuenca al hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca, si sobre ella se produjera una precipitación efectiva (o neta) unidad de una duración determinada. Esta precipitación se considera que cae de manera constante y uniforme sobre toda la superficie vertiente. Tras estas consideraciones de partida se detalla a continuación la metodología y los parámetros que intervienen, que vienen esquematizados en la figura VI.11.

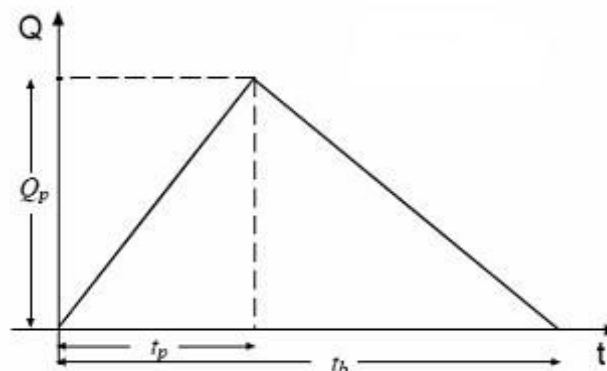


Figura VI.11: Hidrograma sintético triangular del SCS.

Tabla VI.12: Ecuaciones para el cálculo del Hidrograma sintético triangular.

TIEMPO PUNTA t_p (h)	TIEMPO BASE t_b (h)	CAUDAL PUNTA Q_p (m^3/s)
$t_p = 0,5 \cdot D + 0,6 \cdot t_c$	$t_b = 2,67 \cdot t_p$	$Q_p = \frac{0,208 \cdot P \cdot A}{t_p}$
<ul style="list-style-type: none"> ○ t_c, tiempo de concentración en horas ○ D, duración de la precipitación efectiva en horas, ○ P, precipitación efectiva en mm. ○ A, superficie de la cuenca en Km^2 		

El hidrograma unidimensional consiste en normalizar los valores de caudal y tiempo respecto al valor de Q_p y t_p respectivamente.

TRÁNSITO DE AVENIDAS SEGÚN EL MÉTODO DE MUSKINGUM

El tránsito de los hidrogramas representa el desplazamiento del flujo a través de un tramo del cauce. Parte de la ecuación de continuidad del flujo:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - Q_t$$

Donde,

dS/dt ,es la variación en el tiempo del volumen de agua almacenada en un depósito lineal

I_t , es el caudal entrante en el instante t

Q_t , es el caudal saliente en el instante t.

Este modelo representa el volumen de almacenamiento constituido por dos sumandos: uno de almacenamiento en prisma y otro en cuña., tal como se esquematiza en la figura VI.12. Durante la fase de crecimiento del hidrograma, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, produciéndose un almacenamiento en forma de cuña positiva. Por el contrario, durante la fase de recesión, el caudal de salida es mayor que el de entrada, dando como resultado el



desarrollo de una cuña negativa. Además, existe un almacenamiento en prisma a lo largo de la longitud del cauce.

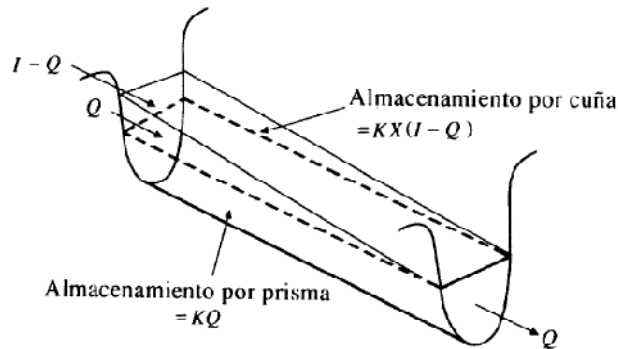


Figura VI.12: Almacenamiento en prisma y cuña en un tramo del cauce.

Suponiendo que el área de la sección transversal del flujo es directamente proporcional al caudal circulante, el volumen de almacenamiento en prisma resulta igual a $K \cdot Q$, siendo K un coeficiente de proporcionalidad. En cuanto al volumen de almacenamiento en cuña, su valor es igual a $KX(I - Q)$, en donde X es un factor de ponderación ($0 \leq X \leq 0,5$). El almacenamiento total se puede poner, por lo tanto, en la forma:

$$S = KQ + KX(I - Q) = K(XI + (1 - X)Q)$$

El parámetro K representa el tiempo de recorrido de un hidrograma o de una onda de crecida a lo largo del tramo de estudio, mientras que el valor de X depende de la forma del almacenamiento en cuña, de manera que un valor de $X = 0$ está asociado con un almacenamiento tipo embalse, mientras que un valor de $X = 0,5$ corresponde a una cuña totalmente desarrollada. Ambos parámetros (K y X) son los únicos que intervienen en la definición del modelo y sus valores han sido calibrados en el Anexo 5.

RESULTADOS

En la tabla VI.13 se recogen los valores obtenidos para los parámetros a partir de la calibración realizada para cada una de las subcuencas.

Tabla VI.13: Parámetros calibrados para las dos subcuencas de estudio.

		SAGÜIN	PIÑANCAY
NC (II)		84	90
t_c (h)		0,65	2
CONDUCCIÓN	X		0,2
	K		1,5

En la tabla VI.14 aparecen los caudales punta para cada una de las subcuencas y en la figura VI.13 se han representado los hidrogramas de salida para cada periodo de retorno.

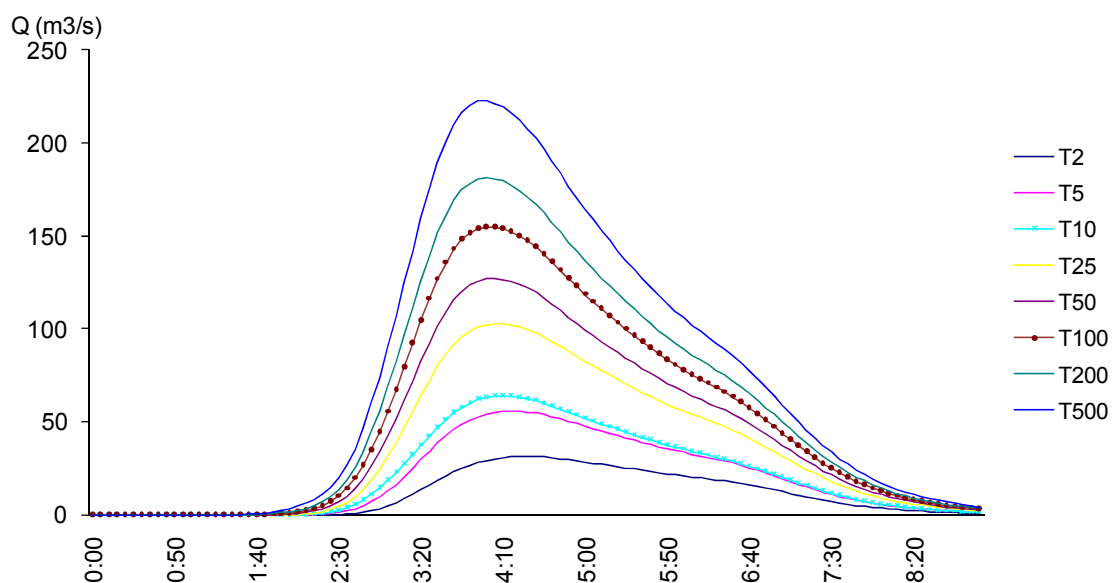


Figura VI.13: Hidrogramas de salida en Piñancay para los diferentes periodos de retorno.



Tabla VI.14: Caudales punta y escorrentía para cada una de los periodos de retorno en las dos subcuencas.

		SAGÜIN	PIÑANCAY	SALIDA
T	Área (Km²)	13,27	44,08	57,35
2	Q (mm)	3,29	7,17	6,26
	qp (m ³ /s)	4,57	27,55	31,03
5	Q (mm)	11,22	48,49	55,88
	qp (m ³ /s)	6,84	12,32	11,04
10	Q (mm)	9,66	16,1	14,59
	qp (m ³ /s)	16,65	64,09	74,65
25	Q (mm)	13,97	21,6	19,81
	qp (m ³ /s)	24,94	86,91	102,5
50	Q (mm)	17,82	26,31	24,31
	qp (m ³ /s)	32,26	106,59	126,83
100	Q (mm)	22,34	31,69	29,49
	qp (m ³ /s)	40,98	129,09	154,85
200	Q (mm)	26,61	36,67	34,3
	qp (m ³ /s)	49,28	150,01	181,04
500	Q (mm)	33,54	44,56	41,96
	qp (m ³ /s)	62,68	183,12	222,7
1000	Q (mm)	39,7	51,45	48,67
	qp (m ³ /s)	74,51	211,89	259,27





3. ESTUDIO Y ESTIMACIÓN DE LOS PROCESOS EROSIVOS

a. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN LAMINAR Y EN REGUEROS; MODELO USLE

Para la ordenación sustentable de los usos del suelo de la cuenca se hace necesario estimar la erosión del suelo en la misma. Según la **FAO- UNEP** (1978) la degradación del suelo se refiere a la disminución de la capacidad actual o potencial del suelo de producir bienes o servicios. La actividad agrícola ocasiona la remoción total o parcial de la vegetación natural y su sustitución por plantas cultivadas, lo cual conlleva la aplicación de métodos mecánicos, físicos y químicos, cuyas consecuencias pueden dar origen a procesos de degradación de corta duración y reversibles, o de larga duración, que a escala humana pueden resultar irreversibles (**Colotti E., 2004**).

Los tipos de erosión más comunes en la cuenca hidrográfica de recepción son la erosión laminar, que consiste en una remoción de delgadas capas de suelo extendidas más o menos uniformemente por toda la superficie citada; y la erosión en regueros, también llamada en surcos, que se manifiesta por la formación en la superficie del terreno de regueros o surcos, orientados más ó menos normalmente a las curvas de nivel (**Wischmeier, 1978**).

Para analizar y cuantificar estos procesos erosivos y para adoptar eventualmente las medidas de conservación más recomendables, se necesita previamente estimar la tasa de pérdida del suelo. Ésta depende de las lluvias, de las características del suelo, de la topografía del terreno, del tipo de cobertura vegetal y del uso y manejo de los cultivos. La integración más importante de estos factores, se intentó con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos o **U.S.L.E.** (Universal Soil Loss Equation), desarrollada por el U.S.D.A., **Soil Conservation Service** a partir de la década de los años sesenta del siglo pasado, que fue recopilada por **Wischmeier & Smith, (1978)**. Este método permite identificar la susceptibilidad de las diferentes áreas a ser erosionadas, y obtener una tasa de pérdidas de suelo interanual para las mismas. Se ha decidido utilizar este método en vez de la revisión de esta, **RUSLE**, debido a que no se disponían de datos suficientes para el cálculo de los parámetros de esta última ecuación.

La expresión generalizada del modelo U.S.L.E. es la siguiente:

$$A = R \cdot K \cdot (L \cdot S) \cdot C \cdot P$$

Donde:

A, son las pérdidas de suelo interanuales en (t/ha);

R, el índice de erosión pluvial (HJ·cm/m²·hora);

K, el factor erosionabilidad del suelo (t·m²·hora/ha·HJ·cm);

(L S), el factor topográfico;

C, el factor cultivos y /o vegetación;

P, el factor prácticas de conservación de suelos.

FACTOR DE LLUVIA O DE EROSIÓN PLUVIAL: R

Representa la potencia del aguacero para erosionar el suelo. Fue establecido por **Wischmeier** (1959) y se define como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos, dividido por cien.

$$R = \frac{Ec \cdot I_{30}}{100} \left[\frac{(HJ \cdot cm)}{(m^2 \cdot h)} \right]$$

Donde,

Ec, es la energía cinética del aguacero (J/m²)

I₃₀, es la intensidad máxima del aguacero en 30 minutos (cm/h)

Se presenta a continuación la metodología de cálculo para obtener un valor de R interanual para la estación de Compud en el periodo 1970-2005.



Este procedimiento se basa en la expresión desarrollada por **Roldán** (2005), que para una precipitación menor a 140 mm propone la siguiente ecuación para la energía cinética:

$$E_c = 17882(1 - 3.5^{(-3.279 \cdot 10^{-6} \cdot P_{24}^2 - 6.2967 \cdot 10^{-4} \cdot P_{24})})$$

Donde,

E_c , energía cinética en J/m^2

P_{24} , precipitación máxima en 24 h en mm

La intensidad máxima en 24 horas (I_{30}) se calculó mediante la ecuación:

$$I_{30} = \frac{P_{24}}{24} \cdot K \frac{24^{0.1} - 0.5^{0.1}}{24^{0.1} - 1}$$

Donde,

P_{24} , es la precipitación máxima en 24 horas en cm

K , parámetro obtenido empíricamente que para la cuenca del río Guabalcón se estima en 7.

Con el procedimiento seguido se obtiene una R mensual, seguidamente una anual y finalmente se hace un promedio de estas para obtener una R interanual, resultando un valor de 88 $HJ \cdot cm/m^2 \cdot h$.

Adicionalmente, se ha calculado por este mismo procedimiento factores R para las estaciones de Piñancay y Tinajeras, donde se dispone de información de los últimos 2 años. Los valores que se han obtenido son 17 y 93 $HJ \cdot cm/m^2 \cdot h$ respectivamente. En el Anexo 6 se describe una comparativa entre este resultado obtenido a partir de la fórmula de **Roldán** y el obtenido a partir de la fórmula propuesta por **Wishmeier** para aguaceros acaecidos durante el año 2007, que se han aislado de las bandas de pluviografo disponibles en ambas estaciones.

Los valores obtenidos se han dispuesto en un mapa de tal manera que se ha dividido la cuenca en tres zonas. Se ha tenido en cuenta para esta zonificación los pisos de vegetación ya que

vienen en gran medida influidos por variables climáticas. La distribución final del factor R se ilustra en la figura VI.14.

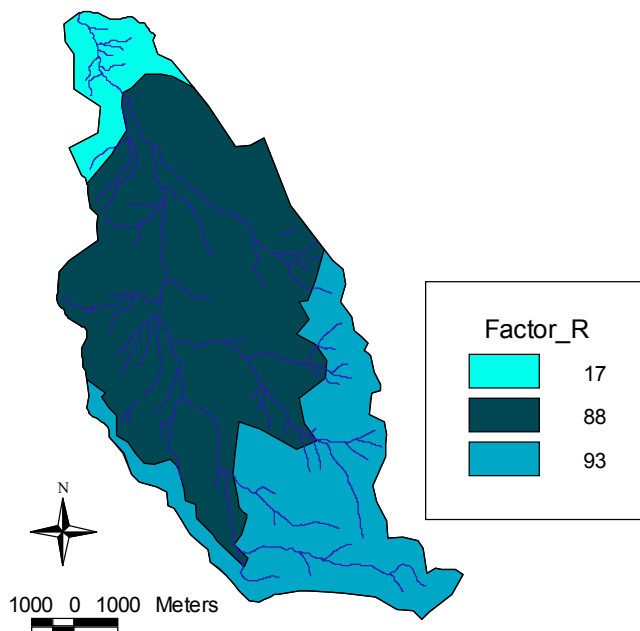


Figura VI.14: Distribución de los valores de R en la cuenca del río Guabalcón

FACTOR DE EROSIONALIDAD DE SUELO: K

Viene definido por la expresión:

$$100 * K = 0.000271 * M^{(1.14)} * (12 - a) + 4.20 * (b - 2) + 3.23 * (c - 3)$$

Donde:

M, es el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0.002 - 0.1 mm de diámetro, expresado en %, por el porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0.002 - 2.0 mm de diámetro, expresado igualmente en %, o lo que es igual a 100 menos el % de arcilla de la muestra;

a, el % de materia orgánica;

b, el número correspondiente a la estructura del suelo codificada de la siguiente manera:

1. Gránulo muy fino y grumo muy fino (<1mm.)
2. Gránulo fino y grumo fino (1 - 2 mm.)



3. Gránulo medio, grumo medio (2 - 5 mm.) y gránulo grueso (5 - 10 mm.)
4. Gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso

Los valores para el % de limo y arena muy fina, % de arena (0.1 - 2.0 mm.), % de materia orgánica y estructura, se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico.

c, clase de permeabilidad del perfil del suelo, según la codificación de la U.S.D.A. - Soil Survey Manual, que diferencia los siguientes grados:

1. Rápida o muy rápida
2. Moderadamente rápida
3. Moderada
4. Moderadamente lenta
5. Lenta
6. Muy lenta

A los andosoles y leptosoles ándicos se les ha asignado un valor correspondiente a 0,04 de acuerdo al estudio realizado por **Armas et al. (2004)**

De acuerdo con todo esto se ha caracterizado la cuenca según se muestra en la figura VI.15:

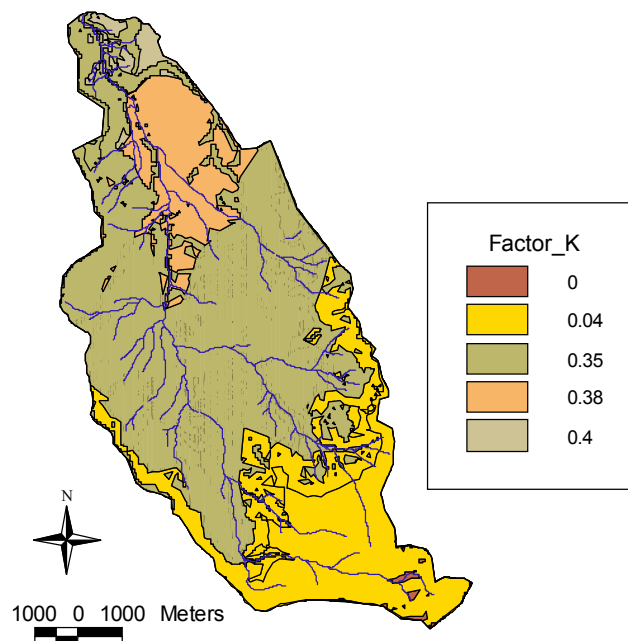


Figura VI.15: Valores del parámetro K para la cuenca del río Guabalcón.

FACTOR TOPOGRÁFICO: (L·S)

Su aplicación inicial estaba pensada para laderas más o menos uniformes. De este modo, para una ladera de pendiente $s < 9\%$ y longitud de pendiente $l < 350$ m los autores propusieron la expresión:

$$L \cdot S = \left[\frac{l}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{0,43 + 0,30 \cdot s + 0,043 \cdot s^2}{6,613} \right]$$

Donde:

l , es la longitud del declive (que se define como la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia hasta aquel en el que la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de los sedimentos)

s , la pendiente media de la ladera.

Para pendientes mayores de 9%, cualquier que sea la longitud del declive, la ecuación anterior se sustituye por la siguiente:

$$L * S = \left(\frac{l}{22.1} \right) * \left(\frac{s}{9} \right)$$

Sin embargo, para simplificar los cálculos de este coeficiente se ha utilizado tabla VI.15 en la que aparecen los valores del factor L·S en relación a la pendiente obtenidos por **Mintegui** (1987):

Tabla VI.15: Valores del factor L·S obtenidos por Mintegui (1987)

Pendiente, S(%)	Factor L·S
100	28,5
70	21,8
60	18,5
30	10,7
24	6,7
18	4,4
12	2,4
3	0,5



Según esta tabla, el parámetro L'S presenta la siguiente distribución:

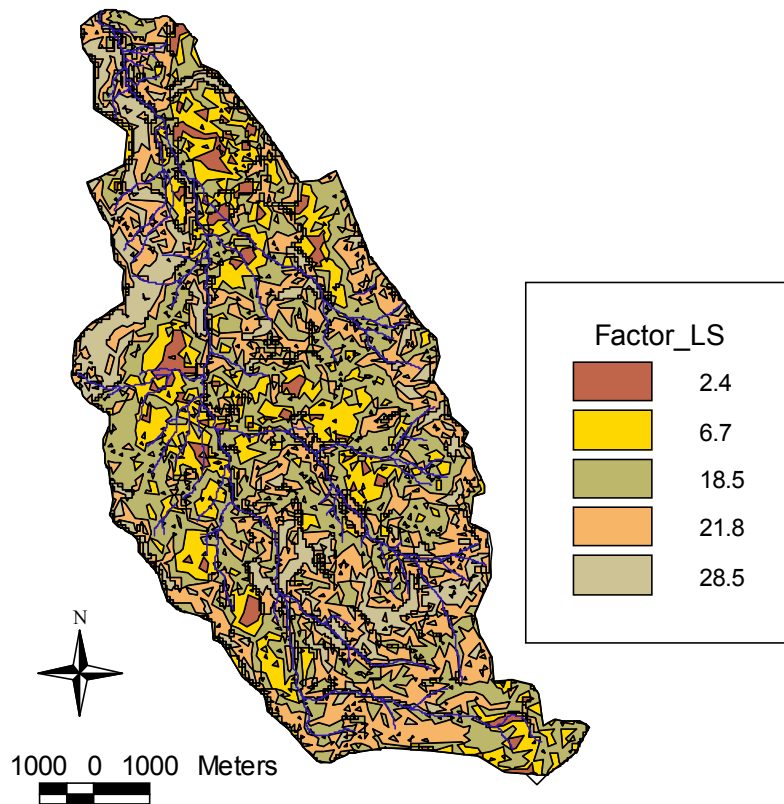


Figura VI.16: Valores del factor L'S en la cuenca del río Guabalcón.

FACTOR CULTIVO O FACTOR VEGETACIÓN: C

Se define por la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo en una parcela cultivada o con vegetación permanente y las que se pierden en la misma parcela sometida a barbecho continuo, para idénticas condiciones de lluvia, suelo y relieve. El factor C representa la protección que proporciona al suelo la vegetación por los siguientes motivos:

- La creación de una cubierta aérea.
- El efecto de cobertura al ras del suelo, que se incrementa cuando las plantas crecen en espesura.
- El tapado del suelo que le proporcionan los restos vegetales, que puede incluso llegar a modificarle algunas de sus propiedades físicas; por ejemplo, un aumento de su porosidad; siempre que éstas no se hayan considerado previamente en el factor K.

El valor de *C* se determina experimentalmente para cada clase de cubierta y en el caso de los cultivos agrícolas no es constante a lo largo del año, estableciéndose para su cálculo los siguientes períodos: barbecho; siembra; establecimiento; crecimiento y maduración y finalmente rastrojo.

Para la determinación del valor *C* para cubiertas se dispone de tablas con los valores de *C* para estos estratos, de igual modo que se dispone para los cultivos agrícolas. Por otra parte, al tratarse de cubiertas permanentes, su valor prácticamente permanece constante a lo largo del año.

Tabla VI.16: Valores de factor C. Fuente: Saborio 2000

Cobertura vegetal y uso de la tierra	Factor C
Bosque denso	0,003 – 0,01
Bosque claro con substrato herbáceo denso	0,003 – 0,01
Bosque claro con substrato herbáceo degradado	0,01 – 0,1
Matorral denso	0,003 – 0,03
Matorral claro con substrato herbáceo denso	0,003 – 0,03
Matorral claro con substrato herbáceo degradado (abierto)	0,03 – 0,10
Páramo	0,003 – 0,04
Pastizal natural completo	0,03 – 0,01
Pastizal natural pastoreado	0,04 – 0,20
Pastizal cultivado (manejado)	0,003 – 0,04
Terrenos desprovistos de vegetación	0,90 – 1,0
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)	0,30 – 0,80
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)	0,40 – 0,90
Cultivos permanentes asociados (densos)	0,01 – 0,3
Cultivos permanentes no densos	0,10 – 0,45
Huertos de subsistencia	0,30 – 0,90

Según estos valores propuestos por **Saborio 2000**, la distribución espacial del factor *C* para la cuenca del río Guabalcón se muestra en la figura VI.17.:

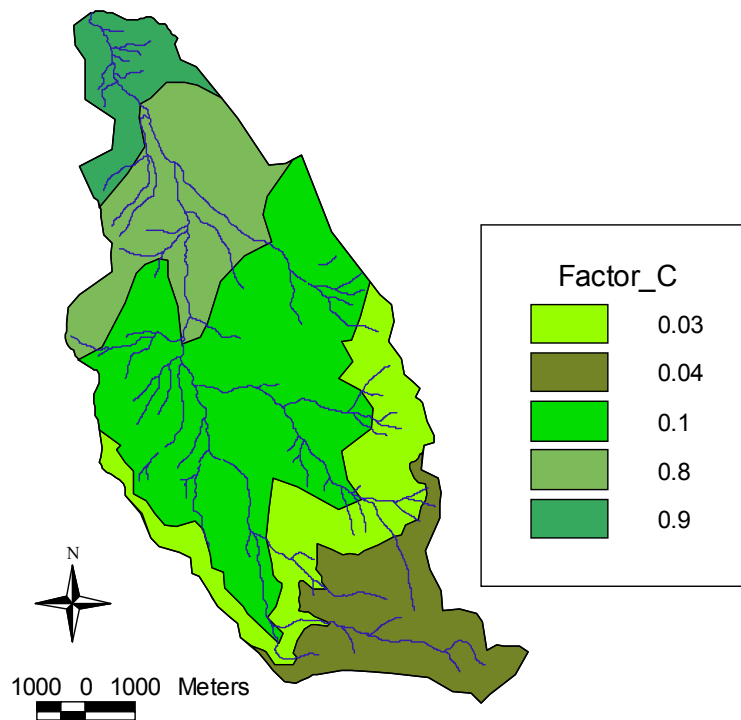


Figura VI.17: Valores del Factor C para la cuenca del río Guabalcón.

FACTOR PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO: P

Se incluyen como tales el cultivo a nivel, el cultivo en fajas y las terrazas. Las restantes prácticas de cultivo, como la rotación con especies herbáceas o el empleo de fertilizantes se consideran incluidos en el factor C.

Como en los factores anteriores, se define por la relación existente entre el valor medio de las pérdidas de suelo producidas en un campo donde se realizan las prácticas de conservación de suelos pertinentes (anteriormente aludidas) y las que se originarían en el mismo campo labrando en la dirección de la máxima pendiente, a igualdad de los restantes factores: lluvia, suelo, topografía y vegetación.

Se va a optar sin embargo por asignar a todos los campos de cultivo el valor correspondiente a 1 puesto que la pendiente en la mayor parte de los terrenos de cultivo se puede considerar mayor a 24 % y el cultivo se realiza siempre a nivel.

PÉRDIDAS TOTALES

Utilizando el programa Arcview, se ha obtenido el mapa de pérdidas de suelo para la cuenca del río Guabalcón en t/ha año, figura VI.18. En la tabla VI.17 aparece la clasificación del grado de erosión hídrica según la tolerancia a las pérdidas del suelo:

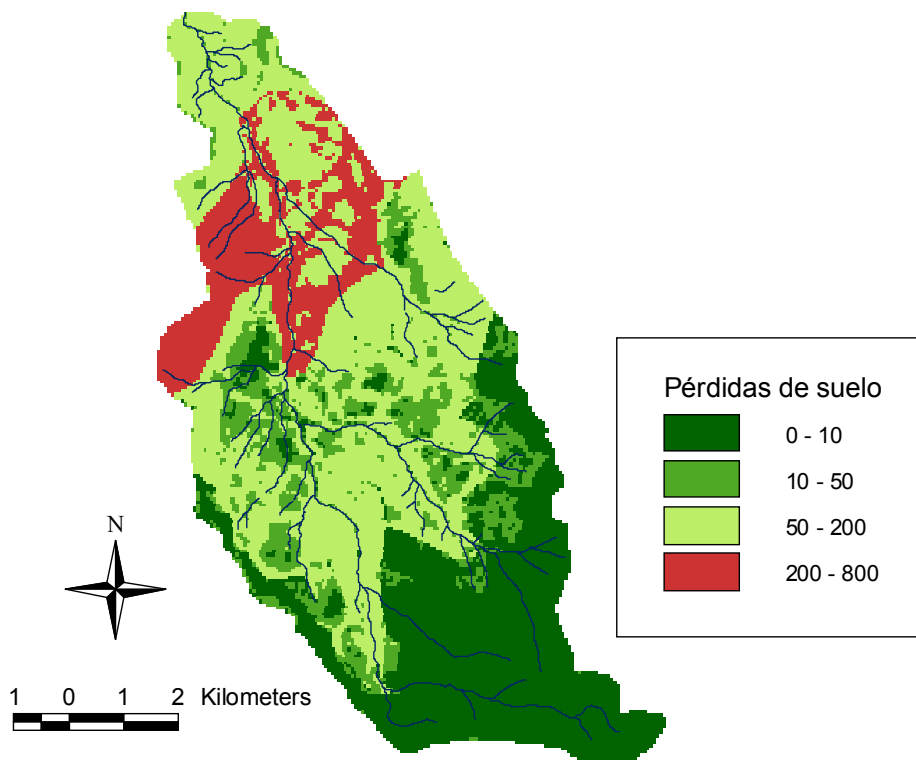


Figura VI.18: Mapa de Pérdidas de suelo para la cuenca del río Guabalcón según el modelo U.S.L.E.

Tabla VI.17: Grado de erosión hídrica según la tolerancia de pérdidas del suelo.

GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA	PÉRDIDAS DE SUELO (t/ha·año)
NINGUNA O LIGERA	< 10
MODERADA	10 - 50
ALTA	50 - 200
MUY ALTA	> 200



b. EROSIÓN Y ESTABILIDAD EN CAUCES

La morfología y el relieve de la cuenca del río Guabalcón confiere a la misma unas características típicas de una cuenca torrencial de montaña, a lo que contribuye también la propia morfología del cauce principal y sus afluentes, todos ellos con fuertes pendientes (se recuerda que el intervalo de altitudes de la cuenca oscila desde los 4.420 m en su cota más elevada y los 1.370 m en la sección de salida de la cuenca); a ello se une que sus secciones de evacuación están conformadas por materiales poco resistentes a la tracción de la corriente, por lo que potencialmente los cursos en cuestión presentan un riesgo de erosión lineal muy importante, que afecta a la estabilidad de sus propios perfiles. Sin embargo, los tramos superiores de dichos cursos presentan actualmente una situación de equilibrio, gracias a la buena conservación de la cubierta de vegetación natural que presenta la cuenca en sus áreas dominantes; vegetación de pajonal típica de páramo por encima de los 3600 m.s.n.m. y vegetación de chaparro y pajonal hasta los 2800 m.s.n.m.. Entre ambas cubiertas naturales defienden el 32 % de la superficie total de la cuenca, la que estratégicamente es además más importante y necesaria de controlar, pues los fenómenos geo-torrenciales que se pudieran generar en dicha área, no sólo serían los de mayor intensidad en la cuenca, si ésta no estuviera protegida como lo ésta; sino que se transmitirían aguas abajo, desestabilizando todo el drenaje de la cuenca vertiente al río Guabalcón.

En la teoría clásica de los cursos torrenciales cabe diferenciar tres partes constitutivas de los mismos, conocidas como *el área o cuenca de recepción, la garganta y el cono de sedimentación*; pudiendo existir también una cuarta y última parte, si el torrente continúa su trayectoria después de atravesar todo el tramo correspondiente a su cono de sedimentación, descargando en el mismo prácticamente la casi totalidad de la carga sólida transportada hasta ese lugar por la corriente. Esta última parte del torrente recibe el nombre de *canal de desagüe*, en él el torrente circula con aguas lentas y prácticamente desprovistas de sedimentos, hasta confluir en otro curso de mayor caudal y en consecuencia con mayor capacidad de transporte.

La *garganta* corresponde a los 4 km. finales del río Guabalcón. En ella la pendiente del río sigue siendo elevada y se detectan fuertes erosiones tanto de fondo como en los márgenes del cauce, donde aparecen repetidas veces conchas de erosión (deslizamientos superficiales en los propios márgenes, debido a la abrasión de la corriente en su base).

El *cono de sedimentación* del río Guabalcón no es apreciable, mejor dicho no se llega a formar, pues las acusadas características torrenciales que presenta el río, especialmente su elevada pendiente, facilita el transporte de la carga sólida de la corriente durante las avenidas hasta su confluencia en el río Chanchán, que a su vez, en caso de avenidas, tiene capacidad suficiente para incorporar el caudal líquido y sólido del río Guabalcón a su propia corriente y transportarlo aguas abajo. Esta circunstancia que evita problemas de aterramientos en las áreas dominadas de la cuenca del río Guabalcón, causa al mismo tiempo el continuo rejuvenecimiento del perfil de drenaje del río y lo mantiene permanentemente inestable; lo que se manifiesta en los abundantes deslizamientos de laderas del tramo de la *garganta*.

El germen de un curso torrencial se encuentra en sus dos primeras partes: en el *área o cuenca de recepción* y en la *garganta*. La siguiente parte constitutiva, el *cono de sedimentación*, exige la aparición y el desarrollo de fenómenos pluvio-torrenciales o niveo-torrenciales para iniciar su formación, que se genera como consecuencia de las fuertes erosiones lineales que tienen lugar en la *garganta* del torrente y que si no son corregidas a su debido tiempo, se transmiten también aguas arriba por toda la cuenca de recepción a través de su red de drenaje, a modo de erosión remontante. Este efecto tiene lugar en el río Guabalcón, pero no llega a transmitirse por encima del 50 % del tramo superior del río, debido, por una parte, a la protección que presenta la cuenca en sus áreas dominantes, especialmente en su cabecera cubierta por el *pajonal del páramo* y, por otra, porque existe una fuerte variación de la pendiente al inicio de la *garganta*; pero ambos factores estabilizadores son necesarios conservar y reforzar, especialmente en el caso del segundo, para asegurar la estabilidad del cauce en la *garganta*.

En consecuencia, los problemas de erosión lineal tanto en el lecho como en sus márgenes del río Guabalcón se agudizan especialmente en los tramos medio e inferior de la cuenca, coincidiendo con las zonas en las que su cuenca de drenaje presenta una menor protección del suelo por la vegetación, pero sobre todo por el alcance de la erosión remontante que se genera en dicho río, amortiguada por el continuo depósito-incorporación de los materiales transportados por causa de la capacidad de desagüe de su descarga (tanto líquida como sólida), provocada, por un lado, por la elevada pendiente del mismo, incluso en sus tramos más bajos y, por otro, por el efecto de lavado de los sedimentos que arrastra el río hasta su confluencia en el río Chanchan, por la elevada capacidad de arrastre de la corriente de este último durante las avenidas.



Es conveniente un estudio del comportamiento geo-torrencial de este río para eventos torrenciales de diferentes períodos de recurrencia, porque permitiría conocerlo mejor ante la necesidad de una corrección posterior de algún tramo del mismo y porque estos cursos tienen secciones de toma de agua para los riegos, que es conveniente conocerlos en el contexto de su funcionamiento ante eventos geo-torrenciales.

En este proyecto fin de carrera no se ha abordado un estudio completo del comportamiento de la hidráulica torrencial del río Guabalcón, limitándose en establecer en una primera aproximación algunos de los parámetros más significativos del análisis; pero a continuación se sintetiza las principales operaciones que implica dicho estudio y aquellas que de un modo somero se han acometido.

En el análisis de un curso torrencial se deben plantear las tres cuestiones siguientes

- 1) La determinación de la tensión inicial de corte o iniciación del movimiento de los materiales depositados en el lecho del río por la acción de la corriente; así como la capacidad de arrastre de la corriente durante el periodo que transcurre la avenida por la sección del cauce de toma de las medidas.
- 2) El volumen de la descarga de sedimentos causados, tanto por el lavado o erosión superficial en la cuenca vertiente, como por la abrasión del cauce por la corriente durante las avenidas en la sección de toma de las medidas.
- 3) La determinación de la pendiente de equilibrio del curso torrencial (cuando el análisis se plantea en *flujo bifásico*) o de la pendiente de compensación (cuando se realiza para el supuesto de un *flujo monofásico*).

Los conceptos de *flujo bifásico* y *flujo monofásico* están asociados a la forma de realizar el análisis hidráulico de la incorporación y posterior transporte de los sedimentos por la corriente del curso torrencial. El flujo bifásico se asocia con la *Hidráulica de Sedimentos* y se basa en las siguientes hipótesis: 1) se plantea por un lado el caudal líquido, 2) por otro el transporte sólido y 3) finalmente se establece la conexión entre ambos y el intercambio entre el material del lecho y el material transportado. El material sólido puede ser transportado tanto en suspensión, en este caso normalmente proviene de la erosión en la cuenca vertiente (*descarga de lavado*) y representa una entrada de sedimentos en el sistema fluvial; como arrancado del propio lecho o de los márgenes del curso en cuestión y arrastrado posteriormente por la corriente (*transporte de fondo*). Mientras que en el *flujo monofásico*, que es el más propio de

la *Hidráulica Torrencial* clásica, se mantienen las hipótesis anteriores hasta alcanzar un cierto umbral de transporte de sedimentos por la corriente, que se identifica como el inicio del transporte en masa o generalizado en el lecho del curso en cuestión; a partir de ese valor comienza el verdadero *flujo monofásico* y los caudales líquido y sólido no se pueden tratar independientemente el uno del otro, sino interviniendo ambos simultáneamente en la formación del calado de la corriente.

La elevada pendiente del río Guabalcón, unido a la buena conservación de la cabecera de su cuenca vertiente, permite la aplicación del *flujo bifásico* en el análisis del estado torrencial del mismo, aunque en el tramo final existe una pendiente de compensación (*flujo monofásico*). Aun teniendo en cuenta esta diferenciación, se va a desarrollar el cálculo de ambas pendientes en todo el recorrido.

En concreto el estudio se ha limitado al tramo de cauce señalado en el apartado de Descripción de la red de drenaje. El tramo completo de estudio se ha dividido así mismo en subtramos de una longitud cercana a los 2 Km para obtener un mayor detalle en los cálculos.

Conceptualmente, la pendiente de compensación se produce cuando una corriente saturada pasa sobre un lecho erosionable formado por materiales de igual naturaleza y composición granulométrica que los que constituyen el caudal sólido de la corriente.

El cálculo de la pendiente de compensación se basa en la teoría de **García Nájera (1943)** y el procedimiento se sintetiza en la figura siguiente.

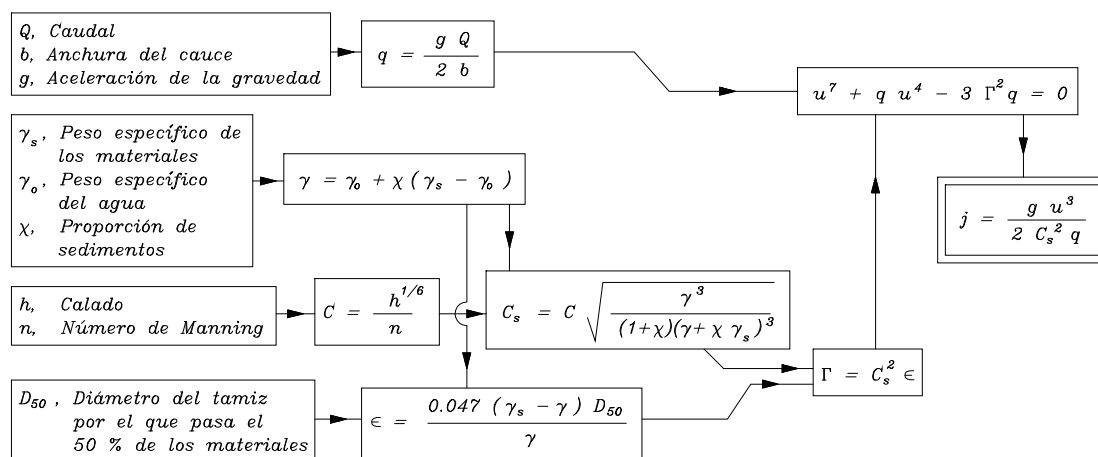


Figura VI.19: Esquema de cálculo de la pendiente de compensación según la teoría de García Nájera.



La pendiente de equilibrio se ha obtenido en el presente proyecto por el procedimiento de **Novak**, (1990) que establece un equilibrio entre las fuerzas de empuje hidrodinámico global, empuje hidrodinámico ascensional, el peso del material sumergido y la fuerza de resistencia, obteniéndose la ecuación

$$I = 0,0035 \cdot C^2 \cdot \frac{d_m}{R}$$

Se han calculado ambas pendientes, la de compensación y de equilibrio para todo el tramo de estudio. Éstas, así como los parámetros utilizados para su cálculo aparecen resumidos en la tabla VI.18.

Tabla VI.18: Pendientes de compensación y equilibrio.

	x	I equilibrio	I compensación	sección (m)	pendiente media
	12489,66	0,07	0,09	10,00	0,09
Piñancay	8990,45	0,07	0,09	10,00	0,08
	7748,45	0,07	0,10	9,00	0,11
	5964,98	0,08	0,11	8,00	0,15
	3950,43	0,10	0,13	7,00	0,12
Sagüin	2085,15	0,16	0,17	6,00	0,20

Como se puede apreciar en la figura siguiente, la zona media del tramo, entre Sagüin y Piñancay, es la que presenta una mayor diferencia entre el perfil real y los perfiles obtenidos a partir de las pendientes de compensación y de equilibrio. Esta diferencia puede deberse a un material poco erosionable en el lecho, como puede ser una roca de gran magnitud, que esté modificando el perfil del cauce. En ese caso la diferencia entre las pendientes calculadas y la del perfil no sería tal.

Cabe recordar que estas pendientes de compensación y equilibrio han sido calculadas a partir del D_{50} que figura en la tabla.V.5. Se necesitaría una revisión del cálculo de este parámetro puesto que en su determinación deberían tenerse en cuenta materiales de mayor dimensión, como rocas y bolos que están presentes a lo largo de todo el lecho y que no se consideraron en

su momento. Por este motivo, aunque sería esperable que estas pendientes se ajustasen mucho más a la pendiente real del lecho, no sucede así.

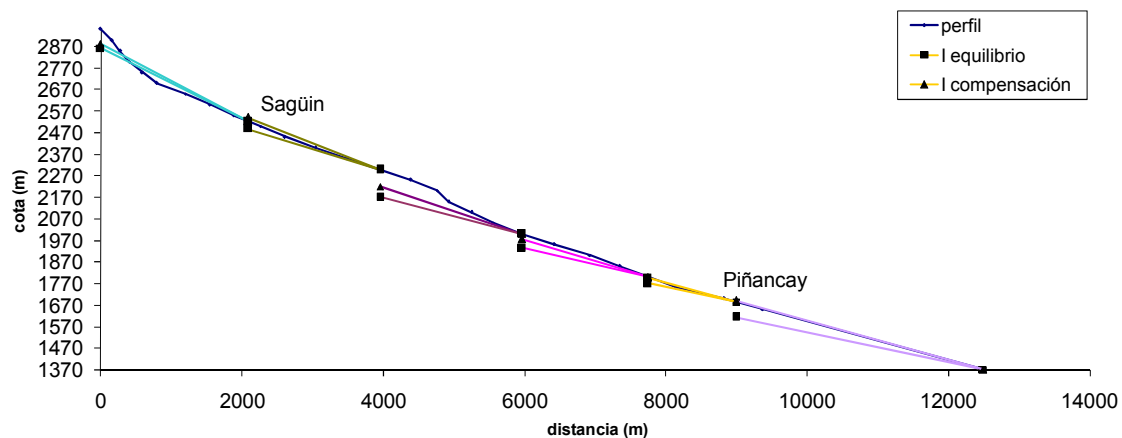


Figura VI.20: Esquema comparativo del perfil de cauce y las pendientes de compensación y de equilibrio.

**c. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**MODELO MUSLE

Los sedimentos aportados por un aguacero determinado se pueden estimar a través de una modificación sobre la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo establecida por **Williams** (1975) conocida como ecuación M.U.S.L.E. (Modified Universal Soil Equation) en la que el autor reemplaza el factor índice de erosión pluvial por un factor que es el producto del volumen de escorrentía por el caudal punta del aguacero en cuestión elevado a 0,56. La expresión resultante es:

$$Y = 11,8 \cdot (Q \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Y sedimentos aportados por un aguacero determinado (t)

Q: volumen de la escorrentía correspondiente al aguacero (m³)

q_p: caudal punta del aguacero (m³/s)

Los factores K, LS, C y P han sido ya estudiados al analizar el modelo U.S.L.E. y los que se van a utilizar aquí son una media ponderada según el área.

Los datos de volumen de escorrentía y caudal punta utilizados son los calculados en el análisis de los caudales de avenida para los diferentes periodos de retorno. Con estos parámetros de entrada la cantidad de sedimentos que saldrían de la cuenca vienen recogidos en la tabla siguiente. La media interanual de aportación es 3968,76 t/año.

Tabla VI.19: sedimentos aportados por la cuenca del río Guabalcón según el modelo MUSLE

T	Q(m ³)	q _p (m ³ /s)	Y (t)
2	0.00626	31.03	3738.72
5	0.05588	11.04	7264.84
10	0.01459	74.65	9817.75
25	0.01981	102.5	13915.70
50	0.02431	126.83	17582.81
100	0.02949	154.85	21908.49
200	0.0343	181.04	26023.33
500	0.04196	222.7	32715.65
1000	0.04867	259.27	38709.0085

ANÁLISIS DE SEDIMENTOS AFORADOS

El PROMAS ha efectuado durante el año 2007 muestreo de sedimentos en Sagüin. 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. Los resultados aparecen recogidos en la figura VI.21 y la tabla VI.20.

Tabla VI.20: Aforos realizados en Sagüin. Fuente: PROMAS, 2007

Aforo	Fecha	Caudal	Concentración		In (Q)	In (g/s)
			Media	Solido		
		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

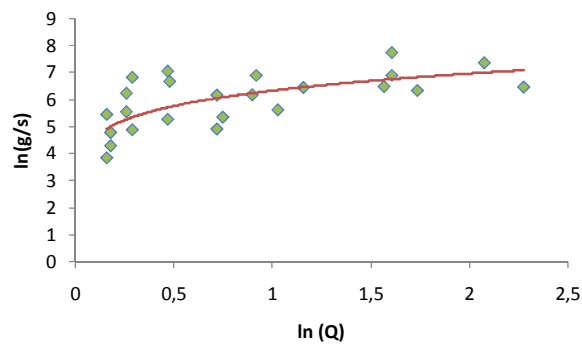


Figura VI.21: Curva de ajuste de la producción de sedimentos para Sagüin. Fuente: PROMAS.

La curva de producción de sedimento que se deriva del análisis, tiene como ecuación potencial de ajuste

$$\ln(Q)s = 6,360 \ln(Q)0,109$$

Con la relación entre el caudal y la concentración de sedimentos mediante esta curva de ajuste se determinaron los sedimentos en suspensión transportados por año, asumiendo en este caso el caudal medio determinado por el balance hídrico (1.5m³/s), se obtuvo una concentración de sedimentos de 41.8 t/año, para el punto en la ubicación del sensor (13.28 km²), equivalente a 3.14 t/km²·año para la subcuenca de Sagüin (**PROMAS** 2007). Este valor corresponde a caudales ordinarios por lo que no responde a una situación de torrencialidad de la cuenca.

Bajo la misma metodología se trataron los datos obtenidos para la sección de control de Piñancay, donde se realizaron del mismo modo muestreos y a continuación análisis en laboratorio. la tabla VI.21 muestra los resultados del análisis efectuado.

Tabla VI.21: Análisis de sedimentos para el área de Piñancay, zona dominada de la Cuenca del río Guabalcón.

Aforo	Fecha	Caudal	Concentración Media	Gasto Sólido	In (Q)	In (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



COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

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

La curva de producción de sedimento que se deriva del análisis se presenta en la figura VI.22.

La ecuación ajustada tiene la forma potencial siguiente

$$\ln(Q)s = 6,672 \ln(Q)^{0,231}$$

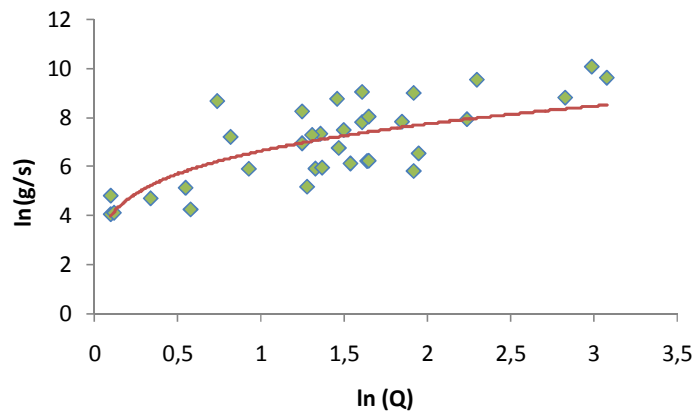


Figura VI.22: Curva de ajuste de la producción de sedimentos para Piñancay. Fuente: PROMAS.

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 $4,5\text{m}^3/\text{s}$, se obtuvo una concentración de sedimentos de 320 Ton/año , el área de la cuenca media es de $44,07\text{ km}^2$, equivalente a $6,33\text{ t/km}^2\cdot\text{año}$ para la subcuenca de Piñancay, (PROMAS 2007).



4. DESLIZAMIENTOS

Los movimientos en masa son una parte consustancial del geodinamismo de los terrenos de la cuenca del río Guabalcón. Es un área con fuertes pendientes y terrenos muy jóvenes de naturaleza muchas veces inestable. A esto se ha unido la deforestación llevada a cabo durante décadas para aumentar la frontera agrícola y la construcción de infraestructuras, que en entornos montañosos aumenta la frecuencia de movimientos en masa.

Durante años, se quemaron grandes extensiones de vegetación natural para obtener pastos para el ganado y terrenos que, aunque en pendientes fuertes, pudiesen ser labrados. Hoy en día, muchos de estos terrenos están abandonados y se pueden apreciar áreas degradadas en las laderas de las montañas con pendientes mayores del 100%.

La carretera Panamericana cruza la cuenca del río Guabalcón por la altura de Compud. Esta carretera, y otra secundaria que une esta Comunidad con la de Piñancay han sufrido desprendimientos de terreno provenientes de las laderas colindantes.

Los deslizamientos rotacionales son uno de los temas centrales de estudio dentro del programa EPIC-FORCE. La Universidad de Newcastle (Reino Unido) está desarrollando aplicaciones y modelos para su predicción y estimación. La ordenación de la cuenca pasa por los resultados obtenidos de estos estudios puesto que la disminución del riesgo en zonas pobladas es sin duda el objetivo más importante de cualquier trabajo de ordenación del territorio. Más adelante se presenta una metodología de evaluación cualitativa de riesgos de movimientos en masa sin más pretensión que servir de referencia para la ordenación posterior de la cuenca.

Tanto en la cuenca del río Chanchán, como concretamente en la cuenca del río Guabalcón se producen deslizamientos más o menos importantes de manera continua. El más grave registrado en las últimas épocas sucedió en 1983 cerca de la población de Chunchi, donde se movilizaron alrededor de un millón de metros cúbicos de material dejando un saldo de 150 muertos. En el Anexo 7 se muestra un resumen de los deslizamientos ocurridos en la cuenca del río Chanchán en las últimas dos décadas.

En la figura VI.23 se muestran las zonas dentro de la cuenca del río Guabalcón donde se han producido deslizamientos. Este mapa es resultado de un estudio realizado por el PROMAS a partir de fotografías aéreas y datos tomados en campo.

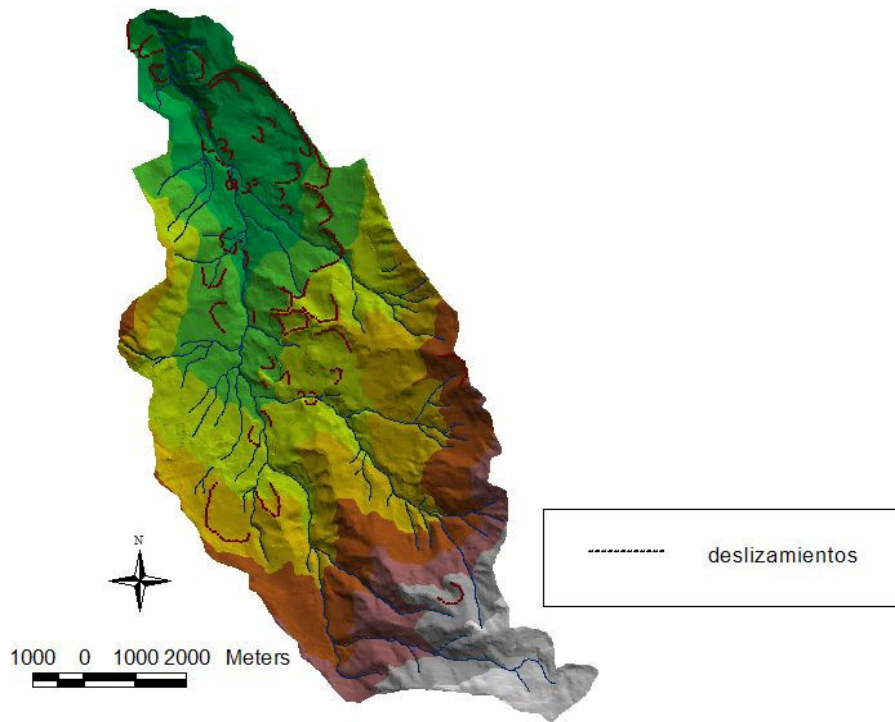


Figura VI.23: Deslizamientos inventariados en campo por el equipo de PROMAS.

Es fácil apreciar que la mayor incidencia de deslizamientos se da a lo largo del río Guabalcón, hasta alcanzar su desembocadura. Los páramos y las partes altas de la cuenca, áreas poco intervenidas, no presentan problemas serios de incidencia de deslizamientos. Así mismo, se aprecia también que el área más favorable para la incidencia de deslizamientos es la margen derecha del río Guabalcón y hacia la parte central y baja de la cuenca (**PROMAS, 2007**).



Ilustración VI.1: Deslizamiento en una tierra de cultivo. Fuente: EPIC FORCE



Ilustración VI.2: Derecha, imagen de Enero 2006; Izquierda, Febrero 2007, se puede apreciar el deslizamiento de tierra al comparar ambas imágenes. Fuente: EPIC FORCE



Ilustración VI.3: Deslizamientos en carretera Panamericana (izquierda) y en el camino que une Piñancay con Verdepamba (derecha).

a. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES DE SUFRIR DESLIZAMIENTOS.

Con el fin de obtener de manera teórica una potencialidad básica de que sucedan movimientos en masa se ha aplicado la metodología que propone el MMA en el Plan nacional erosión de suelos 2002-2012. Se estudia ahí la potencialidad en una zona en función de tres factores a los que se asigna distinto peso. Estos tres factores son la litofacies (50%) la pendiente (30%) y la pluviometría (20%).

El *factor litofacies* se valora según la tabla VI.22

Tabla VI.22: Valores para el factor litología. Fuente: MMA, 2004

Litofacies	Valor
No favorable	0
Muy poco favorable	1
Poco favorable	2
Medianamente favorable	3
favorable	4
Muy favorable	5

La figura VI.24 muestra la distribución de este factor en la cuenca de estudio.

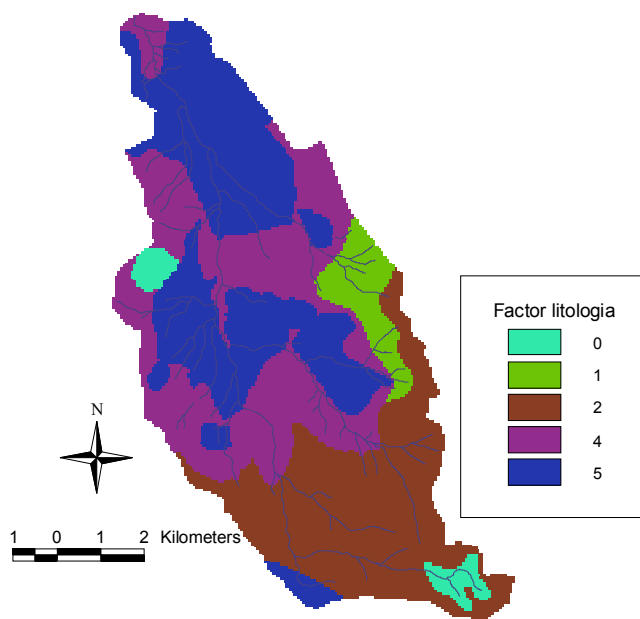


Figura VI.24: Distribución del factor litología dentro de la cuenca del río Guabalcón



Del mismo modo, el *factor pendiente* cuenta con una tabla de clasificación, tabla VI.23, a partir de la cual se ha generado un mapa particularizado para la cuenca de estudio (figura VI.25).

Tabla VI.23: Tabla de clasificación del factor pendiente. Fuente: MMA, 2004

Pendiente	Valor
Baja (0 – 15%)	0
Media (15 – 30%)	1
Alta (30 – 100%)	2
Muy alta (> 100%)	3

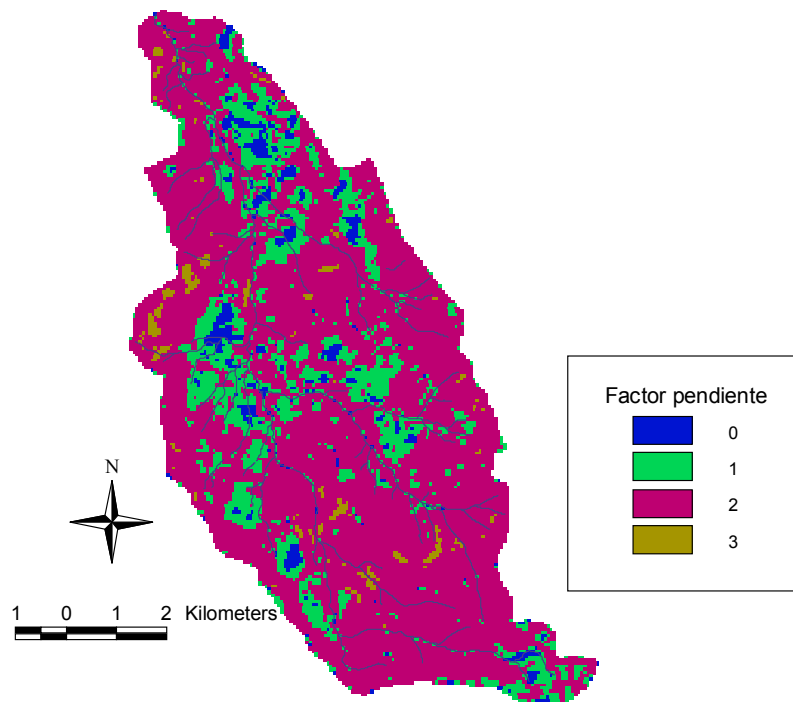


Figura VI.25: Distribución del factor pendiente en la cuenca del río Guabalcón

En el caso de la pluviometría, además de considerar las precipitación media anual, claramente correlacionable con las zonas de movimientos en masa, se contempla también la torrencialidad de las precipitaciones. Los valores del *factor pluviometría* propuesto por el MMA se recogen en la tabla VI.24. En el caso de la cuenca del río Guabalcón, se ha asignado a toda ella el valor de 1, correspondiente a los valores pluviométricos de la estación de Compud.

Tabla VI.24: Valores del factor pendiente. Fuente: MMA, 2004

Precipitación media anual (mm)	T10 (mm)	Valor
< 600	< 100	0
	>100	1
600 - 1200	< 100	1
	> 100	2
> 1200	cualquiera	2

Combinando estos tres factores anteriores se obtiene el mapa con la potencialidad de movimientos en masa. Esta zonificación aparece en la figura VI.32 junto con los deslizamientos reales inventariados por el PROMAS.

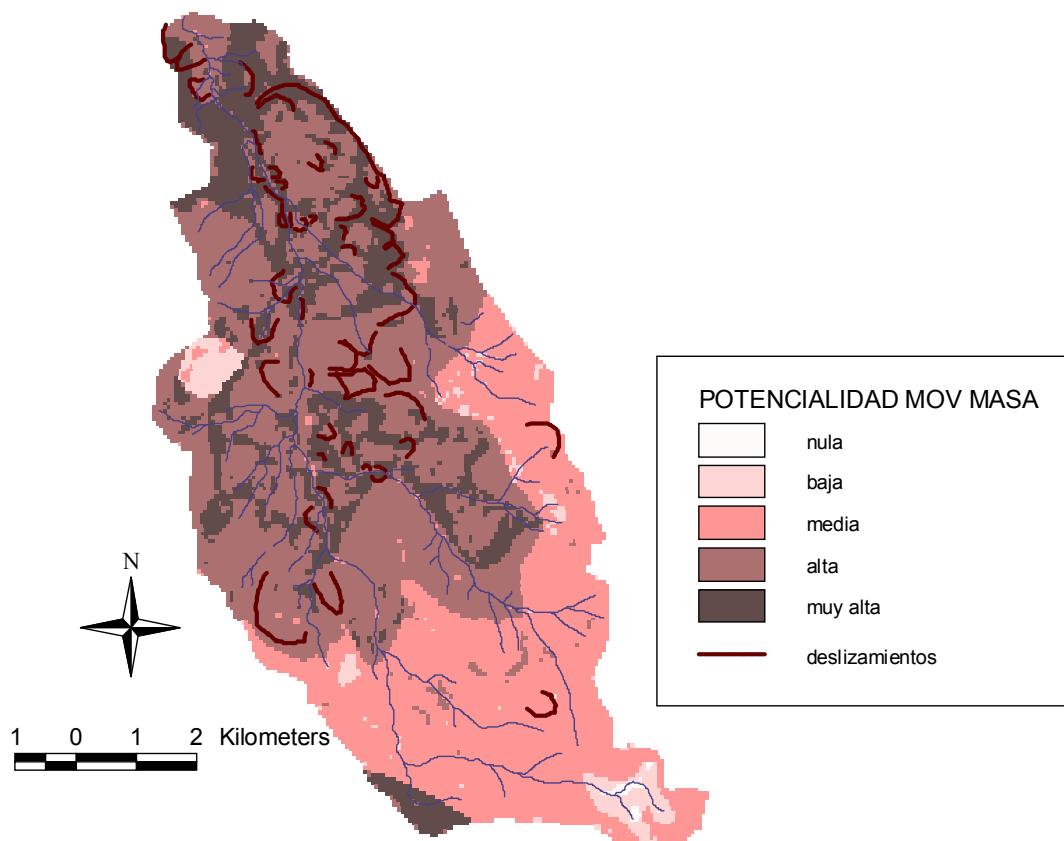


Figura VI.26: Delimitación de las áreas susceptibles de movimientos en masa y deslizamientos en la cuenca del río Guabalcón.



5. INUNDABILIDAD

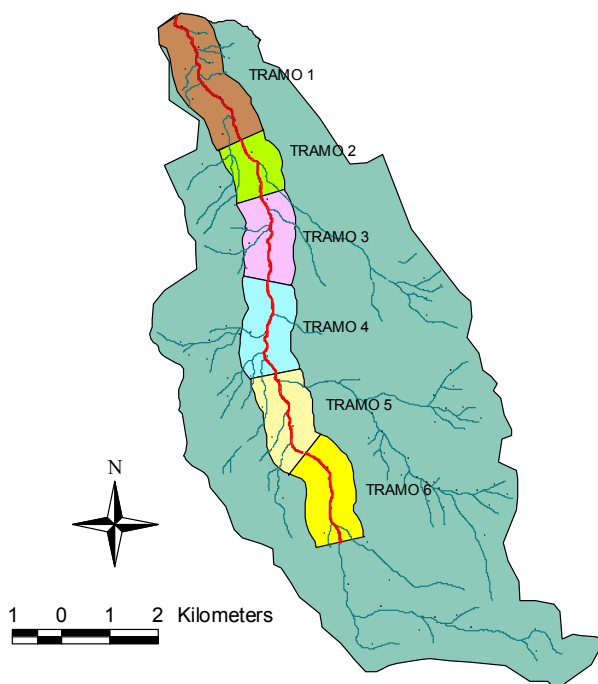
El principal problema que en términos generales se considera que las avenidas pueden llegar a causar a nivel de cuenca y que en mayor medida puede afectar a la población que vive allí son las inundaciones, causadas por un desbordamiento de los cauces.

Desde el punto de vista hidrológico, lo que se conoce por inundaciones no es más que la ocupación de las llanuras de inundación por el caudal generado por una avenida, algo que forma parte de la dinámica natural de los sistemas hídricos. Cuando sobre estas llanuras de inundación se asienta poblaciones o se encuentran infraestructuras, entonces, es cuando este desbordamiento del cauce del río se convierte en un desastre natural e interesa conocer su magnitud y periodicidad.

La metodología que a continuación se va a seguir para la determinación de las zonas de mayor riesgo fue propuesta por **Maldonado C., 2007**.

Las zonas de influencia consideradas, sobre las que se va a aplicar la metodología son los tramos definidos anteriormente en el estudio de Estabilidad del cauce con una amplitud de 500 m a ambos lados del cauce, figura VI.27.

Figura VI.27: Tramos de estudio.



Las características topográficas de dicha superficie y las condiciones hidrológicas del cauce van a determinar la potencialidad de inundaciones en cada tramo. Existe un doble motivo para elegir esta amplitud de 500 m, por un lado se pretende seleccionar una zona suficientemente representativa (la mayor parte de los desbordamientos se van a producir en esta franja) y además facilitar los cálculos de los índices necesarios (**Maldonado, 2007**). Para evaluar la peligrosidad de los tramos propuestos se van a calcular un conjunto de factores.

a. FACTORES HIDROLÓGICOS

INDICE DE CAUDALES EXTRAORDINARIOS

La magnitud y recurrencia de los caudales de avenida dentro de la cuenca, van a determinar en gran medida la frecuencia de inundaciones y la dimensión de estas. Se va a considerar el caudal correspondiente a una precipitación de periodo de retorno de 500 años. Para el cálculo del índice se va a dividir este entre 1000 ya que es el caudal de 1000 m³/s el que se considera suficientemente elevado para las condiciones de la cuenca de estudio. Este parámetro en el estudio original realizado por **Maldonado C.** era 10000 m³/s, aquí se ha ajustado según la diferencia de superficies entre las cuencas.

$$ICE = \frac{Q_{500}}{1000}$$

De este modo, el índice va a aportar valores menores o iguales a 1

El valor del índice en cada tramo de estudio aparece recogido en la tabla VI.25

Tabla VI.25: Valores de ICE para los distintos tramos.

Zona de influencia	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	ICE
TRAMO 1	222,7	0,22
TRAMO 2	222,7	0,22
TRAMO 3	193,91	0,19
TRAMO 4	152,59	0,15
TRAMO 5	105,90	0,11
TRAMO 6	62,68	0,06

CALADOS EXTRAORDINARIOS

Es enorme la incidencia que la magnitud del calado tiene a la hora de producirse un desbordamiento. Este factor va a ser uno de los parámetros a tener en cuenta a la hora de determinar el índice geomorfológico. Aquí tan solo se expone la metodología de cálculo seguida. A través de la fórmula de **Manning** y con la sección tipo ya propuesta en el estudio de Estabilidad del cauce se puede llegar a obtener una formulación para el calado correspondiente al caudal de cálculo Q₅₀₀:



$$Q = \frac{1}{n} \cdot J^{0,5} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S$$

Q, caudal en m³/s

n, número de manning estimado para el tramo

J, pendiente media del cauce en %

S, sección del cauce en m²

R radio hidráulico, que considerando rectangular la sección de salida tiene la expresión:

$$R = \left(\frac{b \cdot y}{b + 2y} \right)$$

b es la anchura del cauce en m

y es el calado en m

Como la sección es rectangular y además $b \gg y$ se puede simplificar esta ecuación anterior y asimilar el radio hidráulico con el calado y.

Con estas modificaciones la expresión para determinar los calados resulta:

$$y = \left(\frac{n \cdot Q_{500}}{J^{0,5} \cdot b} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Los valores utilizados para el cálculo y los calados obtenidos aparecen en la tabla VI.26

Tabla VI.26: Calado de los caudales Q_{500} para los 6 tramos de estudio.

TRAMO	Q_{500} (m ³ /s)	J	n	b (m)	y (m)
1	222,7	0,1	0,035	10	1,82
2	222,7	0,08	0,035	10	1,96
3	193,91	0,11	0,035	9	1,73
4	152,59	0,15	0,035	8	1,44
5	105,90	0,12	0,035	7	1,33
6	62,68	0,20	0,035	6	0,87

b. FACTORES TOPOGRÁFICOS

INDICE HIPSOMÉTRICO

Se ha intentado estudiar a través de este índice la configuración media del relieve dentro del tramo. Para ello, se va a utilizar un gráfico donde aparezca representado el perfil longitudinal del tramo y su curva hipsográfica correspondiente. Al representarlo conjuntamente, ambas curvas comparten el eje de la Y que representa el rango altitudinal dentro del tramo. El eje X en el caso de la curva hipsográfica representa la superficie en km² que cada cota tiene por encima suyo, siendo por tanto la superficie total del tramo para la cota más baja y cero la correspondiente a la cota máxima. En el caso del perfil longitudinal, el eje X representa la distancia acumulada desde el punto aguas arriba, al que se le ha asignado valor cero, hasta el punto de salida del tramo de estudio, al que le corresponde el valor total de longitud del cauce dentro del tramo en Km. Como se ha tomado un ancho de tramo de 1 Km, 500 metros a cada lado del cauce, se puede asimilar esta variable lineal con una de superficie.

Se puede obtener a partir de este gráfico la relación hipsográfica:

$$RH = \frac{A}{A_1}$$

Donde,

A es el área del gráfico bajo la curva del perfil longitudinal del tramo

A₁, es el área bajo la curva hipsométrica del mismo tramo.

Esta relación toma valores normalmente entre 0 y 1. Los valores más bajos corresponderán con valles con tendencia a estar encajonados, donde el riesgo de inundaciones es menor que en aquellos valles más llanos, donde el río discurre a un nivel parecido al resto del terreno circundante, valores próximos a 1, o incluso en terrenos donde el río discurre por un terreno ligeramente más elevado que las vegas de sus lados (que correspondería con valores de RH>1).

Las curvas para los 6 tramos de estudios aparecen recogidas en la figura VI.28 y el valor de RT para cada uno en la tabla VI.27.



COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

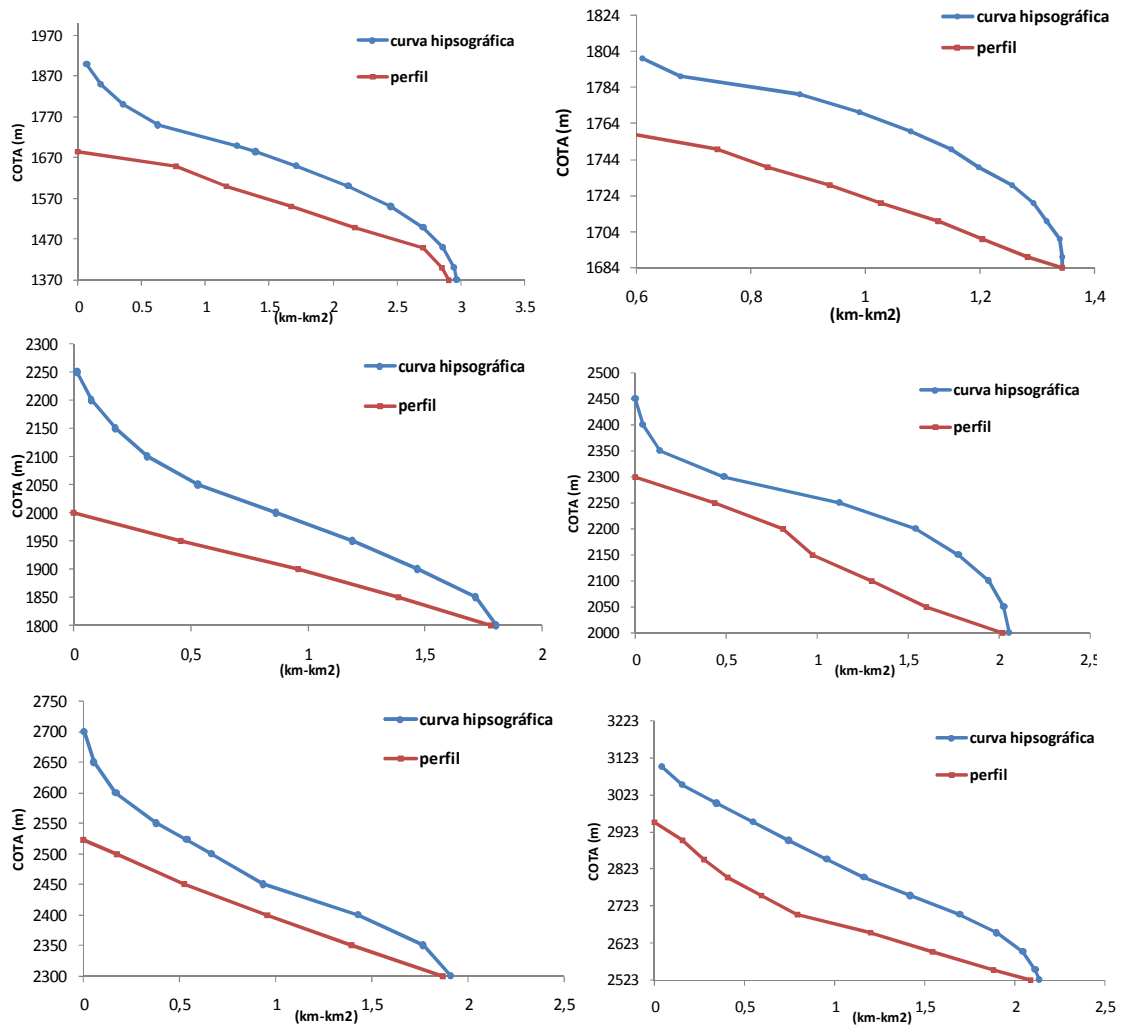


Figura VI.28: Representación de la curva hipsográfica y el perfil longitudinal para los 6 tramos.

Tabla VI.27: Valores de RT para los 6 tramos de estudio.

TRAMO	RH
1	0,67
2	0,49
3	0,5
4	0,60
5	0,65
6	0,48

INDICE GEOMORFOLÓGICO

Se va a contemplar las características geomorfológicas de cada tramo a través de la relación llanura/ladera. Hace referencia esta relación a la amplitud del río, considerando márgenes y cauce, frente a las laderas que vierten al lecho. Para la determinación de este índice se hace necesaria la determinación de perfiles transversales a lo largo del curso. Se considerarán riberas a la superficie continua al cauce del río que no se eleva por encima de este más de la altura del calado correspondiente a un caudal Q_{500} , para una sección de cauce rectangular como las propuestas en el apartado de Estabilidad del cauce.

La relación geomorfológica se definirá como,

$$RG = \frac{a}{A_t}$$

Donde,

a, es la anchura de la ribera

A_t es la amplitud del tramo, de la zona de influencia (1000 m)

Esto permite una primera clasificación de los valles existentes dentro de un rango de valores, siendo cercanos a cero en valles encajonados e irán aumentando cuanto más abierto sea el valle.

No se dispone de información digital lo suficientemente detallada para poder medir el ancho de ribera necesaria, pero de las visitas a campo realizadas y a partir de la información que se dispone, como fotografías y secciones levantadas, se puede concluir que el río va en todos estos tramos lo suficientemente encajonado para poder considerar que no existen riberas como tal en el cauce estudiado. A ambos lados del río encontramos terraplenes que vierten directamente al río y que como se puede apreciar en las secciones de Piñancay que aparecen en el apartado Red de drenaje, cuentan con varios metros de altura. El valor que se va a asignar por ello a la relación geomorfológica es cero.

PENDIENTE HIDRÁULICA DEL CAUCE.

Este factor recoge la influencia que la pendiente del lecho tiene en la magnitud de los calados para un mismo caudal de cálculo. Se ha clasificado por tanto la pendiente del cauce según el criterio de **Ollero et al** (2004) bajo la hipótesis de que la probabilidad de que se produzcan inundaciones en cursos torrenciales con pendientes muy altas, mayores al 10% (**Ollero et al**, 2004) es muy reducida debido a que funcionan como desagües rápidos. En cambio, ante pendientes bajas, la corriente del río pierde velocidad y aumenta la altura de la lámina de agua.

La relación de pendiente se ha definido como

$$RP = 1 - J_m$$

Siendo J_m la pendiente hidráulica del tramo referida al intervalo 0-10%

Según este índice, a pendientes bajas les corresponden valores próximos a 1, mientras que los valores más bajos se corresponden con pendientes cercanas a 10%.

En el caso de los tramos seleccionados todos presentan una pendiente media mayor a 10% salvo el tramo 2, aunque incluso en éste el valor de RP es muy bajo (tabla VI.28).

Tabla VI.28: Valores del factor RP.

TRAMO	J	RP
1	0.1	0
2	0,08	0,2
3	0,11	0
4	0,15	0
5	0,12	0
6	0,20	0

c. PELIGROSIDAD

Los índices calculados constituyen los factores que el método contempla como estimadores de la peligrosidad de inundaciones, el factor hidrológico (FH) y el factor topográfico (TP) que expresados en función de los índices resultan,

$$FH=ICE$$

$$FT= C_1 \cdot RH + C_2 \cdot RG + C_3 \cdot RP$$

Donde,

FH es el factor hidrológico,

ICE, el índice de calados extraordinarios

FT el factor topográfico,

RH la relación hipsométrica,

RG la relación geomorfológica

RP la relación de pendientes

C_1 , C_2 y C_3 son los coeficientes de ponderación ($C_1 + C_2 + C_3=1$) que a falta de datos para su estimación se ha optado por otorgar el mismo peso a los tres.

El índice de Peligrosidad se ha calculado de igual modo,

$$IP=I_1 \cdot FH + I_2 \cdot FT$$

Donde,

I_1 e I_2 son los coeficientes de ponderación de los factores, que también se ha optado por otorgarles igual peso, a falta de más información al respecto.

Los valores de los factores y del índice para los distintos tramos aparecen en la tabla VI.29



Tabla VI.29: Índice de Peligrosidad de inundaciones.

TRAMO	ICE	RH	RG	RP	FH	FT	IP
1	0,22	0,67	0	0	0,22	0,22	
2	0,22	0,49	0	0,2	0,22	0,23	0,23
3	0,19	0,5	0	0	0,19	0,17	0,18
4	0,15	0,60	0	0	0,15	0,2	0,18
5	0,11	0,65	0	0	0,11	0,22	0,17
6	0,06	0,48	0	0	0,06	0,16	0,11

Los valores del índice de peligrosidad para todos los tramos son muy bajos, debido como ya se ha visto al encajonamiento del cauce y a las fuertes pendientes que presenta el lecho. Esto descarta un riesgo real de inundaciones en la zona según lo que aquí se entiende por inundación; esto es, la ocupación de las planicies adyacentes al cauce por una lámina de agua proveniente de una crecida del propio río. Bien es cierto, como se ha visto en el apartado de Erosión de cauces, que este mismo caudal y cauces, que no generan problemas de inundaciones, sí generan otros muchos problemas en relación a deslave de materiales e inestabilidad de las laderas adyacentes.





VII. CONDICIONANTES SOCIOECONÓMICOS



1. RIESGOS HIDROLÓGICOS EN LADERAS Y EN LA RED DE DRENAJE

a. DESLIZAMIENTOS

Las zonas con una alta potencialidad a sufrir deslizamientos supondrían un riesgo cuando infraestructuras, propiedades o personas se viesen afectadas por ellos. La evaluación del riesgo que traen consigo estos movimientos en masa supone por tanto contrastar su distribución con respecto a la localización de infraestructuras y comunidades. Esta figura VII.1 muestra las zonas de riesgo y aparece ampliada en el apartado de Mapas.

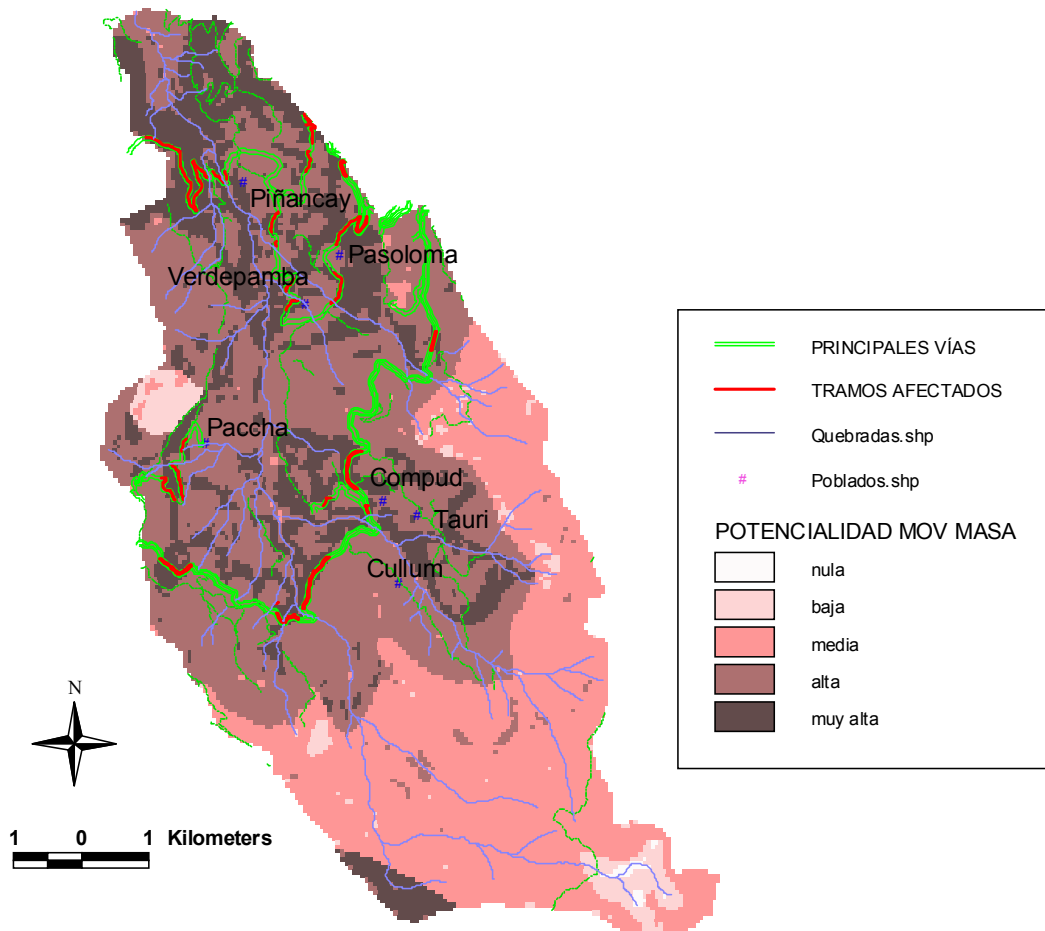


Figura VII.1: Riesgos de deslizamientos sobre las infraestructuras existentes.

La vía que cruza en sentido SO-NE a la altura de Compud es la carretera Panamericana. Tanto antes de llegar a esta comunidad como justo después de ella, se pueden apreciar tramos de vía

que discurren por una zona con una potencialidad muy alta de deslizamientos, que se ve seguramente más incrementada por la propia vía en sí. La Panamericana es la carretera más importante del Ecuador, y por supuesto la que soporta más circulación en esta área. A la hora de planificar medidas preventivas, estos tramos de alto riesgo deberían ser objeto de actuaciones prioritarias.

Como muestra también la figura, la zona norte de la cuenca es la que presenta un mayor riesgo de deslizamientos, y los poblados de Verdepamba, Pasaloma y Piñancay están situados precisamente en éste área. En concreto, la comunidad de Pasaloma está situada en la base de unas laderas con alto riesgo y sería conveniente focalizar ahí las acciones preventivas.

b. INUNDABILIDAD

Los riesgos por inundabilidad consisten en el peligro potencial que los asentamientos o las propiedades de las gentes que habitan las cercanías al cauce corren por causa de una inundación. Como se detalló en el apartado correspondiente dentro del Comportamiento hidrológico de la cuenca, el riesgo de inundación en los tramos de estudios es muy bajo, debido a las fuertes pendientes y al encajonamiento del lecho.



2. EVALUACIÓN DEL RIESGO GLOBAL DE LA EROSIÓN SUPERFICIAL EN LA CUENCA

A fin de establecer de un modo conjunto el grado de vulnerabilidad de los suelos de una cuenca hidrográfica, la Dirección General de Protección de la Naturaleza, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente de España (MMAE), estableció un procedimiento conocido como INES (Inventario Nacional de Erosión de Suelos) con un periodo decenal para su desarrollo 2002-2012.

La finalidad de esta metodología es realizar una clasificación cualitativa del grado de susceptibilidad de la cuenca ante los factores que se presentan en ella, capaces de provocar el geo-dinamismo torrencial.

Se proponen una serie de factores que intervienen en el proceso geo-torrencial y a cada uno de ellos se le asigna un valor. Mediante la combinación de todos ellos se obtiene, finalmente, el riesgo de erosión. El esquema del proceso seguido para la asignación de valores aparece en la figura VII.2. Se ha desarrollado esta metodología en un entorno GIS, con el fin de obtener mapas con una información detallada de toda la cuenca.

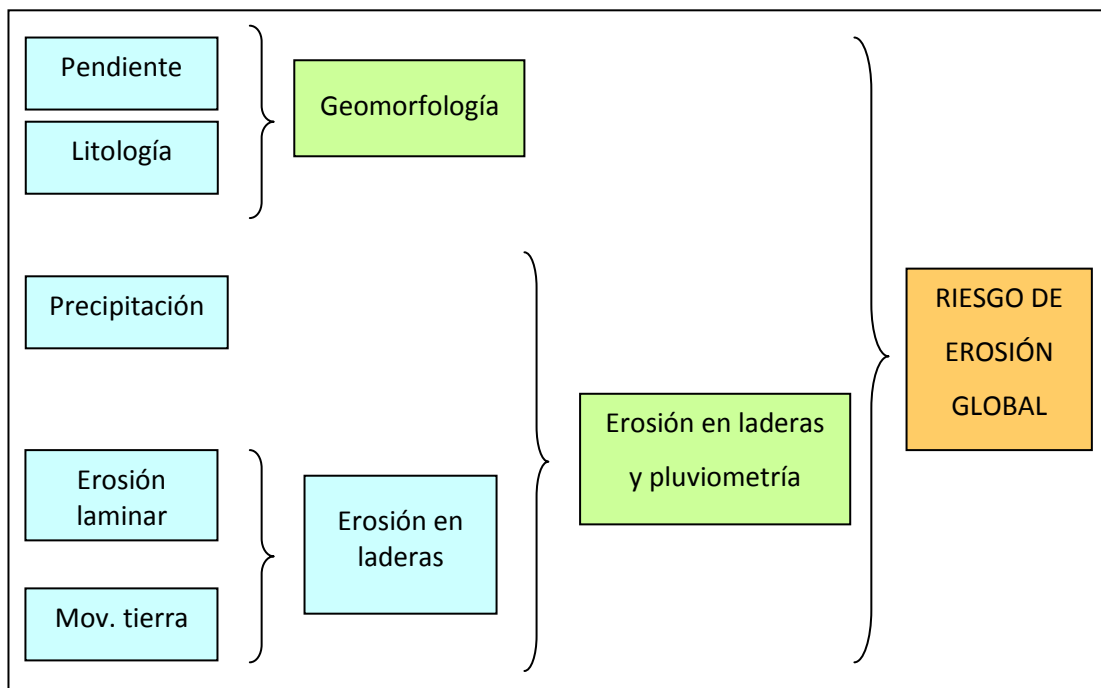


Figura VII.2: Esquema del proceso de evaluación del riesgo de erosión global propuesta por el MMA en el Inventario Nacional Erosión Suelos (INES), 2004.

El primer factor que interviene en el cálculo es *el factor pendiente*. La metodología propone una tabla (tabla VII.1) con los siguientes valores según el rango de pendientes:

Tabla VII.1: valores del factor pendiente. Fuente: MMA, 2004

Pendiente (%)	Valor
< 5	1
5 – 10	2
10 – 20	3
20 – 30	4
30 – 50	5
> 50	6

La clasificación de las pendientes dentro de la cuenca del río Guabalcón según este rango de valores aparece representada en la figura VII.3.

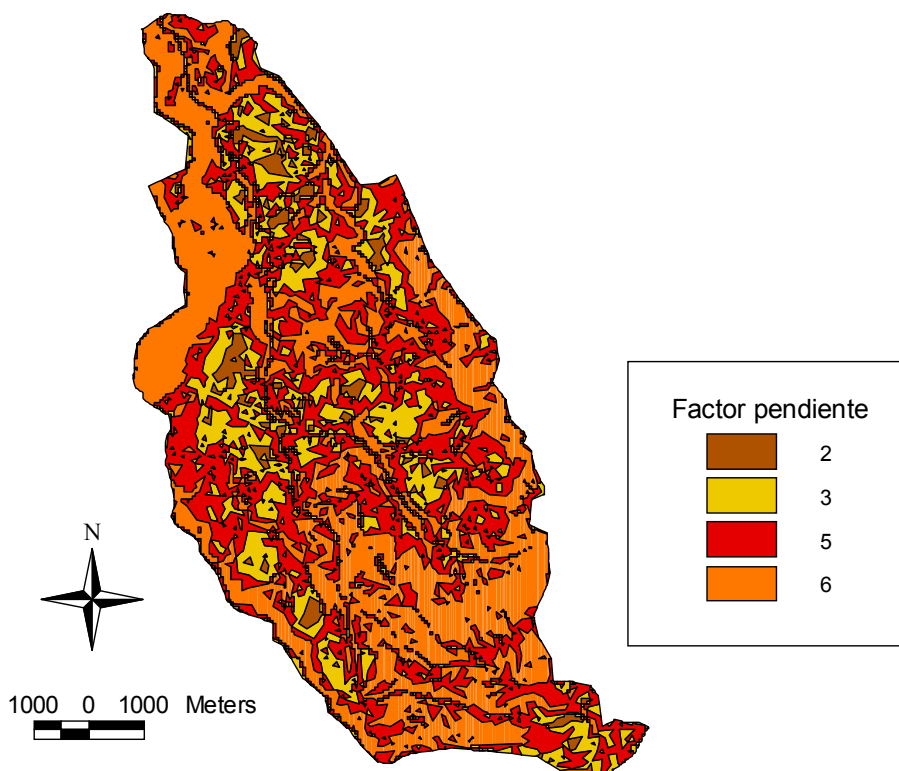


Figura VII.3: Distribución del Factor pendiente en la cuenca del río Guabalcón



Según el grado de erosionabilidad de los materiales se le ha asignado a un valor a cada tipo de litofacies de la cuenca, *el factor litología*. El cuadro de valores para las distintas clases de litofacies aparece en la tabla VI.19 y la distribución espacial de estos está recogida en la figura VII.2.

Tabla VII.2: Valores del factor litología. Fuente: MMA, 2004

LITOFACIES	EROSIONABILIDAD	VALOR
Rocas sedimentarias y metamórficas resistentes	Baja	1
Rocas plutónicas y metamórficas muy resistentes	Baja	1
Rocas sedimentarias poco resistentes	Media	2
Rocas sedimentarias blandas y duras	Media	2
Formaciones volcánicas recientes	Media	2
Formaciones volcánicas antiguas	Media	2
Formaciones superficiales no consolidadas	Alta	3
Formaciones superficiales consolidadas	Alta	3
Rocas sedimentarias blandas	Alta	3
Depósitos antrópicos	Alta	3

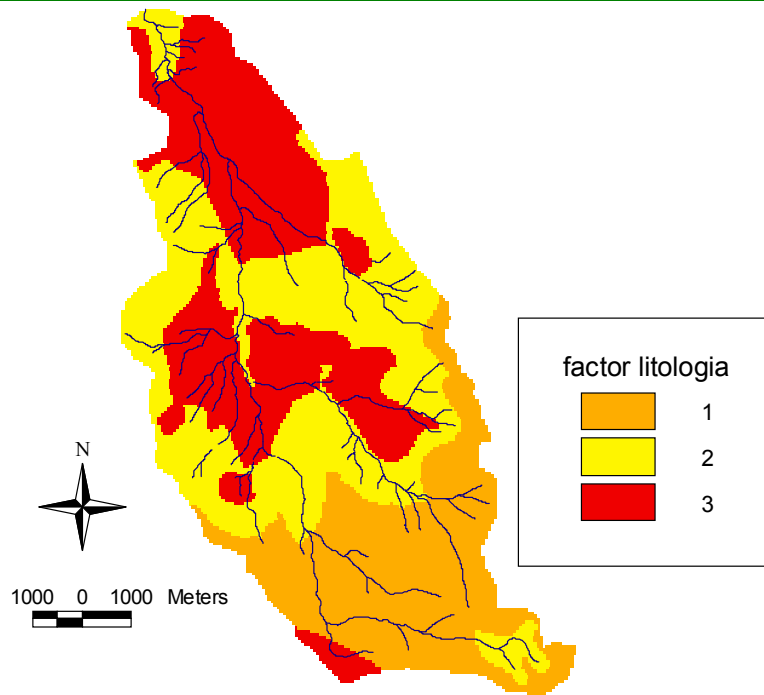


Figura VII.4: Factor litología para la cuenca del río Guabalcón

La combinación de estos dos factores anteriores da como resultado otro, el *factor geomorfología* que se reclasifica para obtener los valores finales. La tabla VII.3 muestra los valores para reclasificar la suma anterior.

Tabla VII.3: Valores para el factor geomorfología. Fuente: MMA, 2004

Litología + pendiente	Riesgo	Valor
2	Bajo	1
3		
4	Medio	2
5		
6	Alto	3
7		
8	Muy alto	4
9		

El mapa de distribución de este factor geomorfología aparece en la figura VII.5:

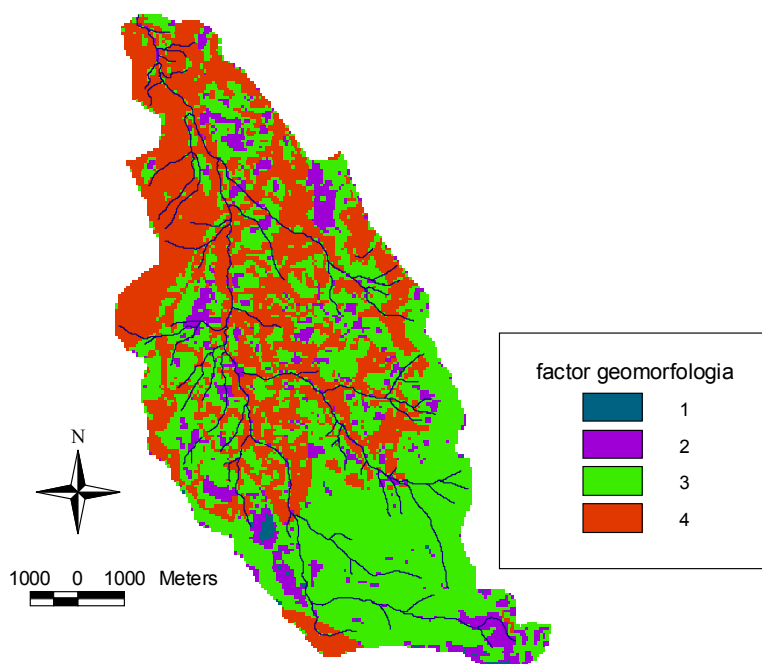


Figura VII.5: Factor geomorfología



El *factor intensidad de precipitación* se considera constante para toda la cuenca, utilizando como valor de referencia la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de 100 años calculada para la estación de Compud en el apartado de Precipitaciones máximas. Los valores propuestos para este parámetro aparecen recogidos en la tabla VII.4.

Tabla VII.4: Valores del factor intensidad de precipitación.

T100 (mm)	Valor
< 50	1
50 – 100	2
100 – 150	3
150 – 200	4
> 200	5

Como la precipitación calculada para Compud es de 55,49 mm el valor para la cuenca será 2.

El *factor erosión laminar* se ha valorado en función de los datos obtenidos a través de la ecuación U.S.L.E y según el rango propuesto por el MMA que se recoge en la tabla VII.5.

Tabla VII.5: Valores del factor Erosión laminar. Fuente: MMA, 2004.

Erosión laminar ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	Valor
0 – 5	1
5 – 10	2
10 – 25	3
25 – 50	4
50 – 100	5
100 – 200	6
> 200	7

La reclasificación del mapa de pérdidas del suelo según estos valores aquí propuestos se muestra en la figura VII.6.

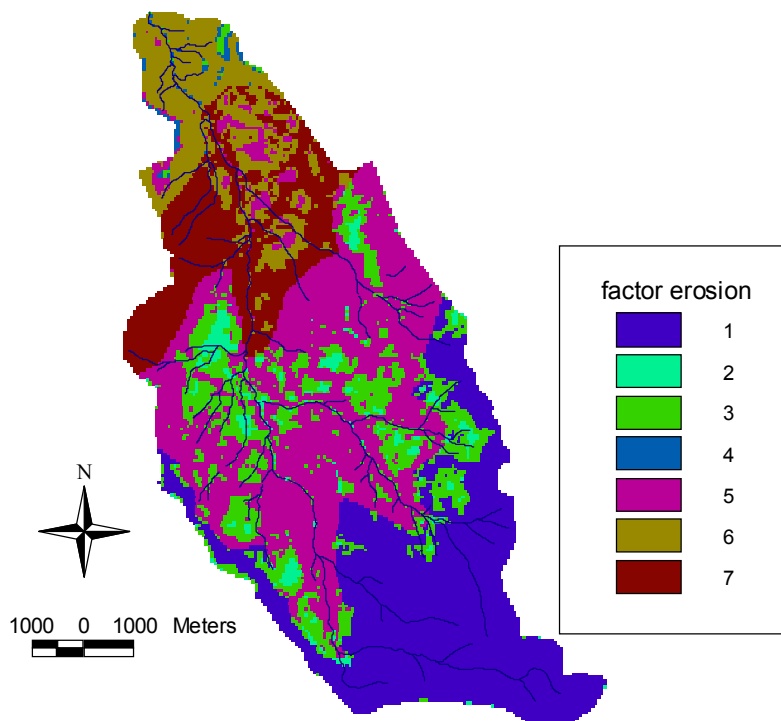


Figura VII.6: Distribución de los valores del factor erosión laminar dentro de la cuenca del río Guabalcón

El *factor movimientos en masa* viene asociado a la potencialidad que aparece calculada en el siguiente apartado. La tabla VII.6 recoge los valores para la reclasificación de los obtenidos allí.

Tabla VII.6: Valores para la reclasificación de la Potencialidad de movimiento en masa. Fuente: MMA, 2004.

Potencialidad de movimiento en masa	Valor
Baja	1
Media	2
Alta	3
Muy alta	4



Esta reclasificación se representa visualmente en la figura VII.7.

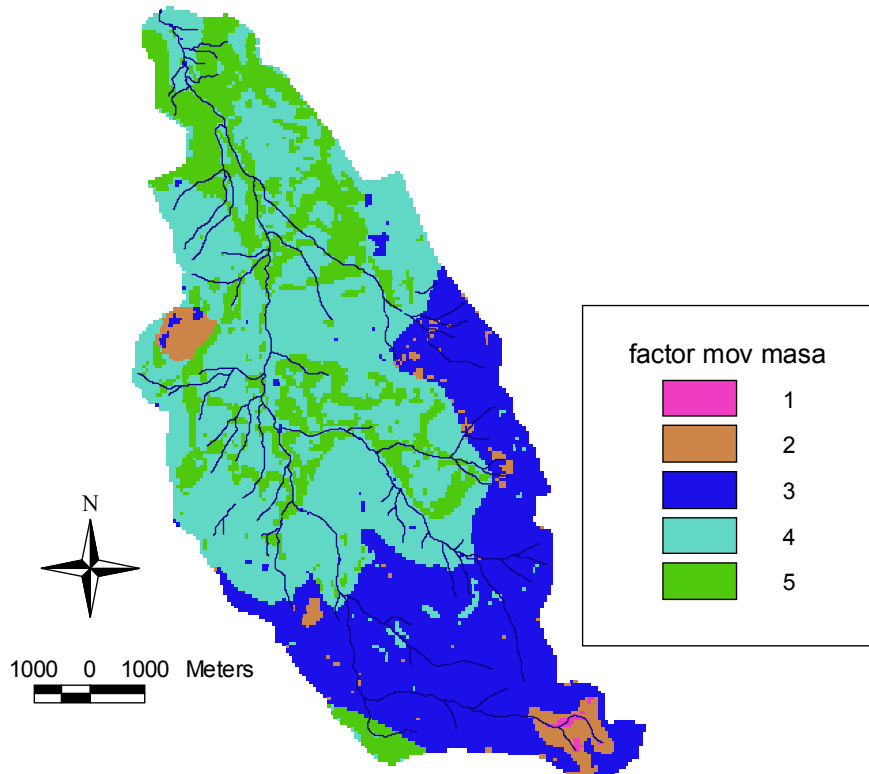


Figura VII.7: Distribución de los valores del factor movimientos en masa dentro de la cuenca del río Guabalcón.

Se combinan a continuaciones estos valores para obtener un valor cualitativo final del riesgo de erosión en cauces. La combinación se realiza según aparece en el esquema planteado anteriormente. El valor final de riesgo se asigna mediante la tabla VII.7. El mapa que se obtiene como resultado final se presenta en la figura VII.8.

Tabla VII.7: Clasificación final del nivel de riesgo

Resultado combinación	Nivel riesgo
2	bajo
3	
4	Medio
5	
6	Alto
7	
8	Muy alto
9	

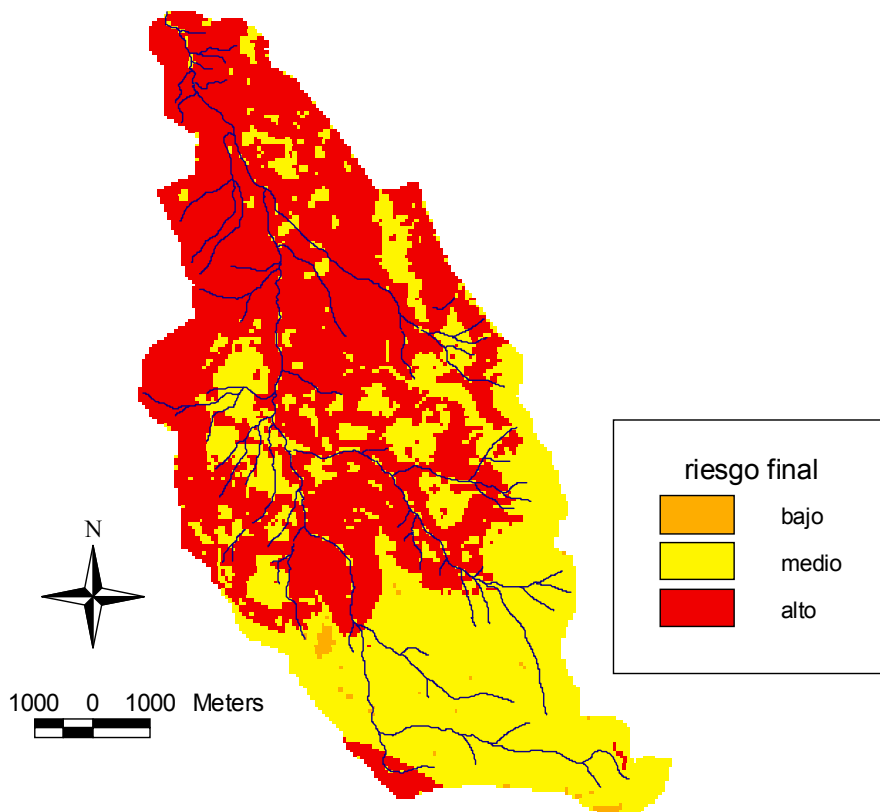


Figura VII.8: Mapa final de riesgo de erosión en cauces en la cuenca del río Guabalcón

La mayor parte de la cuenca se ha caracterizado con un riesgo alto de erosión, sin embargo no aparece ninguna zona con un riesgo muy alto, el rango más alto dentro de la clasificación propuesta por el MMA.

Esta metodología da una visión general de los procesos erosivos que se llevan a cabo en una cuenca de tamaño grande y permite resaltar el hecho de que la mayor parte de la cuenca presenta un alto riesgo de erosión que puede llegar a afectar a las infraestructuras existentes. De hecho se tienen experiencias dentro de la cuenca de este problema; El punto donde está situado el sensor de aforos de Piñancay coincide con la localización de un puente que ha sufrido ya tres colapsos. El problema de estas zonas no son las grandes escorrentías que inundan la estructura sino la elevada susceptibilidad a erosionarse y la inestabilidad de las laderas que soportan los anclajes, que ante fuertes eventos ceden y causan importantes desprendimientos de materiales que traen consigo el derrumbe de la estructura. Este paso en Piñancay es de gran utilidad para los habitantes de la zona, que en la actualidad, en la época de lluvias, al estar este paso inutilizado se ven forzados a tomar rutas más largas e incómodas.

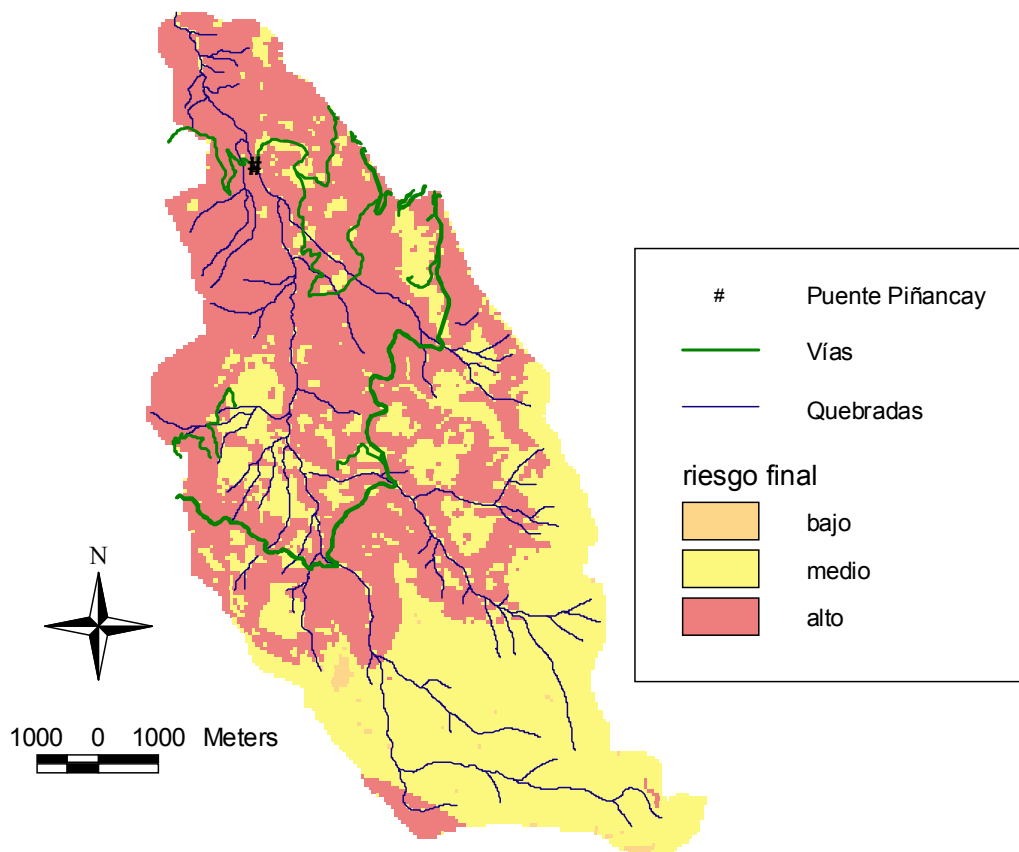


Figura VII.9: Riesgos causados por erosión global.



Ilustración VII.1: Puente derruido en Piñancay.



3. ESCENARIO: USOS DE SUELO ÓPTIMOS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.

a. USOS DE SUELO ÓPTIMOS.

A la hora de proponer usos del suelo alternativos a los que en la actualidad se pueden encontrar en la cuenca, hay que tener presente la necesidad de disminuir los riesgos a la población ante deslizamientos y procesos geo-torrencales e intentar compaginar el aprovechamiento de los recursos con su mantenimiento a largo plazo.

Como aparece en el apartado de Descripción de usos del suelo, la cuenca presenta en la actualidad 5 zonas bien diferenciadas:

La vegetación de páramo y pajonal, así como la ceja de montaña y las formaciones de chaparro son los usos de suelo principales en la parte más alta de la cuenca. Es la zona que necesita una mayor protección ante eventos extremos, puesto que por su posición es la más vulnerable frente a los mismos y, además, los efectos superficiales que aquí suceden se pueden transmitir rápidamente al resto de la cuenca. Estas formaciones naturales, afortunadamente se encuentran en buen estado de conservación, y es imprescindible que así siga siendo. Es necesaria una cubierta permanente del suelo que funcione como elemento protector. Además, esta zona está en su mayoría deshabitada, por lo que no existe una presión antrópica que llegase a justificar el cambio de uso.

La zona inmediatamente inferior al pajonal, aun dentro del área dominante de la cuenca, en el entorno de los 2000 y 2800 m.s.n.m., presenta en la actualidad un uso de suelo mixto, con formaciones de chaparro alternadas con zonas de pastos. Al estar la zona habitada y tener los lugareños una economía basada principalmente en la ganadería bovina, es interesante mantener este uso de suelo mixto, intentando potenciar la vegetación natural en aquellas zonas que por sus elevadas pendientes presenten mayor riesgo, tanto de deslizamientos como de degradación y pérdidas de suelo. Es interesante además aprovechar la variabilidad de los suelos desde el punto de vista edafológico, con el fin de optimizar la producción y la conservación de los recursos.

Se propone a continuación una adaptación para la cuenca del río Guabalcón de la *Clasificación Agrológica de Suelos* de **Bennett** (1939) que se recoge en la tabla VII.8. Se recomienda utilizar esta clasificación de suelos tanto en el área ya citada de pastos y vegetación de chaparro como en el área de cultivos y pastos que se encuentra más abajo en la cuenca, por debajo de los 2000 m.s.n.m.

Tabla VII.8: Adaptación de la Clasificación Agrológica de Suelos para la cuenca del río Guabalcón. Fuente: UNESCO 2008.

Pendiente (%)	Clases edafológicas de suelos			
	ANDOSOLES	HISTOSOLES	CAMBISOLES	LEPTOSOLES
<12	A ₁	F ₃	A ₁	A ₃
12<P<24	A ₂	F ₃	A ₂	A ₃
24<P<30	A ₃	F ₃	A ₃	F ₁
30<P<60	F ₁	F ₃	F ₁	F ₂
>60	F ₂	F ₃	F ₂	F ₂

Los diferentes términos de la tabla representan:

A₁

Suelos agrícolas, profundos, que pueden cultivarse con sólo aplicar en ellos las buenas prácticas de labranza, medidas de conservación de suelos y control del riego.

A₂

Suelos agrícolas que requieren prácticas de conservación de suelos, además de todas las labores culturales de la clase precedente.

A₃

Suelos que requieren importantes trabajos de sistematización del terreno (abancalados) para poder conservarlos, además de todas las labores culturales anteriormente definidas para las clases precedentes. Estos suelos son más aptos para pastizales permanentes, aplicando siempre medidas para su buena conservación.



F₁

Suelos no aptos para agricultura por la elevada pendiente del terreno y por tener un perfil entre medio y poco profundo. Necesitan una cubierta permanente pero se pueden utilizar como pastizales, adoptando severas medidas de conservación de suelos, mientras no se manifiesten en ellos problemas serios de erosión hídrica.

F₂

Suelos típicamente forestales que necesitan una cubierta arbolada permanente para su conservación.

F₃

Suelos no productivos, en el caso que nos ocupa por ser suelos encharcados, pero que sí pueden soportar una cubierta vegetal que los protege.

La distribución de estas clases agrológicas dentro de la cuenca de estudio aparece representada en la figura VII.10.

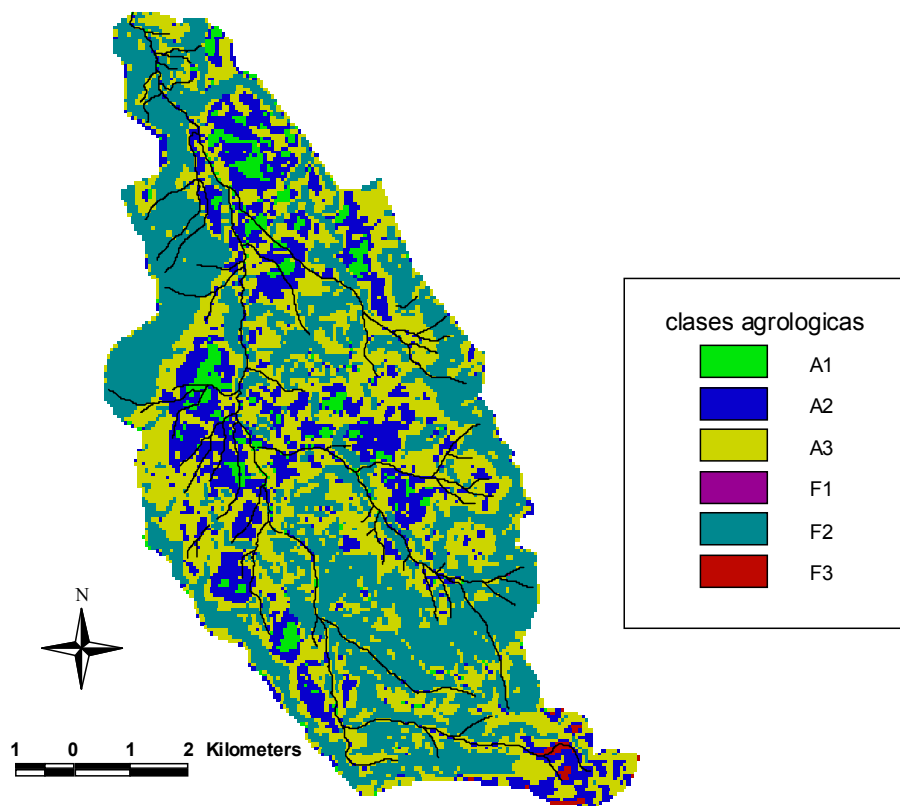


Figura VII.10: Clases agrológicas dentro de la cuenca del río Guabalcón.

Dentro de la zona dominada de la cuenca, conformada por los terrenos por debajo de los 2000 m es donde se presentan los riesgos más altos de movimientos en masa. En particular, las laderas que definen aquí el linde de la cuenca y los terrenos próximos a estas presentan riesgos evidentes de deslizamientos. Estas laderas, junto con las áreas identificadas como vulnerables en el mapa de riesgos, se aconseja no dedicarlas a ninguna actividad productiva. Además es conveniente impedir el asentamiento humano en sus cercanías. Convendría preservar la vegetación natural donde ya exista y potenciar una cubierta natural en aquellas zonas degradadas que en la actualidad estén rasas.

USO FORESTAL

Dentro de los terrenos clasificados con uso forestal por la clasificación agrológica de suelos, se debería proyectar una reforestación en zonas donde no exista ningún tipo de vegetación natural en la actualidad y donde aun existiendo, esta no vaya a ser capaz de colonizar los terrenos degradados que interesen proteger. Para esta reforestación con objetivos principalmente protectores se recomiendan especies autóctonas, que por sus características cumplan con este objetivo. **Zaruma Torres**, en el inventario botánico que realizó en la cuenca, destacó algunas especies que bajo su criterio podrían ser opciones interesantes a tener en cuenta para planificar una reforestación.

De todas esas especies a continuación se recogen aquellas que se han considerado más idóneas. Son en general especies autóctonas, que además de poder cumplir los objetivos protectores fijados, pueden ser aprovechadas por las comunidades, bien por sus frutos comestibles (tocte, camporoto), por los usos de su madera (molle, cedro) o por la calidad de su forraje como alimento de ganado (aliso). Los nombres y rangos altitudinales de cada especie aparecen recogidos en la tabla VII.9. Una ficha detallada de cada una se adjunta en el Anexo 2.

**Tabla VII.9: Especies propuestas para la reforestación de la cuenca del río Guabalcón**

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	RANGO ALTITUDINAL
<i>Schinus molle</i> L.	Molle, tancar	1000-2800 m.s.n.m
<i>Erhtrina edulis</i>	Camporoto	1200-2800 m.s.n.m.
<i>Alnus jorullensis</i> H.bk	Aliso, ram ram	1400-3200 m.s.n.m
<i>Juglans neotrópica</i>	Tocte, nogal	1500- 2800 m.s.n.m.
<i>Cedrella montana</i>	Cedro	2000-2800 m.s.n.m.

Las malezas y cultivos que en la actualidad cubren la zona más baja de la cuenca vienen caracterizados por las condiciones xerofíticas que soportan. En cuanto a los terrenos de la clase F₂, sería interesante la repoblación con especies de porte arbustivo como el molle (*Schinus molle* L.) o la Tara (*Caesalpinia spinosa* MOL.) y otras de porte arbóreo como *Juglans neotropica*, que a la vez que proporcionan una cubierta vegetal al suelo, protegiéndolo y reduciendo así los procesos erosivos, pueden también ser objeto de un aprovechamiento que reporte beneficios a los campesinos. Se podrían así mismo intentar repoblar con algunas de las plantas citadas en el apartado siguiente de usos agrícolas. Las fichas de todas estas especies también aparecen recogidas en el Anexo 2.

USO AGRÍCOLA

Los clases agrológicas fijan como terrenos aptos para uso agrícola aquellos comprendidos en las clases A₁ y A₂.

Los cultivos que hoy en día aparecen en la cuenca son sobre todo el fréjol, las arvejas, el maíz, las papas y en la zona de Piñancay el pepino dulce. Estos productos tienen mercado tanto en los alrededores como en las ciudades pero con precios muy oscilantes. Se podría intentar alternar con algunos cultivos mixtos o alguna técnica agroforestal, para intentar combinar estos cultivos tradicionales con otros que a lo mejor, como la guayaba, pueden ofrecer un mercado nuevo.

La rotación de los cultivos es algo fundamental dentro del buen manejo agrícola y no es nada común en el área. Se deberían programar rotaciones incluyendo siempre leguminosas en el ciclo.

En aquellas zonas de cultivos dentro de la zona más baja de la cuenca, donde las condiciones xerofíticas severas y las elevadas pendientes condicionan y limitan en gran medida la producción agrícola, se podrían plantear nuevos cultivos, que a la vez que supusiesen una fuente alternativa de ingresos sirvieran además como protección a sus frágiles suelos. Existen numerosas plantas tanto leñosas como herbáceas que tradicionalmente se han utilizado en Ecuador, y en esta región andina en particular, para el tejido de cestería, cordelería, la fabricación de escobas, sombreros y cajas. Estos productos, especialmente los de cestería y las cajas de paja, están comercializándose ampliamente en los mercados de las ciudades y las mayores ventas son para turistas extranjeros. Algunos incluso están siendo objeto de exportación (Macía M.J., 2006). Las especies que en la actualidad existen en la cuenca del río Guabalcón, y cuyo cultivo sería interesante estimular aparecen recogidas, junto con sus usos tradicionales en la tabla VII.10.

Tabla VII.10: Especies propuestas para el cultivo en la cuenca del río Guabalcón.

ESPECIE	USOS
<i>Agave americana</i>	Cordelería, bolsos, alfombras
<i>Baccharis obtusifolia</i>	Escobas
<i>Dalea coerulea</i>	escobas
<i>Juncus articus</i>	Joyereros, canastos
<i>Aulonemia queko</i>	cestería
<i>Chusquea scandens</i>	Sombreros, esteras, cercados



b. MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS NECESARIAS

Como se ha visto en la tabla de la clasificación agrológica de suelos, en los suelos de la clase A₂ son necesarias medidas de conservación de suelos para aplicar allí prácticas agrícolas o pascícolas. La elección de los métodos a utilizar se basa no solo en unos requerimientos técnicos y físicos, teniendo en cuenta el problema que se quiere solucionar y las características del medio donde se van a implementar, sino también hay que tener en cuenta el entorno social existente. Las medidas propuestas a continuación siguen las líneas de las que en la actualidad los agricultores ya conocen y en casos muy particulares incluso ya utilizan. Esto facilita la puesta en marcha y el mantenimiento a largo plazo. En cualquier caso, cuando se vayan a diseñar proyectos en parcelas concretas se deberán ajustar las propuestas según estos tres factores, técnico, físico y social.

BARRERAS VIVAS.

Consisten en hileras de plantas perennes y de crecimiento denso, sembradas a nivel. Su principal finalidad es reducir la velocidad del agua de escorrentía además de servir como filtros vivos, atrapando los sedimentos que lleva el agua de escorrentía. La barrera impide que el agua adquiera una velocidad erosiva al cortar la ladera en tramos de menor longitud, lo que además contribuye también a mejorar la infiltración de ésta.

Su efectividad es máxima hasta pendientes del 15% siempre que vayan acompañadas a su vez de buenas prácticas agronómicas.

Las principales ventajas de esta técnica es la sencillez de su puesta en marcha y el poco mantenimiento que requieren. Es aconsejable utilizar especies locales que el agricultor ya conozca y sepa aprovechar en un futuro.

TERRAZAS DE FORMACIÓN LENTA O ABANCALADO PROGRESIVO.

Es una práctica de conservación que en la actualidad se viene desarrollando en la zona. Consiste en disponer unos muros de baja altura en las tierras de cultivo de tal manera que poco a poco, con el lavado natural del terreno por las lluvias o por las mismas prácticas agrícolas, se vayan depositando los materiales y se vaya reduciendo las pendientes del terreno.

Es una técnica muy sencilla que en pendientes menores al 25% puede consistir simplemente en muretes de tierra y que en pendientes ya mayores es recomendable hacerlos con piedras o rocas que estén disponibles en la zona. Un ejemplo de esto último aparece representado en la figura VII.11 La distancia entre terrazas varía con la pendiente de la ladera, el tipo de suelo, la cantidad de precipitación y el tipo de cultivo.

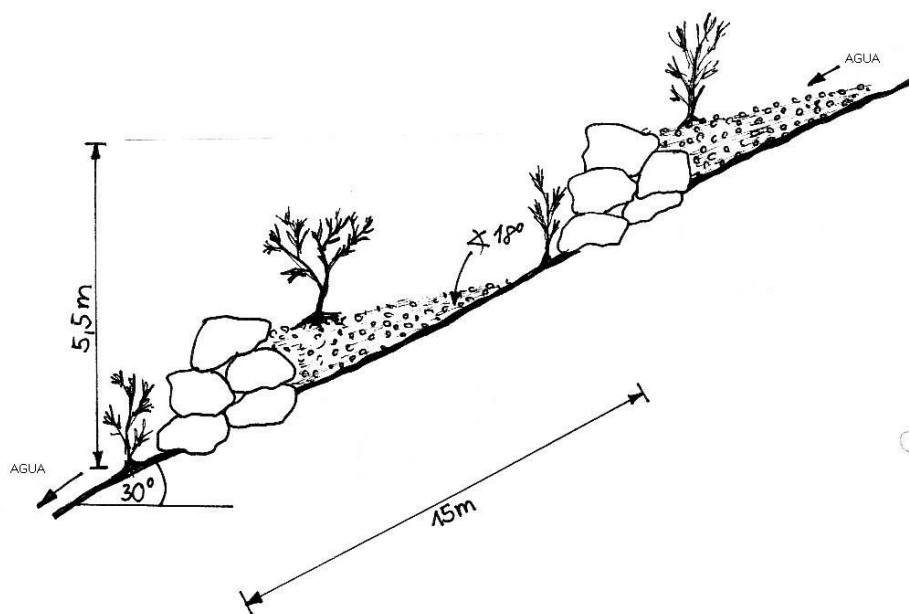


Figura VII.11: terrazas de formación lenta.

Es una práctica que sirve para detener el arrastre de los suelos, para guardar la humedad y para aprovechar mejor el terreno. La terraza tarda en formarse entre 3 y 5 años pero su gran ventaja es el bajo coste y la sencillez de su trazado.

La terraza puede proyectarse con una barrera viva en su parte superior conformada por árboles o arbustos lo que supone un conjunto de ventajas adicionales como por ejemplo un importante aporte de nutrientes al suelo y la posibilidad de aprovechar su madera y sus frutos.



c. ESCENARIO: PÉRDIDAS DE SUELO

En el apartado correspondiente al estudio de los procesos erosivos en la cuenca, se calculó ya un mapa de pérdidas de suelo de acuerdo a la situación actual de la cuenca. Se va a proceder a continuación a un nuevo cálculo de este mapa bajo una situación alternativa, que consiste en la incorporación de los cambios de los usos de suelo propuestos aquí y teniendo en cuenta el factor P de prácticas de conservación. Los valores de C asignados a los usos de suelo alternativos, según las tablas para el factor C propuestas por **Tragsa** (1994), aparecen recogidos en la figura VII.12.

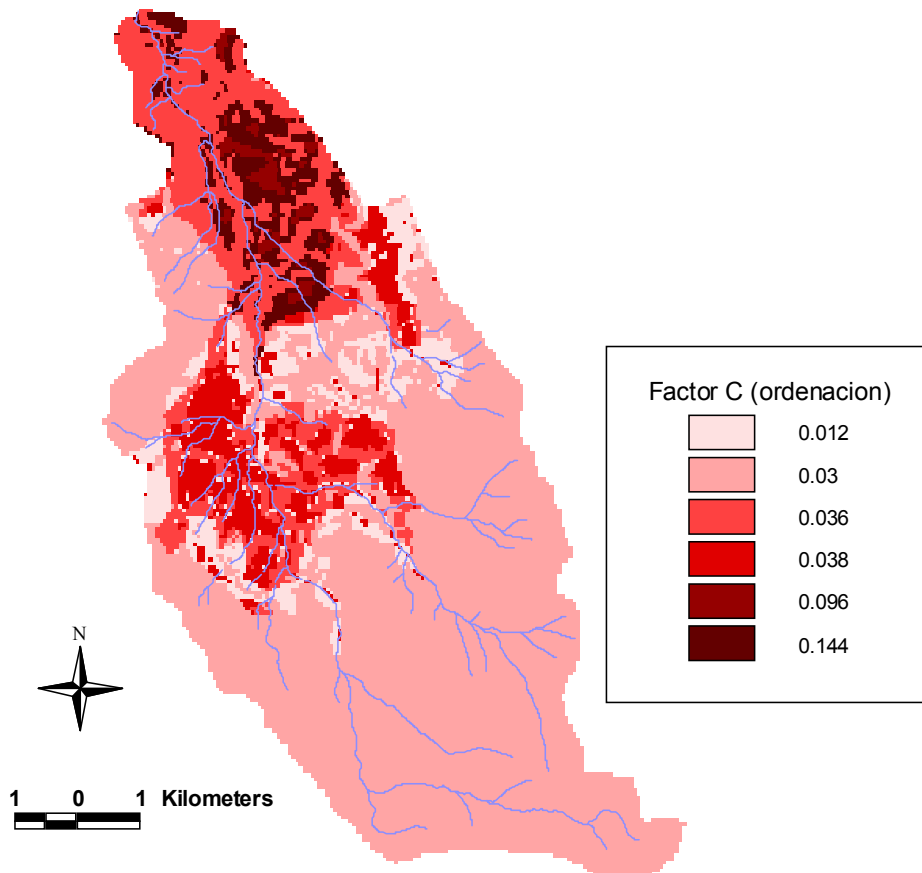


Figura VII.12: Distribución del factor C según los usos óptimos propuestos para la cuenca del río Guabalcón

Bajo este nuevo escenario, representado a través del factor C, se ha recalculado la pérdida potencial de suelo según el modelo U.S.L.E. (figura VII.13). Se han incorporado también los valores de P correspondientes a las medidas de conservación de suelos supuestas para las zonas que así lo requerían de acuerdo con la clasificación agrológica de suelos.

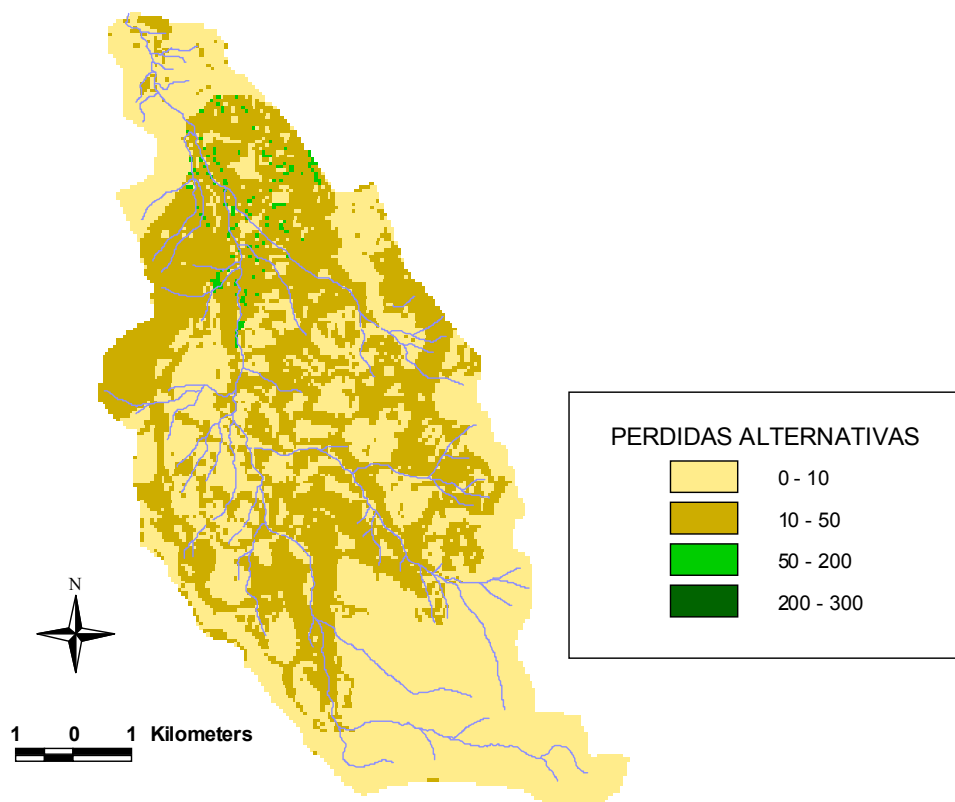


Figura VII.13: Pérdida potencial de suelo bajo escenario propuesto.



VIII. ORDENACIÓN AGRO-HIDROLÓGICA

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1: tabla de la Ordenación de la zona Dominante de la cuenca del río Guabalón (Ecuador).

ALTITUD	PENDIENTE	CUBIERTA VEGETAL	SUELO	PROBLEMA	CAPACIDAD DE REGENERACIÓN	USO DEL TERRITORIO	OBJETIVO
		ACTUAL	ADECUADA			ACTUACIONES	
AREA DOMINANTE > 2000 m	PARTE ALTA > 3600 m	PAJONAL	PAJONAL	ANDOSOLES	----	MANTENER SITUACIÓN ACTUAL	PROTECCIÓN C,D,F
	PARTE ALTA >2800 m y <3600 m	CHAPARRO Y PAJONAL	CHAPARRO Y PAJONAL	ANDOSOLES	Área vulnerable de erosión	MANTENER VEGETACIÓN ACTUAL	PROTECCIÓN B
	PARTE ALTA	VEGETACIÓN DE RIBERA	ARBOLADO	DEPÓSITOS COLUVIALES	Erosión por tracción de la corriente	MANTENER VEGETACIÓN Y PLANTAR DONDE NO EXISTA	PROTECCIÓN
ZONA CENTRAL >2000 m y >2800 m	P > 60%	CHAPARRO	CHAPARRO	PHAOZENS	Deslizamientos superficiales	MANTENER CHAPARRO	PROTECCIÓN G
	60% < P < 30%	PASTIZAL	PASTIZAL	variando hacia CAMBISOLES en zonas más planas	Reptaciones Barranqueras y Cárcavas Erosión superficial generalizada	REPOBLACIÓN FORESTAL para evitar erosión MANTENER PASTIZAL Para evitar erosión y deslizamientos: 1. TRANSFORMAR A CHAPARRAL. 2. REPOBLACIÓN FORESTAL	PROTECCIÓN /PRODUCCIÓN SOSTENIBLE H
	P < 30%	CHAPARRO	PASTIZAL-CHAPARRO	LEPTOSOLES en áreas más escarpadas	Reptaciones Barranqueras y Cárcavas Erosión superficial generalizada	MANTENER VEGETACIÓN EXISTENTE EN BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN Y CUBRIENDO EL SUELO	PRODUCCIÓN I,J

Tabla iError! No hay texto con el estilo especificado en el documento.:2: Tabla de ordenación del área dominada dentro de la cuenca del río Guabalcón (Ecuador).

ALTITUD	PENDIENTE	CUBIERTA VEGETAL	SUELO	PROBLEMA	CAPACIDAD DE REGENERACIÓN	USO DEL TERRITORIO	ACTUACIONES	OBJETIVO
		ACTUAL	ADECUADA					
AREA DOMINADA < 2000 m	P > 30%	ZONA CON RIESGO GRAVE DE DESLIZAMIENTOS. VEG. NATURAL DE PASTOS Y MATORRAL	SUELOS DESLIZANTES	Deslizamientos rotacionales		PROTECCIÓN	AISLAR SUPERFICIE SUSCEPTIBLE DE DESLIZAMIENTOS	A
	P > 30%	1. PASTOS BIEN CONSERVADOS (si controla la erosión) 2. ARBOLADO	LEPTOSOLES, CAMBISOLES	Reptaciones Regueros y Cárcavas Erosión superficial generalizada		PROTECCIÓN/ PRODUCCIÓN SOSTENIBLE	1. MANTENER LOS PASTOS 2. REPOBLACIÓN FORESTAL (si aparece erosión o deslizamientos)	K
	30% < P > 24%	Y CULTIVOS CON PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS	EÚTRICOS		BUENA	PRODUCCIÓN SOSTENIBLE	1. MANTENER LOS PASTOS 2. CULTIVOS CON PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.	L
	24% < P > 12%	PASTOS	CAMBISOLES EÚTRICOS (a veces	Regueros y Cárcavas Erosión superficial generalizada		PRODUCCIÓN	MANTENER CULTIVOS CON MEDIDAS DE CONSERVACIÓN	H
	P < 12%	CULTIVOS	vérticos)	Erosión laminar		PRODUCCIÓN		
	P > 30%	VEG. ARBOLADA XERÓFILA	LEPTOSOLES	Posibles deslizamientos y erosión		PROTECCIÓN	1. REPOBLACIÓN FORESTAL CON ESPECIES XERÓFILAS 2. CONSERVAR VEG EXISTENTE	A
	30% < P > 12%	MALEZA Y CULTIVOS	CAMBISOLES	Regueros y Cárcavas Erosión superficial generalizada	BUENA A REGULAR (en zonas más xerófilas)	PROTECCIÓN/ PRODUCCIÓN SOSTENIBLE	1. MANTENER TERRAZAS EXTREMANDO MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS 2. CONSERVAR VEG. NATURAL O REPOBLAR	L
	P < 12%	CULTIVOS	ALUVIAL O COLUVIAL	Erosión laminar		PRODUCCIÓN	MANTENER LOS CULTIVOS CON MEDIDAS DE CONSERVACIÓN	H
	P < 12%	RIBERAS Y MÁRGENES	ARBOLADO	COLUVIAL	Tracción de la corriente y conchas de erosión en los márgenes	BUENA A REGULAR	PROTECCIÓN	1. PROTEGER EL LECHO Y LOS MÁRGENES CON OBRAS HIDRÁULICAS PARA CONTROLAR EROSIÓN LINEAL 2. MANTENER VEG EXISTENTE

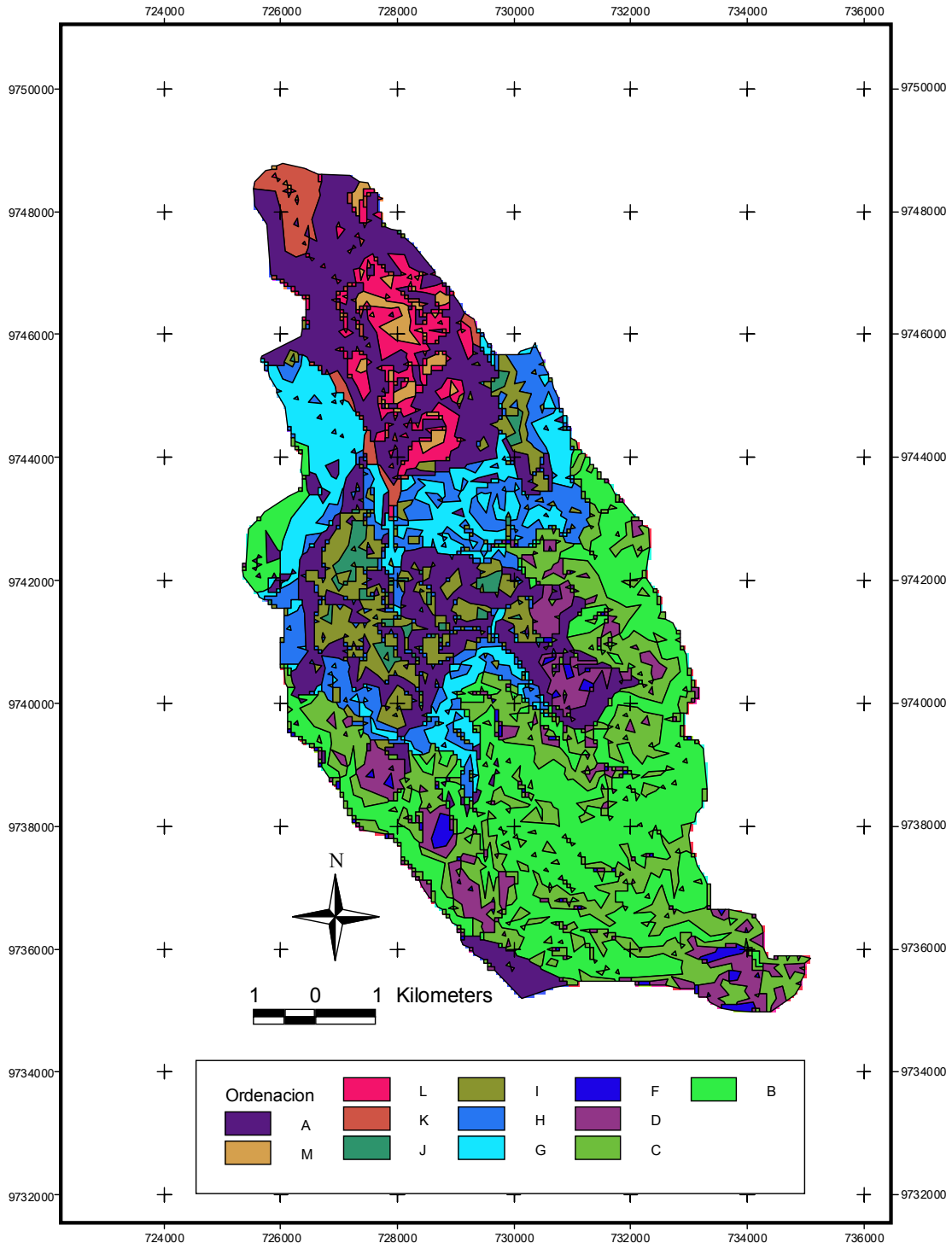


Figura VIII.1: Mapa de la Ordenación agro-hidrológica de la cuenca del río Guabalcón. La mancha A engloba todas aquellas áreas con muy alto riesgo de deslizamientos. El resto de la simbología corresponde a las tipologías definidas en las dos tablas anteriores.



IX. PROPUESTAS Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES



La cuenca del río Guabalcón es un área con una potencialidad tan grande como se ha visto a lo largo de este estudio que las actuaciones necesarias irán encaminadas a la consecución de la conservación de las áreas degradadas a través de ligeras intervenciones en el medio.

Los habitantes de la zona están viviendo momentos difíciles y es necesaria una reactivación de la economía local para evitar que continúen como hasta ahora unos procesos migratorios que podrían llegar a despoblar el área. Esta reactivación económica se puede plantear desde dos flancos; por una lado, a través de Proyectos de ordenación pascícola y por otro a través de la innovación en los cultivos.

La ordenación pascícola es en estos momentos fundamental, ya que la ganadería parece ser la principal actividad de la zona. En este sentido es necesario un estudio detallado de los pastos existentes para poder fijar unas capacidades de carga y unas variedades de ganado adecuadas para el lugar. Así mismo, sería necesario el estudio de los diversos métodos de conservación de forrajes y su idoneidad para esta zona ya que la temporada seca es la época que más condiciona la cabaña ganadera. En este sentido, sería también interesante el estudiar la vegetación natural de la zona buscando aquellas especies que mejor puedan ser aprovechadas como ramón y dar así un valor adicional a las amplias zonas de reforestación propuestas. No hay que olvidar que es fundamental que se perciba el medio natural como una fuente de riqueza que ellos a través de su conservación y buen manejo, puedan aprovechar.

En cuanto a los cultivos del área dominada de la cuenca, su situación actual implica en ciertas zonas una degradación del terreno a costa de un trabajo que además no obtiene rentabilidad. Es necesario limitar los cultivos tradicionales a las zonas más idóneas, en pendientes más o menos suaves y donde el suelo es apto para ello. En estas zonas, la rotación de cultivos, y la incorporación de sistemas de riego mecanizado, como por ejemplo el riego por goteo pueden optimizar en gran medida el uso de los recursos más importantes, el agua, que para ellos en determinadas épocas es un bien escaso, y el suelo. Además, las altas tasas de evapotranspiración que existen, justifican la implementación de técnicas como la labranza

cero. Esto es algo que rompe los esquemas de cultivo tradicionales en la zona, por lo que aún obteniéndose buenos resultados por esta técnica será complicado que se aplique de manera general como se está ya haciendo en otros lugares de América Latina, como Argentina o Venezuela. Es fundamental organizar sesiones en las juntas de regantes para exponer estas iniciativas, valorar su disposición e intentar adoptar un paquete de ideas que ellos vean como las más prioritarias y adecuadas para los problemas que tienen.

Los sistemas agroforestales y la innovación en las especies de cultivo podrían ser una opción para todas aquellas zonas más deprimidas donde los suelos no tienen capacidad para soportar una agricultura tradicional. Sería conveniente buscar en primer lugar las salidas comerciales que los productos tienen en el Ecuador y después plantear diversas posibilidades que los agricultores mismos pudiesen valorar.

Este paquete de medidas debe pasar a su vez una evaluación sobre el terreno, localizando las zonas más aptas para cada actividad y comprobando a través de dinámicas participativas las opiniones que de estas medidas tienen los campesinos. Sería también necesaria una evaluación económica de cada una de las actuaciones propuestas.

En cuanto a las actuaciones prioritarias según el estudio de riesgos presentado, es fundamental el delimitar en campo aquellas áreas con muy alto riesgo de movimientos en masa, ponerlas en conocimiento de la población y limitar de manera directa los asentamientos y actividades en las zonas colindantes. En los tramos de vías y caminos más afectados, las soluciones pasan por técnicas de ingeniería civil que sobrepasan el ámbito de actuación de este plan de ordenación, pero que se consideran esenciales por las experiencias ya vividas en la zona. Un estudio detallado de los deslizamientos, que pudiese llevar a su caracterización sería interesante a la hora de trabajar en los posibles desencadenantes de este fenómeno así como para intentar evaluar el aporte de sedimentos a la cuenca.

La reconstrucción del puente de Piñancay es una de las necesidades prioritarias de la población de la zona actualmente. Su reconstrucción debe hacerse a partir de estudios detallados de



estabilidad de las laderas adyacentes y de los caudales de avenida en ese punto, sobre los cuales en este proyecto ya se ha trabajado. Estos dos aspectos van a condicionar el tipo de estructura apropiada, que en cualquier caso va a necesitar una cimentación importante debido a las fuerzas de tracción tan elevadas que se estiman durante las avenidas. Aquí, como propuesta inicial a falta de estos estudios, se propone la estructura de Puente-rastrillo, cerrando el tramo final del río, que además de retener la erosión remontante, permitiera servir de apoyo a un puente para cruzar el río.

La reforestación de la zona más baja de la cuenca, donde por sus condiciones xerofíticas y las escarpadas pendientes no existe ningún aprovechamiento es una actuación si bien aconsejable, no prioritaria, en esa área no hay asentamientos humanos y es una zona tan degradada que los esfuerzos para su reforestación y para aplicar allí técnicas de conservación de suelos serían muchos y muy costosos. Por ello, aunque dentro de la ordenación de los usos del suelo está incluida su reforestación, el llevarla a cabo es un plan a largo plazo menos primordial.



X. CONCLUSIONES



Con el estudio que se ha desarrollado de la cuenca del río Guabalcón se ha intentado:

1. Realizar una recopilación de toda la información que hasta el día de hoy se tiene sobre los aspectos físicos, hidrológicos y socio-económicos de dicha cuenca, sobre los que se ha trabajado en el marco del Proyecto EPIC-FORCE en los tres años de su ejecución.
2. Sustentar una propuesta de ordenación agro-hidrológica de la cuenca, que establezca el marco de los usos más adecuados en sus diferentes áreas y ponga de manifiesto las actuaciones hidrológico-forestales, que permitan afianzar el marco agro-hidrológico sustentable de la misma; compaginando con una mayor seguridad de la cuenca ante la ocurrencia en ella de eventos torrenciales.

El proyecto fin de carrera que se concluye puede servir de plataforma sobre la que sustentar otros proyectos, que traten aspectos concretos que en éste se han analizado someramente. En esa línea sería interesante la realización de una evaluación económica sobre el terreno, de las medidas propuestas y del desarrollo de las dinámicas participativas que expliquen a las comunidades el contenido y las ideas del presente proyecto de ordenación, para intentar así poner en marcha las que se consideren más eficaces e interesantes.

Todas las medidas de restauración y protección que engloba esta ordenación se han definido como acciones a largo plazo. Ya se apuntó al principio del texto, que la ordenación de cuencas es un plan con medidas a desarrollar durante un dilatado periodo de tiempo, que requiere fuertes inversiones, que muchas veces es imposible mantener durante todo ese tiempo. Es por tanto necesario tener presente cuales son las acciones prioritarias e intentar avanzar en su ejecución. A ellas se referirá a continuación:

1. La primera de ellas, sin lugar a dudas, es la protección del páramo con la declaración de alguna figura legal, conjuntamente con la adopción de las medidas pertinentes para el cumplimiento de las conductas que esta figura imponga; esto permitiría mantener en las áreas dominantes de la cuenca una estructura vegetal natural, estratégicamente bien

ubicada y de especial importancia para la conservación del buen funcionamiento hidrológico de la cuenca, que redundaría también en la protección de la misma ante los eventos torrenciales.

2. Otro aspecto, que se ha resaltado en todo el texto, son los efectos de los importantes deslizamientos rotacionales que se dan en la cuenca. Si bien el control de los mismos rebasa la capacidad protectora que puedan aportar las acciones propias de un plan de ordenación agro-hidrológica de la cuenca, éste puede sin embargo constituir una estructura que reduzca la aparición de deslizamientos superficiales, que de otra manera pueden convertirse con el tiempo en movimientos en masa de grandes dimensiones, que muchas veces desembocan en deslizamientos. En cualquier caso, es necesario seguir trabajando en la caracterización de estos deslizamientos, en sus causas y en las medidas a adoptar para proteger de ellos a la población.
3. Pero para lo que realmente resulta eficiente la ordenación agro-hidrológica de la cuenca, es en el control de la erosión superficial en cultivos y pastizales y también en la protección de las laderas de pendientes elevadas ante los fenómenos de reptación.
4. El riesgo de erosión en los cauces de la cuenca del río Guabalcón, especialmente en su cauce principal, es potencialmente muy elevado; a causa de las fuertes pendientes que presentan a lo largo de sus recorridos y de la vulnerabilidad de los materiales que configuran sus perfiles de evacuación; aunque sólo en sus tramos medio y bajo presentan verdaderos riesgos en la actualidad, que afectan a la erosión del lecho y los consiguientes derrumbes de las laderas que conforman su cauce. Especialmente importante es en el propio río Guabalcón en su recorrido por el paraje de Piñancay, donde se aprecia una fuerte erosión de fondo y una inestabilización del margen izquierdo. Ante cualquier infraestructura que se proyecte construir en la zona que esté relacionada con el río, como por ejemplo la construcción de un puente sobre el mismo, se debe asegurar previamente la estabilización del cauce en el tramo que vaya a ser afectado. Por esta razón se recomienda la construcción de un puente-badén, que sirva al mismo tiempo para estabilizar el cauce y facilitar el tránsito rodado en la zona.
5. En lo que respecta a los aspectos específicos sobre la Hidrología del río Guabalcón que se han realizado en este proyecto de fin de carrera, se señala que en los cálculos desarrollados dentro del capítulo de comportamiento hidrológico, se ha apoyado sobre series de datos de diferentes fuentes y diferentes periodos temporales. Ambos aspectos,



especialmente el segundo, se deben tener presentes al valorar los parámetros obtenidos y utilizados en los cálculos posteriores. Los valores del Número de Curva (NC) y del tiempo de concentración t_c , calibrados a partir de tormentas aisladas, corresponden a unos datos de precipitación de menos de 2 años de duración. Sería necesario por ello su revisión cuando se cuente con una mayor información al respecto. Un caso distinto es el del parámetro K de **Témez**, que se ha calibrado a partir de una serie mucho mayor de tormentas, gracias a la extensa red de pluviógrafos que el PROMAS monitorea en el área del proyecto. No se ha podido calibrar sin embargo el parámetro “a” de la ecuación propuesta por **De Salas**, algo importante para poder aplicar de manera precisa su ecuación en la zona del proyecto.

6. El mapa de usos de suelo sobre el que se ha sustentado la ordenación agro-hidrológica de la cuenca del río Guabalcón, tal vez no presente el detalle que sería deseable; pero se trata del documento disponible y su estructura y contenido son plenamente fiables para la escala adoptada; por lo que permite la mejor de las ordenaciones posibles para la fecha. Aunque esta circunstancia haya podido limitar los resultados que se podían obtenerse e influido en el cálculo de diversos parámetros hidrológicos, que a través de una información más detallada podrían haberse obtenido con mejores ajustes, no altera sustancialmente las propuestas agronómicas planteadas.
7. A través de las propuestas de actuaciones sobre los usos de suelo y agua, se ha intentado dar respuesta a aquellos problemas que la población identifica como prioritarios; en esta línea, el objetivo que se podría destacar como más acuciante, mitigar las situaciones de pobreza, se ha planteado a través de la puesta en valor del suelo, el único activo que muchas veces se posee, optimizando sus usos, con un cambio de cultivos que se acerquen más a las demandas comerciales del momento e incorporando nuevas técnicas de manejo que mejoren la producción de las áreas pascícolas y optimicen el recurso agua.

En definitiva, se ha intentado aportar soluciones y alternativas que, por un lado, aseguren la conservación y protección de los ecosistemas naturales, que para la cuenca tienen un valor ecológico elevado, y por otro aporten nuevas oportunidades a su población.



I. BIBLIOGRAFÍA



- Armas C.M. et al** (2004), *Erodibility of Forest Andosols and Soil Properties*, International Soil Conservation Organization Conference- Brisbane, July 2004
- Blaney H.F. ; Criddle W.D.** (1950) Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, *USDA Division Irrigation and Water Conservation, SCS TP-96*, August.
- Bennet H.H.** (1939) *Soil Conservation*, Mac Graw-Hill Co., pp 993, New York
- Calder I.**(2000), Land use impacts on water resources. Land-Water Linkages in Rural Watersheds, Electronic Workshop, FAO, Rome, Italy.
- Calder I. (2006)**, Forest and Floods: Moving to an Evidence-based Approach to Watershed and Integrated Flood Management. *Water International*, Vol.31 Num 1, Newcastle.
- Cisneros P. y Alvarado A.** (2006), *Uso de las Tecnologías Espaciales para la Evaluación, Monitoreo y Manejo de Desastres Naturales en Agricultura*, Red temática UTEEDA, Cuenca, Ecuador.
- Cisneros P** (2006), informe de suelos del Austro ecuatoriano, en prensa.
- Chow V.; Maidment D.R. y Mays L.W.** (1994) *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill, 580 pp
- Colotti E.** (2004), *Aplicabilidad de los datos de lluvia horaria en el cálculo de la erosidad*. Fondo editorial de humanidades y educación. Colección Académica. Serie de trabajos de Ascenso. Departamento de Publicaciones Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Coltorti M.; Ollier C.,** (2000), Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology* Vol 32, pp 1-19.
- De Salas Regalado L.** (2006): *Estimación de la intensidad máxima anual para una duración y periodo de retorno determinados en la España Peninsular mediante la aplicación informática MAXIN*. U. D. Hidráulica e Hidrología E. U. I. T. Forestales, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 45, Madrid.

-
- De Salas Regalado L.; Fernández Yuste J. A.** (2006): *Regionalización “intraestación” de la intensidad de lluvia máxima anual: una solución ante la escasez de información espacial en España*, Proceedings de la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica de Sevilla, CDRom – ISBN 84-8320 373-1, pp. 4, Ministerio de Medio Ambiente.
- Dercon G. et al** (1998), *Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano*. pp 148, U ediciones, Cuenca.
- 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.
- FAO UNESCO** (1971), *Soil map of the world*. Vol IV, South America. Paris.
- FAO** (1978), *Report on the agroecological zones project*, Vol 1, Rome.
- FAO** (1997), Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos. –Boletín de Tierras y Aguas de la FAO 8. Roma.
- FAO** (1999) World reference Base for soil resources, *World soil resources reports*. pp 251.
- Fournier F. (1960)**, *Climat et erosion*, pp 201, Presses Universitaires de France, Paris.
- Gandullo J.M.** (2000), *Climatología y Ciencia del suelo*. pp. 408. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- García Nájera J.M.** (1943, 1962), *Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones a la corrección de torrentes*. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias I.F.I.E., pp. 297, Madrid
- Holdridge L.R.** (1967), *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica
- Hossne García A.J et al** (2006), Evaluación ingenieril, agronómica y económica de la labranza cero en Venezuela. *Revista UDO Agrícola* 6 (1) pp 47-59.
- La Torre M. et al** (2003), Las poáceas del parque Nacional Yamachaga-Chemillén, Oxapampa, Perú. Facultad de ciencias *Biológicas UNMSM*, Rev. peru. biol. 10(2): 145 - 154 (2003).
- Laws, J.O. and Parsons, D.A.**, 1947. The Relation of Raindrop Size to Intensity. *Trans. Am. Geophys. Union*, 24: 452-460.



- Macía M.J.** (2006), Las plantas de fibra, *Botánica económica de los Andes Centrales*, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Maldonado C.; Mintegui J.A.** (2007) Ordenación Hidrológico-Forestal de la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica). Proyecto Fin de Carrera para la E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente** (2005): Guía para la elaboración de estudios del medio físico.
- Ministerio de Medio Ambiente:** Plan nacional de Erosión de suelos 2002-2012.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería** (2005), *Diagnostico Participativo, socio económico y de situación organizacional de las comunidades campesinas del cantón Chunchi*. Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional Gobierno Municipalidad de Chunchi.
- Ministerio de Salud Pública Ecuatoriano** (1998), *El fenómeno el Niño en Ecuador*. pp 58.
- Mintegui Aguirre J.A.** (1987), Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica: Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud de declive en un terreno. *Comunicaciones de la V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica, Vol III, pp. 2229-2245.
- Mintegui Aguirre J.A.; De Simón Navarrete E.; Robredo Sánchez J.C.** (1993) *La restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, pp. 325, Sevilla.
- Mintegui Aguirre J.A.; Robredo Sanchez J.C., Sendra Arce P.J.** (2003), *Avenidas torrenciales en el Arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Naturaleza y Parques Nacionales, Serie Técnica, Madrid.
- Mintegui Aguirre J.A.; Robredo Sanchez J.C.** (2006) Delimitación de los objetivos de proyecto EPIC FORCE en la ordenación agro-hidrológica de cuencas, EPIC FORCE Nota técnica nº 1, pp 6.
- Mintegui Aguirre J.A.; Robredo Sanchez J.C., García Viñas J.I., López Leiva C.** (2006): Introducción a la restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas, *Ecología*, núm. 20, pp. 389-414, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.

-
- Novak P. et al** (1990), *Hydraulic Structures*, Unwin Hyman, London.
- Ollero A. et al.** (2004), *Tramificación de la red fluvial de la cuenca del río Ebro*, Informe Técnico del Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- ONU** (2006), *The Millenium Development Goals Report*, New York.
- Penmam H.L.** (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proceeding of the Royla I Society*, London, A 193, pp 120-146.
- Ponce V.M.** (1989), *Engineering Hydrology: Principles and Practices*, Prentice Hal, New Jersey, pp 640.
- Promas** (2006), Informe Guabalcón, Informe de proyecto EPIC FORCE, sin publicar.
- Promas** (2007), Informe Deslizamientos Guabalcón, Informe de proyecto EPIC FORCE, sin publicar.
- Promas** (2007), Análisis de sedimentos de la cuenca del río Guabalcón, Informe de proyecto EPIC FORCE, sin publicar.
- Promas** (2007), Informe de investigación: Medición y análisis de la variabilidad espacial de la precipitación en microcuencas de montaña. Universidad de Cuenca, sin publicar.
- Promas (2007)**, *Relación espacial de los diferentes tipos de cobertura entre la Cuenca del río Chanchán y la microcuenca del río Guabalcon*, informe para el proyecto EPIC FORCE, en prensa.
- Renard, K.G., G.R. Foster, D.C. Yoder, and D.K. McCool.** (1994). RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49(3):213-220.
- Robredo Sánchez J.C.; Mintegui Aguirre J.A.** (1994) Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente, *Revista Ingeniería del Agua*, Vol.1 número 4, pp 79-100.
- Roldán M.; Fernández Yuste J. A.** (2006): *Erosión de la lluvia: Obtención de la relación Energía Cinética –Intensidad con registros automáticos de precipitación*, Proceedings de la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica de Sevilla, CDROM – ISBN 84-8320 373-1, pp. 4, Ministerio de Medio Ambiente.



- Roldán Soriano M.** (2005): *Características de la precipitación y erosividad*, Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Forestal, E. U. I. T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.
- Samaniego Rojas C.** (2007), *Las fuentes semilleras y semillas forestales nativas en el austro ecuatoriano, participación social en el manejo*. Informe de la Fundación ecológica Condesur. Ecuador.
- Sarandón R. et al (2006)**, Factors affecting the occurrence of hydrological events and subsequent damages. Draft Technical Note nº2, EPIC FORCE, La Plata.
- Strahler, A.N.**(1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*, 1964, Section 4 - I, p. 39-76.
- Témez y Ministerio de Obras Públicas, (1987)**, Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Alanmer, Madrid, pp 123.
- Thorntwaite C.W.; Holzman B.** (1939) The determination of evaporation from land and water surfaces, *Monthly Weather Rev.*, Vol. num. 67, pp 4-11
- Tragsa** (1994) *Restauración Hidrológico Forestal de cuencas y Control de la erosión*.pp 929, Ministerio de Medio Ambiente, Transa y Transatec, Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Turc L.** (1961) Evaluation des besoins en eau d'irrigation: evapotranspiration potentielle, INRA, *Ann. Agro.*, Núm 12, pp 13-46.
- Unesco (2008)**, *Estrategias para el Control de los Fenómenos Torrenciales y la Ordenación Sustentable de las Aguas, Suelos y Bosques de las Cuencas de Montaña*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, nº 13.
- U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center** (2000) HEC-HMS (*Hydrological Modeling System*), version 3.1, Technical Reference Manual, A D Feldman, edit., Washington D.C.
- Williams J. R.** (1975), *Sediment-yield prediction with Universal Equation using run-off energy factor*, Agricultural Research Service (A.R.S.) num. 40, U.S.A. Department of Agriculture, pp. 244-252.

-
- Winkel, A., Zebrowski, C., Sourdat, M.,** (1991). *Geografía básica del Ecuador. Tomo IV Geografía física. Las regiones y paisajes del Ecuador.* Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, vol. II. Quito, Ecuador.
- Wischmeier W.H.** (1959) A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation, *Proceeding Soil Scientific Society of America* 23, Madison, Wisconsin, pp 246-249.
- Wischmeier W.H.** (1960) Cropping management factor evaluation of a Universal Soil Loss equation. *Proceeding Soil Scientific Society of America* 23, Madison, Wisconsin, pp 322-326.
- Wischmeier W.H.; Smith D.D.** (1978) Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning, pp 58. *Agricultural Handbook*, num 537, Washington DC.
- Zaruma Torres J.** (2007), *Caracterización de la Cuenca del río Guabalcón.* Tesis de Maestría del programa PROMAS, Universidad de Cuenca, Ecuador.

REFERENCIAS DE SITIOS WEB CONSULTADOS

- Clayton, W.D., Harman, K.T. and Williamson, H.** (2006). GrassBase - The Online World Grass Flora. <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. [consultado 04 Junio 2008; 15:30 GMT].
- DAMA**, Departamento Técnico de Medio Ambiente de Colombia, <http://201.245.192.252/dama/libreria/php/decide.php?patron=03.1305020113&numm=19> [consultado 4 de Junio 17:00 GMT].
- GBIF**, Global Biodiversity Information Facility, <http://data.gbif.org/species>, [consultado 9 de Junio de 2008 19:30 GMT]
- NOAA**, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce, El Niño Page, <http://www.elnino.noaa.gov/> [consultado 27 de Mayo de 2008, 17:00 GMT].



ANEXOS



ANEXO 1: INVENTARIO BOTÁNICO



FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	HÁBITO
ACANTHACEAE	<i>Aphelandra</i>	<i>acanthus</i>		arbusto
ACANTHACEAE	<i>Thunbergia</i>	<i>alata</i>		arbusto
ACANTHACEAE	<i>Saurauia</i>	<i>adenodonta</i>	Moco	árbol
AGAVACEAE	<i>Agave</i>	<i>americana</i>	Penco	arbusto
AGAVACEAE	<i>Furcroya</i>	<i>gigantea</i>	Penco blanco	arbusto
AGAVACEAE	<i>Yucca</i>	<i>guatemalensis</i>	Flor de novia	arbusto
ALSTROEMERACEAE	<i>Bomarea</i>	<i>chimborazensis</i>	Bejuco	Hierba
AMARANTHACEAE	<i>Alternanthera</i>	<i>porrigens</i>		Hierba
AMARANTHACEAE	<i>Iresine</i>	<i>diffusa</i>		Trepadora
AMARYLLIDACEAE	<i>Phaedranassa</i>	<i>glauciflora</i>		arbusto
ANACARDIACEAE	<i>Schinus</i>	<i>molle</i>	Molle	árbol
APIACEAE	<i>Arracacia</i>	<i>andina</i>	Morilla	Hierba
APIACEAE	<i>Azorella</i>	<i>pedunculata</i>	Siempreviva	Hierba
APIACEAE	<i>Eryngium</i>	<i>humile</i>	Cordón Santo	Hierba
APIACEAE	<i>Hydrocotyle</i>	<i>sp.</i>		Hierba
AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex</i>	<i>sp.</i>		arbolito
ARACEAE	<i>Anthurium</i>	<i>andinum</i>	Anturio	arbusto
ARACEAE	<i>Anthurium</i>	<i>avatifolium</i>	Anturio	arbusto
ARALIACEAE	<i>Oreopanax</i>	<i>andreas</i>	Pumamaqui	Árbol
ARALIACEAE	<i>Oreopanax</i>	<i>avidenniifolius</i>	Pumamaqui	arbusto
ASCLEPIADACEAE	<i>Cynanchum</i>	<i>tarmense</i>	Bejuco	Arbusto
ASTERACEAE	<i>Ageratina</i>	<i>sp.</i>	Pedorrera	Arbusto
ASTERACEAE	<i>Ambrosia</i>	<i>arborescens</i>		Arbusto
ASTERACEAE	<i>Baccharis</i>	<i>huairacajensis</i>	Chilca	arbusto
ASTERACEAE	<i>Baccharis</i>	<i>latifolia</i>	Chilca	arbusto
ASTERACEAE	<i>Baccharis</i>	<i>obtusifolia</i>	Chilca	arbusto
ASTERACEAE	<i>Barnadesia</i>	<i>arborea</i>		arbusto
ASTERACEAE	<i>Bidens</i>	<i>alba</i>	Caracha	Hierba
ASTERACEAE	<i>Bidens</i>	<i>andicola</i>	Caracha	Hierba
ASTERACEAE	<i>Gynoxys</i>	<i>buxifolia</i>	Tucshi	arbolito
ASTERACEAE	<i>Gynoxys</i>	<i>laurifolia</i>	Guangalo	árbol
ASTERACEAE	<i>Joseanthus</i>	<i>cuatrecasanii</i>		arbusto
ASTERACEAE	<i>Munnozia</i>	<i>senecionidis</i>		árbol
ASTERACEAE	<i>Senecio</i>	<i>urbani</i>	Llipis	Hierba
ASTERACEAE	<i>Sigesbeckia</i>	<i>sp.</i>		Hierba
ASTERACEAE	<i>Smallanthus</i>	<i>sp.</i>		arbusto
ASTERACEAE	<i>Sonchus</i>	<i>oleraceus</i>	Cerraja	Hierba
ASTERACEAE	<i>Tagetes</i>	<i>multiflora</i>		Hierba
ASTERACEAE	<i>Verbesina</i>	<i>latisquama</i>		Arbusto
ASTERACEAE	<i>Werneria</i>	<i>nubigena</i>		Hierba
ASTERACEAE	<i>Xenophyllum</i>	<i>sp.</i>		Hierba
BERBERIDACEAE	<i>Berberis</i>	<i>sp.</i>	Chupillay	Arbusto
BETULACEAE	<i>Alnus</i>	<i>acuminata</i>	Aliso	Árbol
BIGNONIACEAE	<i>Delostoma</i>	<i>integrifolium</i>	Guayllu	Árbol
BLECHNACEAE	<i>Blechnum</i>	<i>auratum</i>	Chonta	Helecho
BORAGINACEAE	<i>Cordia</i>	<i>lantanoides</i>		arbusto
BORAGINACEAE	<i>Tournefortia</i>	<i>scabrida</i>		Arbolito

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	HÁBITO
BRASSICACEAE	<i>Nasturtium</i>	<i>officinale</i>		Hierba
BROMELIACEAE	<i>Tillandsia</i>	<i>complanata</i>	Huaicundo	Epifita
CACTACEAE	<i>Echinopsis</i>	<i>pachanoi</i>	Cactus	Arbolito
CACTACEAE	<i>Opuntia</i>	<i>soederstromiana</i>	Cactus	Arbolito
CAESALPINIACEAE	<i>Caesalpinia</i>	<i>spinosa</i>	tara	Arbolito
CAESALPINIACEAE	<i>Senna</i>	<i>multiglandulosa</i>	chical	Arbusto
CAMPANULACEAE	<i>Cenropogon</i>	<i>sp.</i>		Arbusto
CAMPANULACEAE	<i>Siphocampylus</i>	<i>giganteus</i>	lechero	Arbusto
CAPPARACEAE	<i>Cleome</i>	<i>anomala</i>		Arbusto
CAPRIFOLIACEAE	<i>Viburnum</i>	<i>triphyllum</i>	tillo	Arbolito
CELASTRACEAE	<i>Maytenus</i>	<i>verticillata</i>		Arbolito
CLETHRACEAE	<i>Clethra</i>	<i>fimbriata</i>		Arbolito
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i>	<i>sp.</i>	Lamay	árbol
CLUSIACEAE	<i>Hypericum</i>	<i>laricifolium</i>	Romerillo	subarbusto
CORIARIACEAE	<i>Coriaria</i>	<i>ruscifolia</i>	Veneno	Arbusto
CORNACEAE	<i>Cornus</i>	<i>peruviana</i>		Arbusto
CYPERACEAE	<i>Cyperus</i>	<i>rotundus</i>	Coquito	Hierba
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora</i>	<i>vulcani</i>		Hierba
DICKSONIACEAE	<i>Dicksonia</i>	<i>sellowiana</i>	Helecho	helecho
ELAEOCARPACEAE	<i>Vallea</i>	<i>stipularis</i>	sacha capulí	árbol
EPHEDRACEAE	<i>Ephedra</i>	<i>americana</i>		Hierba
AQUISETACEAE	<i>Equisetum</i>	<i>bogotense</i>	Cola de caballo	Hierba
EQUISETACEAE	<i>Equisetum</i>	<i>sp.</i>	Cola de caballo	Hierba
ERICACEAE	<i>Cavendisha</i>	<i>sp.</i>	Joyapa	Arbusto
ERICACEAE	<i>Ceratostema</i>	<i>sp.</i>	Zalapa	Arbusto
ERICACEAE	<i>Gaultheria</i>	<i>glomerata</i>	Joyapa	Arbusto
ERICACEAE	<i>Gaultheria</i>	<i>tomentosa</i>	Huevo de Gallo	Arbusto
ERICACEAE	<i>Mackleania</i>	<i>rupestris</i>	Zalapa	Arbusto
ERICACEAE	<i>Vaccinium</i>	<i>sp.</i>	Pepa de raposo	Arbusto
EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia</i>	<i>laurifolia</i>	Espino	Arbolito
EUPHORBIACEAE	<i>Phyllanthus</i>	<i>salvifolius</i>		Arbolito
EUPHORBIACEAE	<i>Ricinus</i>	<i>comunis</i>		Arbusto
FABACEAE	<i>Dalea</i>	<i>coerulea</i>	Dalia	Arbusto
FABACEAE	<i>Erythrina</i>	<i>edulis</i>	Camporoto	Árbol
FABACEAE	<i>Indigofera</i>	<i>tephrosioides</i>		Hierba
FABACEAE	<i>Lupinus</i>	<i>mutabilis</i>	Sacha chocho	Hierba
FABACEAE	<i>Melilotus</i>	<i>alba</i>		Arbusto
FABACEAE	<i>Rhynchosia</i>	<i>senna</i>		Arbusto
FABACEAE	<i>Spartium</i>	<i>junceum</i>	Retama	Arbusto
FABACEAE	<i>Trifolium</i>	<i>repens</i>	Trebol blanco	Hierba
FABACEAE	<i>Vicia</i>	<i>sp.</i>	Porotillo	Hierba
GENTIANACEAE	<i>Centaurium</i>	<i>erythraea</i>	Globitos	Arbusto
GENTIANACEAE	<i>Gentianella</i>	<i>longibarbata</i>	Globitos	subarbusto
GENTIANACEAE	<i>Gentianella</i>	<i>sp.</i>	Globitos	Hierba
GROSSULARIACEAE	<i>Escallonia</i>	<i>myrtilloides</i>	Chachaco	Árbol
IRIDACEAE	<i>Crocsmia</i>	<i>xcrocsmiiflora</i>	Clavelillo	Hierba
IRIDACEAE	<i>Sisyrinchium</i>	<i>sp.</i>	Clavelillo	Hierba
JUGLANDACEAE	<i>Juglans</i>	<i>neotropica</i>	Nogal	Árbol
JUNCACEAE	<i>Juncus</i>	<i>sp.</i>	Junco	Hierba
LAMIACEAE	<i>Minthostachys</i>	<i>mollis</i>		Arbusto
LAMIACEAE	<i>Salvia</i>	<i>corrugata</i>	Salvia	Arbusto



FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	HÁBITO
LAMIACEAE	<i>Salvia</i>	<i>sp.</i>	Salvia	Arbusto
LAURACEAE	<i>Ocotea</i>	<i>heterochroma</i>	Canelo	Arbolito
LAURACEAE	<i>Ocotea</i>	<i>infrafoveolata</i>	Canelo	Árbol
LORANTHACEAE	<i>Gaiadendron</i>	<i>punctatum</i>	Violeta	Arbolito
LORANTHACEAE	<i>Tristerix</i>	<i>longebracteatus</i>	Zarcillo	Arbusto
MALVACEAE	<i>Hibiscus</i>	<i>rosa-sinensis</i>	Cucarda	Arbusto
MELASTOMATACEAE	<i>Axinaea</i>	<i>affinis</i>	Coloradillo	Arbusto
MELASTOMATACEAE	<i>Axinaea</i>	<i>sessilifolia</i>	Manzanito	Arbolito
MELASTOMATACEAE	<i>Brachyotum</i>	<i>confertum</i>	Zarcillejo	Arbusto
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia</i>	<i>aspergillaris</i>	Colca	Arbolito
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia</i>	<i>bracteolata</i>	Colca	Arbolito
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia</i>	<i>crocea</i>	Shiran	Arbolito
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia</i>	<i>theaezans</i>	Colca	Árbol
MELIACEAE	<i>Cedrela</i>	<i>montana</i>	Cedro	Árbol
MELIACEAE	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i>	Cedrilla	Árbol
MELIACEAE	<i>Ruagea</i>	<i>sp.</i>	Rosado	Árbol
MIMOSACEAE	<i>Acacia</i>	<i>dealbata</i>	Acacia	Árbol
MIMOSACEAE	<i>Inga</i>	<i>edulis</i>	Guabo	Árbol
MIMOSACEAE	<i>Mimosa</i>	<i>andina</i>	Iso	Arbusto
MONIMIACEAE	<i>Siparuna</i>	<i>sp.</i>	Palo hediondo	Árbol
MYRICACEAE	<i>Myrica</i>	<i>parvifolia</i>	Laurel de cera	Arbolito
MYRICACEAE	<i>Myrica</i>	<i>pubescens</i>	Laurel de cera	Arbolito
MYRSINACEAE	<i>Geissanthus</i>	<i>vanderwerfii</i>	Zhiripe	Arbusto
MYRSINACEAE	<i>Myrsine</i>	<i>andina</i>	Zhiripe	Arbolito
MYRSINACEAE	<i>Myrsine</i>	<i>dependens</i>	Yubar	Árbol
MYRTACEAE	<i>Eucalyptus</i>	<i>globulus</i>	Eucalipto	Árbol
MYRTACEAE	<i>Eugenia</i>	<i>sp.</i>	Arrayan	Arbolito
MYRTACEAE	<i>Myrcianthes</i>	<i>rhopaloides</i>	Arrayan	Árbol
MYRTACEAE	<i>Myrcianthes</i>	<i>sp.</i>	Arrayan	Arbolito
ONAGRACEAE	<i>Fuchsia</i>	<i>loxensis</i>	Pena pena	Arbusto
ORCHIDACEAE	<i>Altensteina</i>	<i>sp.</i>	Órquidea	Terrestre
ORCHIDACEAE	<i>Cyrtochylum</i>	<i>sp.</i>	Orquidea	Terrestre
ORCHIDACEAE	<i>Epidendrum</i>	<i>secundum</i>	Maigua	Terrestre
ORCHIDACEAE	<i>Epidendrum</i>	<i>sp.</i>	Orquidea	Terrestre
ORCHIDACEAE	<i>Trichoceros</i>	<i>sp.</i>	Orquidea	Terrestre
OXALIDACEAE	<i>Oxalis</i>	<i>sp.</i>	Chulco	Hierba
PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora</i>	<i>sp.</i>	Gullo	Bejuco
PHYTOLACCACEAE	<i>Phytolacca</i>	<i>bogotensis</i>	Atucsara	Hierba
PINACEAE	<i>Pinus</i>	<i>radiata</i>	Pino	Árbol
PIPERACEAE	<i>Peperomia</i>	<i>sp.</i>	Matiquillo	Hierba
PIPERACEAE	<i>Piper</i>	<i>hypoleucum</i>	Matico	Arbusto
PLANTAGINACEAE	<i>Plantago</i>	<i>sericea</i>	Lantén	Hierba
POACEAE	<i>Arundo</i>	<i>donax</i>	Carrizo	Arbusto
POACEAE	<i>Aulonemia</i>	<i>queko</i>	Suro grueso	Arbusto
POACEAE	<i>Calamagostis</i>	<i>intermedia</i>	Paja de cerro	Hierba
POACEAE	<i>Chusquea</i>	<i>uniflora</i>	Suro grueso	Hierba
POACEAE	<i>Paspalum</i>	<i>bonplandianum</i>	Grama	Hierba
POACEAE	<i>Pennisetum</i>	<i>clandestinum</i>	Kikuyo	Hierba
POACEAE	<i>Poa</i>	<i>annua</i>	Paja	Hierba

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	HÁBITO
POLYGALACEAE	<i>Monnina</i>	<i>sp.</i>	Iguila	Arbusto
POLYPODIACEAE	<i>Campyloneurum</i>	<i>sp.</i>	Helecho	Helecho
PROTEACEAE	<i>Lomatia</i>	<i>hirsuta</i>	Garao	Arbolito
PROTEACEAE	<i>Oreocallis</i>	<i>grandiflora</i>	Galua	Árbol
RANUNCULACEAE	<i>Clematis</i>	<i>sp.</i>		Bejuco
ROSACEAE	<i>Herperomeles</i>	<i>obtusifolia</i>	Jalo	Arbolito
ROSACEAE	<i>Rubus</i>	<i>robustus</i>	Moraa	Arbusto
RUBIACEAE	<i>Arcytophyllum</i>	<i>sp.</i>		Subarbusto
RUBIACEAE	<i>Galium</i>	<i>sp.</i>	Tomatillo	Hierba
RUBIACEAE	<i>Palicourea</i>	<i>heerochroma</i>		Arbusto
SAPINDACEAE	<i>Dodonea</i>	<i>viscosa</i>	Chamana	Arbusto
SCROPHULARIACEAE	<i>Calceolaria</i>	<i>nivalis</i>	Sacha romero	Arbusto
SCROPHULARIACEAE	<i>Calceolaria</i>	<i>sp.</i>	Perrito	Subarbusto
SCROPHULARIACEAE	<i>Castilleja</i>	<i>sp.</i>	Lencetilla	Hierba
SOLANACEAE	<i>Grugmansia</i>	<i>sanguinea</i>	Guando	Arbolito
SOLANACEAE	<i>Cestrum</i>	<i>racemosum</i>	Pururug	Arbusto
SOLANACEAE	<i>Nicotiana</i>	<i>glauca</i>	Chamico	Arbusto
SOLANACEAE	<i>Sessea</i>	<i>crassivenosa</i>	Naranjillo	Árbol
SOLANACEAE	<i>Solanum</i>	<i>asperolanatum</i>	Limbalo	Arbolito
SYMPLOCACEAE	<i>Symplocos</i>	<i>quitensis</i>		Árbol
THEACEAE	<i>Freziera</i>	<i>sp.</i>	Marar	Árbol
URTICACEAE	<i>Phenax</i>	<i>sp.</i>	Ortiga	Arbusto
VALERIANACEAE	<i>Valeriana</i>	<i>hirtella</i>	Valeriana	Arbusto
VALERIANACEAE	<i>Valeriana</i>	<i>microphylla</i>	Valeriana	Arbusto
VERBENACEAE	<i>Aegiphila</i>	<i>alba</i>	Verbena	Árbol
VERBENACEAE	<i>Cytharexylum</i>	<i>sp.</i>	Verbena	Arbusto
VERBENACEAE	<i>Duranta</i>	<i>mutisii</i>	Montemonte	Arbolito
VERBENACEAE	<i>Lantana</i>	<i>camara</i>	Cosa cosa	Arbusto
VERBENACEAE	<i>Verbena</i>	<i>litoralis</i>	Verbena	Hierba
VIOLACEAE	<i>Viola</i>	<i>arguta</i>		Hierba



ANEXO 2: FICHAS DE ESPECIES VEGETALES



Agave americana L.



Nombre vernáculo: Maguey

Familia: Agavaceae

Distribución: originaria de México con distribución cosmopolita.

Hábito y forma de vida: hierba estolonífera perenne

Habitat: zonas áridas, suelos pobres.

Usos: sogas, costales, alpargatas. Mucha demanda en mercado local.

Alnus jorullensis H.B.K.



Nombre vernáculo: aliso

Familia: Betulaceae

Distribución: Desde el sur de Mexico hasta Argentina

Hábito y forma de vida: árbol caducifolio

Habitat: Formaciones de bosque húmedo montano bajo. Forma rodales puros o mezclado con *Cedrela sp.*, *Juglans sp.*, *Nectandra sp.*,... desde los 1400 hasta los 3200 m.s.n.m

Usos: Muebles, puertas, ventanas. Protector de canales y taludes quemados

Aulonemia queko H.B.K.

Nombre vernáculo: duda

Familia: Poaceae

Distribución: Parte occidental de Sur América

Hábito y forma de vida: hierba perenne

Usos: cestería

Baccharis obtusifolia H.B.K.



Nombre vernáculo: Chilca redonda

Familia: Asteraceae

Distribución: Toda América.

Hábito y forma de vida: arbusto

Habitat: De los 2000 hasta los 3200 m, especie pionera en zonas de bosque de altura.

Usos: medicinales, escobas.



	
<p data-bbox="252 651 756 689"><i>Caesalpinia spinosa</i> (Mol) Kuntze</p> <p data-bbox="225 734 496 763">Nombre vernáculo: Tara</p> <p data-bbox="225 801 464 831">Familia: Leguminosae</p> <p data-bbox="225 869 1177 898">Distribución: desde Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia hasta el norte de Chile</p> <p data-bbox="225 936 810 965">Hábito y forma de vida: Arbolito espinoso caducifolio</p> <p data-bbox="225 1003 1230 1032">Habitat: hasta los 3000 m, tolera suelos pobres y rocosos, además de sequías pronunciadas.</p> <p data-bbox="225 1070 1225 1099">Usos: Tintes, industrial como espesante, aplicaciones medicinales, alimento para el ganado.</p>	

	
<p data-bbox="316 1496 692 1534"><i>Cedrella Montana</i> H.B.K.</p> <p data-bbox="225 1585 512 1615">Nombre vernáculo: Cedro</p> <p data-bbox="225 1653 432 1682">Familia: Meliaceae</p> <p data-bbox="225 1720 676 1749">Hábito y forma de vida: árbol caducifolio</p> <p data-bbox="225 1787 1369 1861">Habitat: De 2000 hasta 2900 m.s.n.m. Suelos pesados de pie de ladera. Característico de cañadas y coluvios. Frecuente ripario. Marcadamente umbrófila</p> <p data-bbox="225 1899 703 1928">Usos: Protección de quebradas, maderable.</p>	

Chusquea scandens Kunth.



Nombre vernáculo: chusque

Familia: graminae

Distribución: Parte occidental de Sur América.

Hábito y forma de vida: Hierba perenne

Habitat: ceja de montaña. 2750–3300 msnm. Típicamente riparia. Exigente en materia orgánica y humedad edáfica

Usos: caña como armazón de techos, sombreros, esteras. Estabilización de escarpes

Dalea coerulea (L.f.)Schinz & Thell.



Nombre vernáculo: Izo

Familia: Fabaceae

Distribución: Colombia, Ecuador y Perú

Hábito y forma de vida: arbusto perenne

Habitat: 1300- 3000 m. no requerimientos edáficos.

Usos: protección, escobas.



Erythrina edulis Micheli.



Nombre vernáculo: Camporoto

Familia: Fabaceae

Hábito y forma de vida: arbolito perenne

Habitat: 1200-2800 m.s.n.m no requerimientos edáficos

Usos: sistemas agroforestales, fruto comestible, protector

Juglans neotropica Diels.



Nombre vernáculo: tocte

Familia: Juglandaceae

Hábito y forma de vida: árbol caducifolio.

Habitat: de los 1500 a los 2800 m.s.n.m. bosque húmedo o muy húmedo premontano, bosque seco o húmedo montano bajo.

Usos: maderable y frutos comestibles.

Juncus articus Willd.



Nombre vernáculo: totorilla

Familia: juncaceae

Distribución: Circumboreal pero en América se extiende hasta la Patagonia.

Hábito y forma de vida: Planta herbácea perenne, que crece en matas densas

Usos: artesanías, cestería. Muy importante en comercio hoy en día

Schinus molle L.



Nombre vernáculo: Molle

Familia: Anacardiaceae

Hábito y forma de vida: Árbol, a veces arbusto, frondoso, siempre verde.

Habitat: entre los 1000 y 2800 m.s.n.m. soporta sequías pronunciadas. Suelos arcillosos

Usos: leña, mangos de yugo, protección



ANEXO 3: ENTREVISTAS



Este anexo consta de dos partes, el guión de la entrevista primero y después una serie de tablas resumen con los resultados obtenidos. Las entrevistas se realizaron en Diciembre de 2007.



GUIÓN DE ENTREVISTA

Buenos días,

Él es Marco Ramírez y yo soy Nur Algeet, los dos trabajamos en el PROMAS, en la universidad de Cuenca. Yo soy una estudiante española que está haciendo un estudio de investigación en la cuenca del río Guabalcón. Trabajo dentro de un proyecto más grande de manejo de la cuenca del río Chanchán, que está llevando a cabo la universidad de Cuenca junto con otras universidades Europeas. El objetivo es comprobar su estado de conservación y proponer medidas para mejorar la capacidad productiva de sus tierras, así como intentar aumentar la disponibilidad de agua en la cuenca. Es fundamental para nosotros la información que usted, que aquí vive y trabaja, pudiese aportarnos.

Información general

Estas preguntas sirven sobre todo como prólogo de la entrevista y para tener una idea general de los cultivos y prácticas que el campesino usa actualmente. Sería interesante que la entrevista se lleve a cabo en sus tierras para que se sienta más cómodo y le resulte más sencillo explicarse.

1. ¿Qué cultivo tiene usted aquí?

- a) Frejol
- b) Maíz
- c) Otro....

2. ¿Qué ciclo tiene? ¿Cuándo lo plantó?

3. ¿Utiliza algún apero o máquina para la labranza?

4. ¿Qué tal son las tierras de esta zona? ¿Son productivas?

- a) Si
- b) No

Principales problemas

El objetivo es identificar los impactos que las prácticas agrícolas tienen sobre la cuenca a la vez que descubrir las limitaciones con las que se encuentran los agricultores y ganaderos que aquí trabajan. La idea es que no es posible instar a una persona a que tome medidas para solucionar unos problemas que ni él mismo es consciente que tiene. Además, es importante saber el nivel de conocimiento técnico que tienen en la materia, como por ejemplo, si para ellos tiene algún significado la palabra erosión, y entender como la perciben.

Podríamos comenzar hablando del estado de las tierras de cultivo.

5. ¿Posee usted tierras en pendientes muy escarpadas?

- a) de más de 45 %
- b) de más de 60%
- c) no

6. ¿Cree usted que esta característica es un limitante para el cultivo agrícola?

- a) Si, para la labranza en sí
- b) Si, para cierto tipo de cultivo
- c) No mucho

7. ¿Nota diferencia entre las tierras en pendientes y aquellas en zonas más llanas?

8. ¿Ha percibido usted pérdida de suelo en estos últimos años? Nos puede dar algún ejemplo?

- a) Si
- b) No

9. ¿Cree que es más acusado en zonas de mayor pendiente?

10. ¿Cree que eso afecta a la producción de sus cultivos?

La idea de estas preguntas es saber si él percibe esa pérdida de suelo y si eso lo ve un problema, puesto que a lo mejor no relaciona esa pérdida de suelo con una disminución en las cosechas. Por otro lado, es necesario saber si para él la pendiente es una limitación a la hora de planificar el uso del suelo, puesto que va a ser uno de los criterios principales que se van a utilizar para fijar la frontera agrícola.

El siguiente problema que nosotros creemos importante es el abastecimiento de agua. Saber si él cree que merecería la pena trabajar por aumentar esa disponibilidad de agua, y si estarían dispuestos a renunciar a algo por ello.

11. ¿Usted de donde extrae el agua? (de que toma de agua del canal)



12. ¿Están ustedes organizados en algún tipo de junta de aguas? ¿Cómo funcionan?
13. ¿Cuántos días a la semana riega y por cuánto tiempo?
14. ¿Si usted tuviese más horas de agua, pondría ...
 - a) en cultivo más tierras
 - b) otro tipo de cultivos
 - c) los mismos pero más intensificados
15. ¿Ha pensando alguna vez en hacer algún cambio en el sistema de riego?
 - a) No
 - b) Si, tuberías de riego
 - c) Si, reservorios de agua
 - d) Si, otros...
16. ¿Habría alguna manera, cambiando algo, o invirtiendo dinero, de ahorrar agua?
17. ¿Usted cree que el pajonal y el chaparro de las zonas altas consumen mucha agua?
18. ¿De dónde viene el agua que le abastece en la temporada seca? ¿Está relacionado para usted con la vegetación de pajonal del páramo?

Es interesante saber si las juntas de regantes pueden ser tal vez un medio a través del cual llegar a los agricultores y que sirva como un nexo de unión y de trabajo.

Es necesario saber lo que piensa sobre la vegetación natural, si aprecia su conservación y si considera importante su función reguladora del flujo de agua. Si no perciben la vegetación natural como parte fundamental del sistema, es bien complicado hacerles ver la necesidad de mantenerla y potenciarla en aquellas tierras menos aptas para el cultivo.

Disposición para posibles cambios

A partir de esta serie de preguntas querría conocer la disposición del agricultor para incorporar alguna técnica de conservación de suelos o cambio de cultivos. También es importante saber si sería él capaz de hacer una inversión en algo así, o la única manera de hacerlo sería con financiamiento externo.

También vamos a intentar saber si el cambio de uso del suelo él lo percibe como una alternativa posible y de ser así en que usos piensa él. Habría que intentar que él pensara en alguien que efectivamente en un terreno parecido y cercano al suyo, la idea es un terreno de

bastante pendiente, lleve a cabo otras actividades, y ver si para él son rentables, una vez que piense que efectivamente son posibles.

19.¿Sabe de alguien aquí en la cuenca que lleve a cabo medidas de conservación de suelos?

20.¿Le parece a usted que dan resultado?

21.¿Usted ve que sirvan para

- a) aumentar la producción
- b) mejorar la calidad
- c) no deteriorar el suelo más

22.¿Las implementaría con una ayuda económica?

- a) Si
- b) No

23.¿Ha pensando en tecnificar algún proceso en sus cultivos?

- a) Si
- b) No

24.¿Cuál sería la labor más interesante de tecnificar?

- a) Labranza (arar)
- b) Siembra
- c) Riego
- d) Cosecha
- e) Otro...

25.¿Y usted, de no cultivar estas tierras con..., las podría utilizar para otra cosa, como por ejemplo

- a) pastos para los animales
- b) poner árboles de... como fuente alternativa de ingresos
- c) otros

26.¿Podría ser esto rentable?

- a) Si
- b) no

Capacitación

La posibilidad de incorporar medidas de conservación de suelos y agua pasa por la necesidad de impartir una capacitación apropiada a los agricultores. Es la única forma de que ellos mismos la implementen y la hagan perdurar en el tiempo. Esto es importante puesto que hay zonas, que podrían permanecer con el uso agrícola actual incorporando estas medidas.

27.¿Ha vivido usted aquí en la cuenca toda su vida?



28. ¿Fue aquí al colegio? ¿Hasta qué edad estudió usted?
29. ¿Le dieron clases de agricultura, sobre suelos o agua? Sobre medidas de conservación?
30. Ha recibido después algún tipo de capacitación? (¿Le sirvió luego para su trabajo?)
- a) curso
 - b) taller
 - c) otro
31. ¿Le gustaría recibir las? ¿Sobre qué quisiera aprender?
- a) Medidas de conservación de suelos
 - b) Tecnificación agrícola
 - c) Condiciones climáticas y de suelo
 - d) Pérdidas de suelo
32. ¿Dónde tiene la escuela más cercana (distancia y tiempo que tarda)? ¿Es allí donde estudian sus hijos?

Migración

Para hacer una planificación de la cuenca, de aquí a 50 años, es importante conocer las expectativas que no estos agricultores, sino sus hijos o incluso sus nietos tienen. Son ellos, los que van a vivir o no, en la cuenca en un futuro. Por ello, es importante saber si esos niños quieren quedarse y trabajar como sus padres hacen o si por el contrario, la opción de la emigración, ya sea a la ciudad o al extranjero es cada día más común y factible.

También, las expectativas de que regresen en un periodo de tiempo más o menos corto, aquellos que se han ido, puede influir en los usos de la tierra que ellos tienen.

33. ¿Usted ha vivido aquí toda la vida? ¿Se iría de aquí de presentarse la oportunidad?
34. ¿Ha pensado alguna vez en vender las tierras? ¿Cuáles son sus motivos?
35. ¿Y a sus hijos les gustaría quedarse aquí o piensan por ejemplo, en marcharse a estudiar a la ciudad?
36. ¿A usted le gustaría que sus hijos se fueran?
37. ¿Conoce a alguien, tiene familia que viva en el extranjero, en España o EEUU?
- ¿Están allí contentos?

38.¿Cree que les gustaría volver?

39.¿Y vendrían aquí a vivir, o se quedarían en la ciudad? ¿ en qué actividad trabajarían?

40.¿Conoce a alguien que haya vuelto?

Si responde que se quedarían en la ciudad, sería interesante saber qué imagina él que harían con las tierras, o si conoce de alguien que efectivamente se haya quedado en la ciudad, pues saber qué han hecho con las tierras, si venderlas, seguir cultivándolas..., en cambio, si responde que se quedarían en la cuenca, la idea sería preguntar si cree que seguirían cultivando las tierras y las posibilidades económicas con las que vuelven. Toda esta información obviamente sería mejor intentar conseguirla de alguien que efectivamente haya vivido esto, que haya emigrado y ahora esté de vuelta.

INFORMACIÓN GENERAL						
COMUNIDAD	CULTIVO	GANADO	APERO	PRODUCCIÓN	COMENTARIOS	
Rosa Ángeles Villa	Piñancay	Pepino	yugo	zona baja buena	señora muy mayor	
Florencia de Jesús	Piñancay	ganado vacuno	tractor	según abono	mejor poner sauces que producen agua, no el eucalipto	
PAREJA	Piñancay		arado	buena, llanita	Agricultura de subsistencia	
Carmen	Verdepamba	nada			No puede rentar ni vender la tierra porque no hay quien trabaje y ganado no da dinero	
Gerardo Vallejo	Pasaloma	ganado vacuno				
M ^a Amalia Ayamarca y 3 más	Pasaloma	leche		si produce pero cada vez menos	La entrevista fue realizada a un total de 4 personas	
Filomena Santander	Tauri	carne	Yuntas	si		
Humala	Cullum	mas ganado que cultivo (carne)			Estaban en la entrevista la madre y la esposa del señor.	
Milton Álvarez	Compud	.+ ganado, leche	tractor	casi solo produce para consumo propio	Presidente junta parroquial. Asistieron a la entrevista la mujer y la madre también	
Celso Heriberto Vega	Compud	mas ganado que cultivo (carne)		buena pero no gente que la labre		
Carlos Vega	Compud				ESTUDIANTE	
Lilia Quinteros	Paccha	más ganado	ninguno	No cultiva		
Antonio Verdugo	Paccha	leche				
Bolivar Angamarca	Paccha	leche				
Alfonso Santander	Sagüin	si (1/2 tierras para pastos)	yunta	mas o menos		
Sergio Santander	Sagüin	leche y carne				

PROBLEMA AGUA						
COMUNIDAD	PTO EXTRACCIÓN	JUNTAS DE AGUA	TIEMPO DE RIEGO	CON + AGUA...	CAMBIOS EN SISTEMA DE RIEGO	RELACIÓN AGUA- VEG.
Rosa Ángeles Villa	PIÑANCAY	si	10h /semana	reservorios	reservorios	sólo de la vegetación viene el agua
Florencia de Jesús	QUEBRADA COMPUD	si	12h en dos días	en cultivo +tierra	aspersores, reservorios	Vegetación asienta la neblina y eso produce agua
PAREJA	de las vertientes	no	1-2 veces/semana		no	de la vegetación nace el agua
Carmen	Verdepamba					
Gerardo Vallejo	Pasaloma					
M ^{ra} Amalia Ayamarca y 3 más	vertiente	no		mas cultivo y más animales	ya riegan con aspersores	
Filomena Santander	acequia	Si	3h/ semana	mas cultivo y más animales	'no	Al quitar la vegetación descendió el agua
Humala	canal chorreras	si	7h/ semana	más tierras en cultivo pero en plano y no papas		Es lo que aporta el agua
Milton Álvarez	vertientes	si	5h/semana	más potreros	reservorios	
Celso Heriberto Vega	río, tienen acequia	no		no	canalización con cemento, reservorio	
Carlos Vega						
Lilia Quinteros	CANAL NAMZA	si	8h/ semana		reservorio en chapla	
Antonio Verdugo		Si		más potreros	reservorio	Es necesario reforestar parte alta porque la están quemando
Bolivar Angamarca		si		más potreros	reservorio	
Alfonso Santander	vertiente	no	1 día a la semana	nada	no, coge agua del río directo, riego por aspersión	en verano todo el agua que baja es del pajonal
Sergio Santander	canal de riego de la vertiente	no	1 día a la semana	no necesita mas	no necesita	quemar la parte de arriba para hacer potreros , es importante conservarle

		CAPACITACIÓN					
COMUNIDAD	NACIDO ALLI	ESTUDIOS	ESTUDIOS AGRÍCOLAS	CAPACITACIÓN	LE GUSTARÍA	MATERIA	
Rosa Angeles Villa	si	2º grado	no	no	si pero en campo		
Florencia de Jesús	si	6º grado	no	salud y género	si	Medidas de Conservación	
PAREJA	si		no	no	no hay tiempo pero sí les gustaría		
Carmen	si						
Gerardo Vallejo	Si						
Mª Amalia Ayamarca y 3 más	Si						
Filomena Santander	si		no	no	si		
Humala	Si	6º grado	poco	algún curso	si	condiciones climáticas y suelos	
Milton Álvarez	si			si, reuniones participativas	gente está cansada de capacitación, quieren ayudas reales		
Celso Heriberto Vega	si						
Carlos Vega	Si	en la universidad	no, medicina				
Lilia Quinteros	Si						
Espinosa	no			nunca	si		
Antonio Verdugo	no			nunca	si		
Bolivar Angamarca	no			nunca	si		
Alfonso Santander	si		no	no	si		
Sergio Santander	si			no	si		

MIGRACIÓN							
COMUNIDAD	SE IRÍA	VENDER TIERRAS	HIJOS	FAMILIARES EN EEUU	VOLVERÍAN	CIUDAD?	CAMPO?
Rosa Angeles Villa	Piñancay	es mayor	no	4/6 en EEUU, solo uno viviendo allí de 8 años	hijos	los sin papeles	no
Florencia de Jesús	Piñancay	no	no	están estudiando en la universidad agropecuaria	su marido	no	si, a cultivar
PAREJA	Piñancay	si	un bebe		no		
Carmen	Verdepamba	es mayor	si, pero nadie compra	10 todos fuera, viviendo en la ciudad	no	no	
Gerardo Vallejo	Pasaloma	es mayor	si		casi todo el mundo, solo gente mayor en la cuenca	solo los sin papeles	
M ^a Amalia Ayamarca y 3 más	Pasaloma	no	si		no	si	a la ciudad
Filomena Santander	Tauri	si	4 y trabajan allí todos				los sin papeles
Humala	Cullum	NO	si		en Cullum pocos se han ido	no	
Milton Álvarez	Compud	es mayor	si, pero nadie compra		hijos EEUU y hermanos en cuenca	no	ciudad
Celso Heriberto Vega	Compud	mayores	si		hijos		
Carlos Vega	Compud	si, a la ciudad	él es el hijo		padre en EEUU	no	vuelven a la costa
Lilia Quinteros	Paccha	es mayor	4 varones, solo uno en la cuenca que si que se dedica a la agricultura				
Antonio Verdugo	Paccha	NO			si, a quito y EEUU	no	
Bolivar Angamarca	Paccha	NO				no	vienen familias con marido en EEUU
Alfonso Santander	Sagüin	no	no, compraría más	se van todos al extranjero	no	no	
Sergio Santander	Sagüin	no	tres hijos en EEUU y uno en Cuenca		no	no	



ANEXO 4: CALIBRACIÓN DEL PARÁMETRO K DE LA FÓRMULA DE TÉMEZ



Para el cálculo de precipitaciones asociadas a un periodo de retorno determinado con tiempos de duración distintos a las 24 horas, **Témez** en 1987, propuso la expresión,

$$I_t^T = I_{24}^T \cdot K^{\left(\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{0,4}\right)}$$

Proponiendo un mapa de distribución para España del valor de K, que varía entre 8 y 12.

Otros autores han realizado modificaciones sobre esta formulación inicial, como es el caso de **De Salas** (2006), que propuso la siguiente expresión,

$$I_t = I_{24} \cdot K^{\left(\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}\right)}$$

Donde,

a, parámetro regionalizado para la península ibérica, que para la cuenca del río Guabalcón se ha estimado en 0,1.

t, es la duración de la precipitación en horas

K, es el parámetro de Témez regionalizado para la península ibérica, cuyo valor es el cociente $\frac{I_1}{I_{24}}$, donde I_1 es la intensidad máxima en una hora e I_{24} es la intensidad máxima en 24 horas.

Para la estimación de este parámetro K se aislaron tormentas en las 5 estaciones pluviométricas que aparecen en la figura 1.

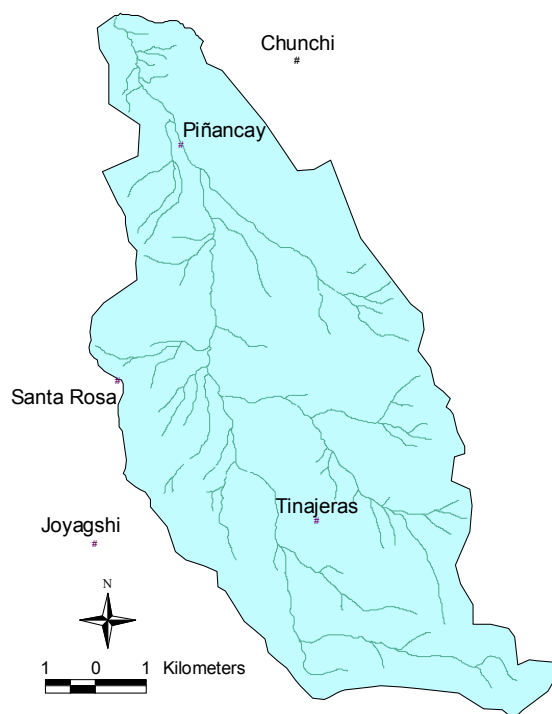


Figura.0.1: Localización de las estaciones utilizadas para la estimación del parámetro K

Se calculó el valor de K para un total de 120 tormentas obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 1

Tabla.1: valor de K para las tormentas estudiadas.

ESTACIÓN	FECHA	P24	I24	K
TINAJERAS	04/04/2007 14:00	24,80	1,03	10,65
	08/04/2007 12:00	21,80	0,91	5,72
	23/04/2007 16:00	20,20	0,84	4,99
	24/04/2007 10:00	26,20	1,09	4,40
	28/04/2007 14:00	21,20	0,88	4,40
	17/05/2007 15:00	17,80	0,74	3,51
	19/05/2007 16:00	28,40	1,18	15,21
	20/05/2007 12:00	25,80	1,08	16,74



ANEXO 4: CALIBRACIÓN DEL PARÁMETRO K DE LA FÓRMULA DE TÉMEZ

	10/10/2007 16:00	20,20	0,84	11,64
	08/11/2007 16:00	16,80	0,70	4,85
	26/12/2007 18:00	18,40	0,77	4,43
	27/01/2008 13:00	43,20	1,80	3,22
	28/01/2008 2:00	53,20	2,22	2,61
	31/01/2008 6:00	24,20	1,01	2,97
CHUNCHI	26/12/2005 6:00	23,40	0,98	3,69
	04/02/2006 17:00	20,60	0,86	4,19
	07/03/2006 4:00	20,40	0,85	6,59
	14/11/2006 8:00	21,40	0,89	4,93
	25/01/2007 15:00	31,60	1,32	4,71
	22/03/2007 16:00	17,20	0,72	13,12
	04/04/2007 13:00	18,80	0,78	14,04
	08/04/2007 13:00	25,40	1,06	8,31
PIÑANCAY	06/03/2006 19:00	27,20	1,13	11,82
	14/03/2006 3:00	15,40	0,64	4,99
	14/11/2006 8:00	21,80	0,91	4,18
	25/01/2007 9:00	29,80	1,24	5,80
	25/01/2007 16:00	30,20	1,26	5,72
	04/04/2006 5:00	19,60	0,82	13,96
	22/03/2007 15:00	19,80	0,83	8,00
	22/03/2007 23:00	15,20	0,63	10,42
	08/04/2007 14:00	18,80	0,78	4,09
	27/01/2008 20:00	57,60	2,40	4,83
	28/01/2008 2:00	61,00	2,54	4,56
JOYAGSHI	11/02/2005 22:00	22,40	0,93	4,50
	27/02/2005 17:00	20,20	0,84	4,51

	05/03/2005 10:00	29,80	1,24	5,64
	06/03/2005 3:00	16,80	0,70	3,43
	07/03/2005 15:00	25,00	1,04	3,26
	12/03/2005 14:00	31,80	1,33	8,91
	12/03/2005 18:00	23,80	0,99	8,27
	16/03/2005 0:00	17,40	0,73	6,62
	26/03/2005 16:00	25,80	1,08	8,37
	28/03/2005 17:00	26,00	1,08	7,57
	29/03/2005 12:00	24,60	1,03	8,00
	20/04/2005 6:00	30,60	1,28	4,08
	23/04/2005 18:00	25,60	1,07	7,13
	24/04/2005 4:00	23,60	0,98	7,73
	04/07/2005 5:00	20,40	0,85	17,41
	23/12/2005 17:00	20,60	0,86	4,66
	24/12/2005 14:00	22,40	0,93	5,36
	26/12/2005 6:00	24,60	1,03	2,73
	14/01/2006 6:00	23,60	0,98	15,05
	14/01/2006 15:00	24,80	1,03	14,32
	18/01/2006 15:00	26,60	1,11	3,07
	31/01/2006 12:00	24,60	1,03	8,59
	04/02/2006 17:00	42,00	1,75	5,83
	05/02/2006 5:00	34,20	1,43	7,16
	20/02/2006 17:00	26,20	1,09	11,91
	25/02/2006 16:00	34,20	1,43	8,00
	26/02/2006 7:00	56,20	2,34	4,87
	26/02/2006 14:00	68,80	2,87	3,98
	07/03/2006 5:00	20,20	0,84	2,85



ANEXO 4: CALIBRACIÓN DEL PARÁMETRO K DE LA FÓRMULA DE TÉMEZ

11/03/2006 11:00	32,20	1,34	6,86
16/03/2006 12:00	23,40	0,98	10,26
22/03/2006 15:00	34,00	1,42	3,81
24/03/2006 13:00	20,80	0,87	6,23
29/03/2006 19:00	30,00	1,25	9,76
30/03/2006 15:00	41,20	1,72	7,11
05/05/2006 22:00	17,60	0,73	7,36
07/06/2006 16:00	16,80	0,70	4,86
21/09/2006 17:00	18,80	0,78	7,15
11/11/2006 13:00	20,60	0,86	9,09
14/11/2006 12:00	27,60	1,15	4,17
24/11/2006 19:00	18,40	0,77	4,17
19/12/2006 20:00	27,60	1,15	7,30
20/12/2006 17:00	35,60	1,48	5,66
20/01/2007 22:00	15,20	0,63	7,26
25/01/2007 8:00	32,40	1,35	2,52
08/02/2007 9:00	15,60	0,65	6,15
14/02/2007 7:00	21,00	0,88	15,31
15/02/2007 0:00	26,40	1,10	12,18
05/03/2007 17:00	35,80	1,49	4,69
07/03/2007 21:00	17,40	0,73	11,31
12/03/2007 16:00	27,20	1,13	3,71
22/03/2007 6:00	35,00	1,46	3,84
27/03/2007 6:00	15,40	0,64	7,48
04/04/2007 10:00	18,80	0,78	9,45
08/04/2007 11:00	31,60	1,32	5,92
13/04/2007 23:00	16,40	0,68	9,07

	23/04/2007 17:00	15,80	0,66	5,77
	24/04/2007 5:00	26,60	1,11	5,59
	26/04/2007 17:00	17,80	0,74	3,78
	27/04/2007 16:00	25,20	1,05	10,86
	19/05/2007 16:00	17,60	0,73	9,82
	16/07/2007 22:00	20,20	0,84	8,08
SANTA ROSA	03/03/2005 16:00	18,20	0,76	5,27
	05/03/2005 15:00	18,80	0,78	3,57
	06/03/2005 3:00	19,00	0,79	3,54
	07/03/2005 0:00	20,80	0,87	3,46
	15/03/2005 23:00	15,80	0,66	10,03
	20/04/2005 5:00	31,00	1,29	5,11
	23/04/2005 18:00	18,40	0,77	8,35
	26/12/2005 6:00	21,20	0,88	2,49
	18/01/2006 15:00	21,20	0,88	3,62
	04/02/2006 17:00	22,80	0,95	4,42
	21/02/2006 16:00	19,60	0,82	8,08
	26/02/2006 19:00	53,60	2,23	7,43
	06/03/2006 18:00	21,60	0,90	3,78
	11/03/2006 13:00	35,20	1,47	6,95
	12/04/2006 21:00	18,80	0,78	10,47
	05/05/2006 20:00	23,40	0,98	14,56
	14/11/2006 8:00	31,80	1,33	5,13
	02/12/2006 5:00	25,60	1,07	9,19
	25/01/2007 15:00	30,80	1,28	5,77
	14/02/2007 23:00	18,80	0,78	9,45
	15/03/2007 15:00	26,40	1,10	9,82



ANEXO 4: CALIBRACIÓN DEL PARÁMETRO K DE LA FÓRMULA DE TÉMEZ

	22/03/2007 7:00	32,40	1,35	5,19
	24/04/2007 4:00	22,60	0,94	4,25
	24/04/2007 16:00	20,40	0,85	4,71
	29/05/2007 20:00	15,80	0,66	4,56

En la tabla 2 se muestra el valor promedio para cada una de las estaciones estudiadas, así como la media y la desviación típica del conjunto. Se tomó por tanto un valor de $K = 7$ para la zona de estudio.

Tabla 0.2: Valores promedio de K

	TINAJERAS	CHUNCHI	PIÑANCAY	JOYAGSI	SANTA ROSA
PROMEDIO	6,81	7,45	7,12	7,10	6,37
MEDIA	6,94				
DESVIACIÓN TÍPICA	3,4				



ANEXO 5: CALIBRACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA Y DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN



DATOS DE PARTIDA

Dentro de la cuenca se cuenta con dos estaciones de aforos, localizadas una en la parte media de la cuenca y otra cercana a la sección de salida. Para estudiar la respuesta hidrológica de la cuenca se va a dividir ésta en dos subcuencas, cuya sección de salida coincida con los aforos disponibles. La situación de los aforos y el pluviógrafo de Tinajeras aparecen en la figura 1 y los datos descriptivos de cada subcuenca en la tabla 1.



Figura.0.1: Situación de los aforos y pluviógrafos utilizados para la calibración de los parámetros.

Tabla.1: Características de las subcuencas de estudio.

SUBCUENCA	SUPERFICIE (HA)	LONGITUD CAUCE (M)	H MÁXIMA	H MÍNIMA	PENDIENTE MEDIA
Sagüin	1327,85	8662,95	4250	2525	0,19
Piñancay	5735,373	16018,7	4250	1700	0,15

Número de Curva

Según las tablas publicadas por **Ponce V.M. (1989)** se han asignado números de curva en condición de humedad II a cada cubierta vegetal, teniendo en cuenta el grupo hidrológico al que corresponde cada tipo de suelo. Los números de curva seleccionados aparecen reseñados en la figura 2.

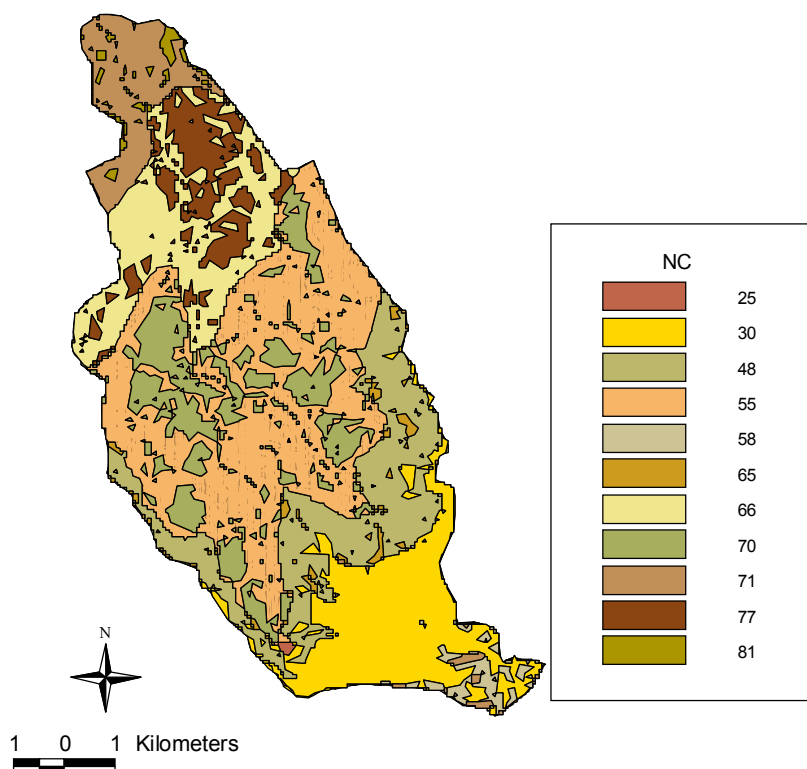


Figura.0.2: Números de Curva en la Cuenca del río Guabalcón

Se han calculado números de curva medios para cada una de las subcuencas haciendo una media ponderada según la superficie que presenta cada mancha. A la subcuenca de Sagüin le correspondería un NC= 54 y a Piñancay un NC= 43.

Tiempo de concentración

Los tiempos de concentración para cada una de las subcuencas se han calculado por diferentes fórmulas y aparecen resumidos en la tabla 2. Se utilizará como primera aproximación el tiempo de concentración de Kirpich en el cálculo del hidrograma unitario que se presenta después.



Tabla.2: Tiempos de concentración en horas para las subcuencas de Saguin y Piñancay.

MÉTODO	SAGUIN	PIÑANCAY
Kirpich	0,65	1,14
Ven Te Chow	1,83	2,91
Giandotti	1,99	6,27
U.S. Corps of Engineers	1,96	3,26
S.C.S.	5,24	11,01
Temez	2,10	3,50

Tormentas

Las tormentas objeto de estudio se han extraído de los datos registrados durante el año 2007 por los pluviógrafos de Tinajeras y Piñancay. Los detalles de cada una aparecen recogidos en la tabla 3.

Tabla.3: Precipitación (mm) recogida por los pluviógrafos de la cuenca.

	4 Abril	13 Abril	28 abril	20 Mayo
Tinajeras	22,2	13,2	17	25,8
Piñancay	3,8	8	0,2	11,5

Se ha utilizado el programa CAUDAL3 para el cálculo del Hidrograma unitario. La laminación y conducción del hidrograma entre ambas subcuencas se ha modelizado a través del Método de Muskingum. Los datos obtenidos con estos parámetros de partida se han comparado con los datos recogidos por las estaciones de aforo.

RESULTADOS

1. DATOS DE PARTIDA

Los parámetros de partida que se han utilizado para el cálculo del Hidrograma unitario aparecen resumidos en las tabla 4.

Tabla.4: Datos de entrada para el cálculo del Hidrograma Unitario en cada una de las cuencas y la conducción entre ambas.

SAGUIN		CONDUCCIÓN		PIÑANCAY	
NC	tc	K	X	NC	tc
54	0,65	1	0,2	43	1,14

Con estos datos, el hidrograma unitario no genera un resultado que se ajuste a los datos de caudales disponibles. El número de curva asignado mediante tablas es demasiado bajo y no se produce escorrentía en ninguna de las precipitaciones. Se procede por ello a un ajuste de los parámetros NC, tc, K y X con el fin de obtener valores óptimos para ellos.

2. DATOS AJUSTADOS

Se van a estudiar dos tipos distintos de escorrentía, una rápida y una lenta. Esta segunda proviene de la fracción que a través del Método del Número de Curva se diferencia como agua de infiltración. Esa porción de precipitación vuelve a entrar en el modelo como una precipitación a la que se le asigna un número de curva y un t_c determinados. El hidrograma de salida es por tanto la suma de los dos hidrogramas obtenidos.

Se presentan primero 3 tablas resumen (tablas 5, 6 y 7) con los parámetros obtenidos para todas las tormentas.



ANEXO 5: CALIBRACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA Y DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Tabla.5: Parámetros ajustados para cada tormenta en la subcuenca de Sagüin

		4 ABRIL	13 ABRIL	28 ABRIL	20 MAYO
P (mm)		22,2	13,2	17	25,8
NC		85	84	84	76
t _c (h)		0.6	0.6	0.6	0.6
infiltración	NC	86	86	84	76
	t _c (h)	2	2	4	4

Tabla.6: Parámetros ajustados para la conducción del hidrograma de salida de Saguin.

	4 ABRIL	13 ABRIL	28 ABRIL	20 MAYO
K	1,5	1	1	1
X	0,5	0,5	0,2	0,5

Tabla.7: Parámetros ajustados para cada tormenta en la subcuenca Piñancay

		4 ABRIL	13 ABRIL	28 ABRIL	20 MAYO
P (mm)		3,8	8	0,2	11,5
NC		89	89	90	92
t _c (h)		2	0.8	2	2
infiltración	NC	-	89	92	-
	t _c (h)	-	9	5	-

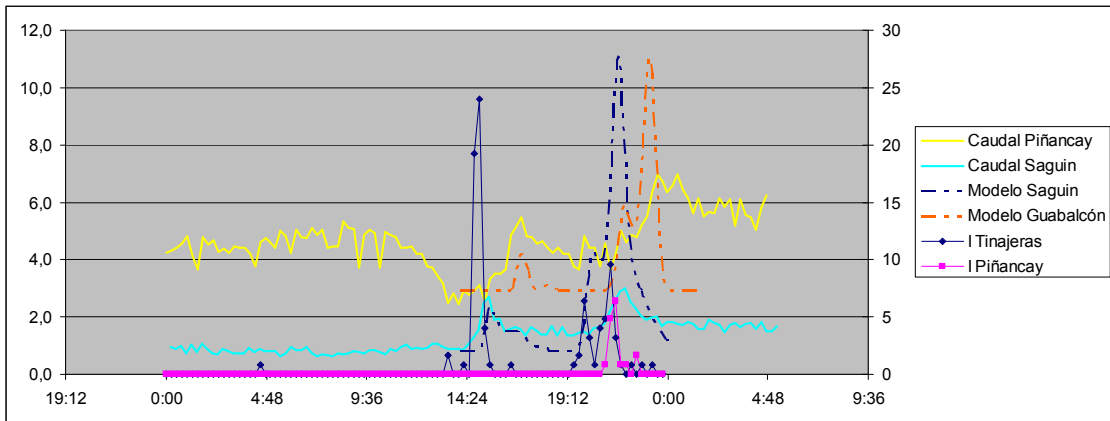


Figura.0.3: Gráfico resumen de la tormenta del 4 de Abril.

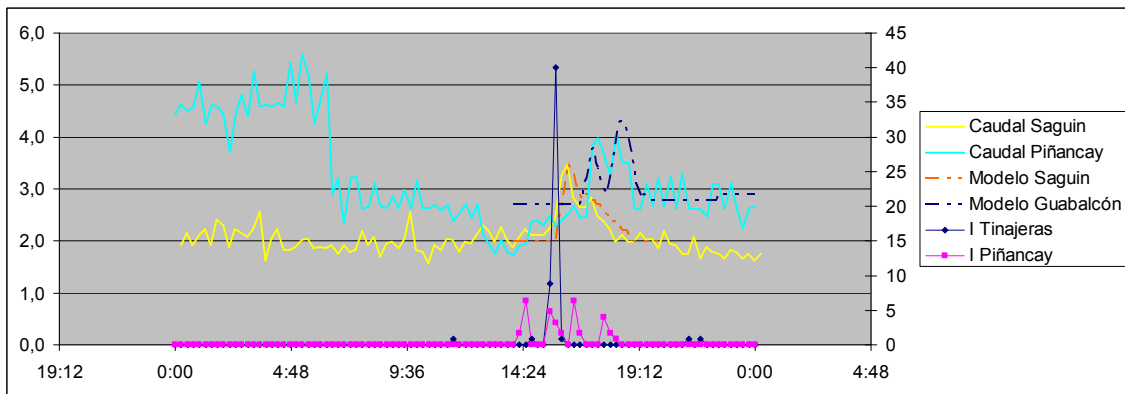


Figura.0.4: Gráfico resumen de la tormenta del 13 de Abril

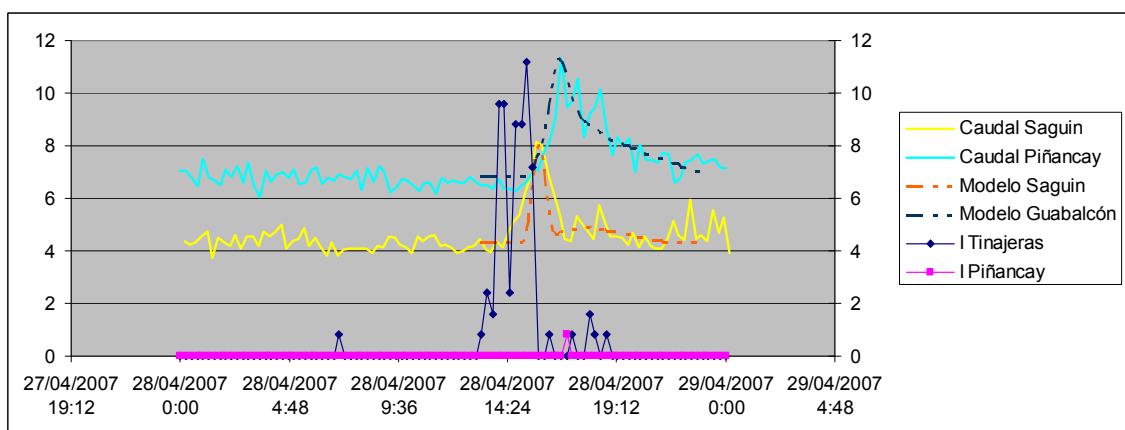


Figura.0.5: Gráfico resumen de la tormenta del 28 de Abril.

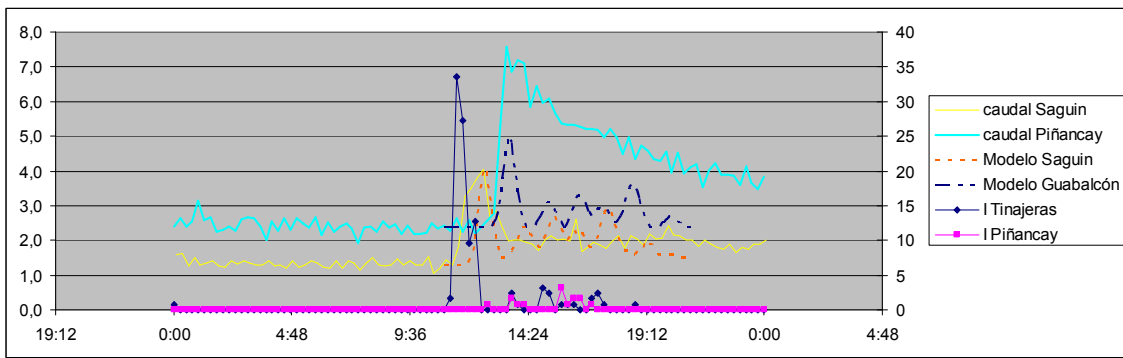


Figura.0.6: Gráfico resumen de la tormenta del 20 de mayo

Los resultados obtenidos para los días 4 de abril y 20 de mayo no son satisfactorios debido a los datos de precipitación utilizados. Tras un estudio de los caudales y precipitaciones recogidos se ha concluido que los picos de caudal no provienen de la precipitación recogida en los pluviógrafos, especialmente en el caso de Piñancay donde el pluviógrafo está situado en la zona inferior de la subcuenca. Cuando se aplica el método del Hidrograma Unitario la precipitación se asigna al total de la superficie de la cuenca o subcuenca en la que se esté trabajando. En el caso de la subcuenca Piñancay, al pluviógrafo se le considera representativo de la lluvia caída dentro de toda la subcuenca, algo que según se puede deducir de los gráficos de caudal no es cierto. Cuando el caudal punta en Piñancay supera al de Sagüin ha tenido que llover en la subcuenca de Piñancay aunque este hecho no esté recogido en el pluviógrafo. Por ello, los ajustes de estas tormentas se realizarán de nuevo tras haber construido precipitaciones que puedan considerarse representativas de la lluvia real que cayó esos días en la cuenca.

3. CASOS PARTICULARES: ESTUDIO DE PRECIPITACIONES

4 ABRIL

Se intentó construir una precipitación para la estación de Piñancay a partir de los registros disponibles en Tinajeras. Se trabajó finalmente con una tormenta de 7 horas y media. Durante la primera hora y 40 minutos la lluvia en Piñancay se consideró la mitad que en Tinajeras. El resto de la tormenta se dejó de igual magnitud. El ajuste obtenido se puede apreciar en la figura 7.

Tabla.8: Parámetros ajustados para la tormenta del 4 de abril con tormenta reconstruida.

	SAGUIN	PIÑANCAY
NC	85	92
tc	0,65	4
tc _{INF}	4	18
X		0.2
K		2

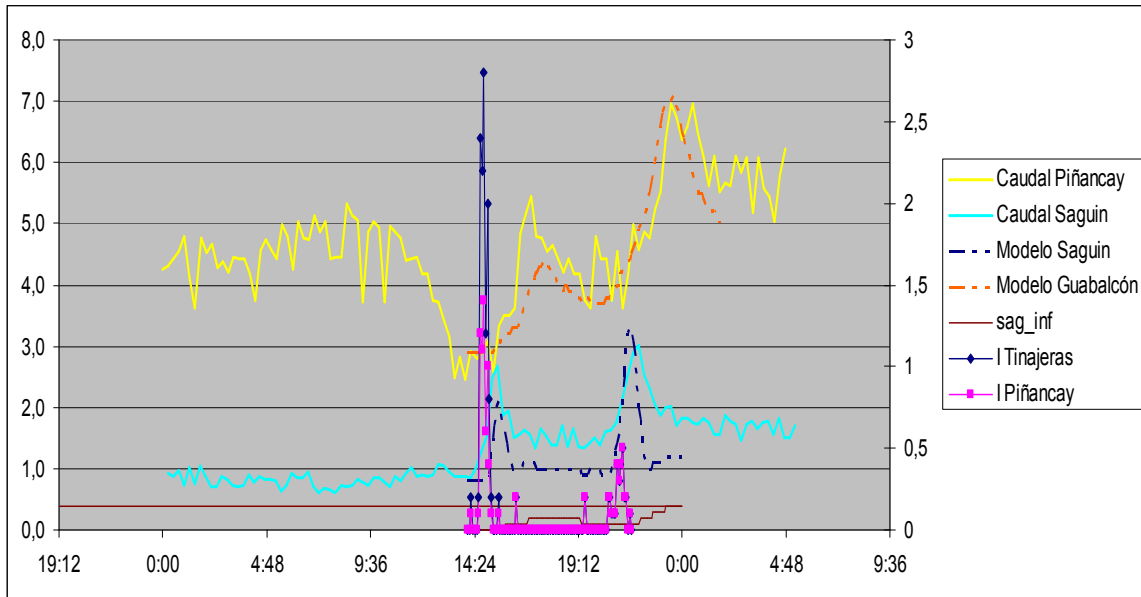


Figura.0.7: Resultado del ajuste de la tormenta del 4 de Abril.

20 MAYO

Se modificaron también en este caso los datos de precipitación de la estación de Piñancay, dejando una precipitación de 10,5 horas empezando a las 11 horas que es la media entre las precipitaciones de ambas estaciones.

Tabla.9: Parámetros ajustados para la tormenta del 20 de mayo con tormenta reconstruida.

	SAGUIN	PIÑANCAY
NC	76	89
tc	0,65	2
tc _{INF}	4	9
X		0.16
K		2

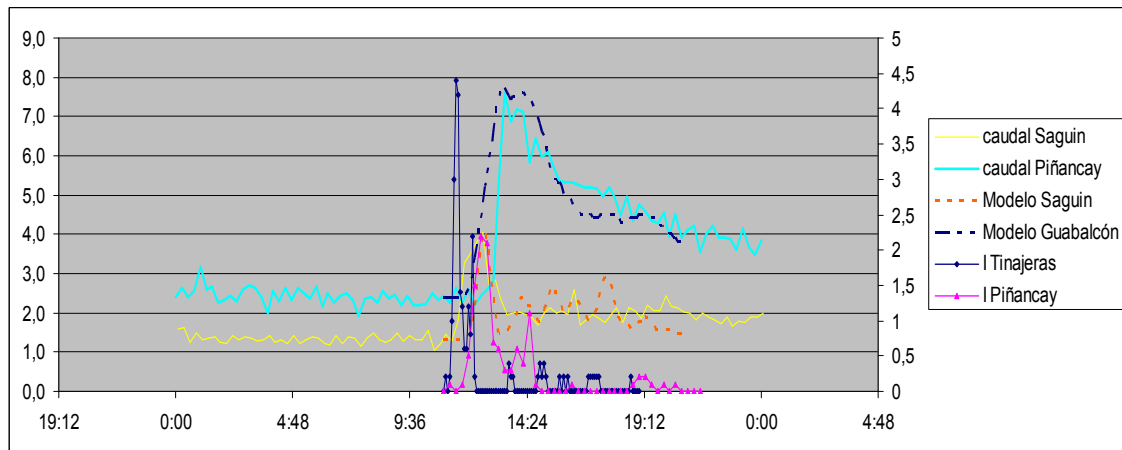


Figura.0.8: Resultado del ajuste de la tormenta del 20 de mayo.

4. DATOS MODELO

A la hora de trabajar con tormentas de las que no existe un registro de caudales, es decir, para predecir la respuesta hidrológica de la cuenca ante un evento determinado, es necesario calibrar estos parámetros anteriores, de tal manera que se pueda generalizar el valor de estos para cualquier tormenta que se estudie.

En general, el número de curva es un parámetro que varía mucho con cada precipitación y con las condiciones de humedad en las que se encontraba el suelo en el momento del comienzo de la lluvia. Por ello, aunque aquí se sugieran valores que puedan servir de referencia habrá que reajustar el valor en cada evento.

Los números de curva que se asignan al agua proveniente del escurrimiento lento del agua infiltrada se ha decidido igualarlos a los asignados a la subcuenca correspondiente. El t_c para esta fracción de agua seguirá la siguiente relación respecto al t_c de la subcuenca.

En el caso de Sagüin la ecuación es

$$t_{c_{inf}} = \frac{t_c}{0,15}$$

Donde,

$t_{c_{inf}}$ es el tiempo de concentración correspondiente al agua infiltrada.

Para la subcuenca Piñancay será

$$t_{c_{inf}} = 4.5 \cdot t_c$$

Los valores de X habría que ajustarlos en cada situación determinada.

La tabla 12 presenta un cuadro resumen con los valores de los parámetros ajustados.

Tabla.10: Valores medios de los parámetros NC, t_c , $t_{c_{inf}}$ y K para las subcuencas Saguin y Piñancay

	SAGUIN	PIÑANCAY
NC	84	90
t_c	0,65	2
$t_{c_{inf}}$	4	9
K	1,5	

El tiempo de concentración seleccionado para Saguin coincide con el obtenido por la fórmula de Kirpich. Existen, como se ha señalado arriba, diversas fórmulas para el cálculo del t_c que generan valores bien dispares. La fórmula de Kirpich en concreto suele dar valores bajos respecto a otras disponibles. Es por eso que dentro de la formulación del modelo se asigne un factor para corregir estas diferencias que se pueden encontrar al calcular por distintos métodos el tiempo de concentración. Por esta razón, el modelo trabaja con el t_{lag} , que se calcula multiplicando el t_c por un factor de 0,35 o 0,60 dependiendo la fórmula utilizada. En general, a las fórmulas que dan valores altos les corresponde el factor de 0,35 y a las que aportan valores más bajos 0,60.

El $t_c=2$ que se ha elegido para Piñancay da un $t_{lag}= 1,2$, que coincide con el t_{lag} que le corresponde al $t_c= 3,5$ obtenido por la fórmula de Témez, para la cual el factor $t_{lag}/t_c=0,35$, debido a los valores tan altos que aporta.



ANEXO 5: CALIBRACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA Y DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El parámetro K de la conducción calculada a través del método de Muskingum viene definido por la fórmula

$$K = \frac{L}{v}$$

Donde,

L es la longitud del recorrido por el que se conduce el hidrograma en m

v es la velocidad de la corriente en m³/s

Los valores de K utilizados en los ajustes corresponden a valores de v que oscilan entre 1 y 2 m/s.



ANEXO 6: CÁLCULO DEL FACTOR R DE EROSIÓN PLUVIAL

Las estaciones pluviométricas de Piñancay y Tinajeras, que el PROMAS instaló en la cuenca dentro del proyecto EPIC-FORCE cuentan con registros de precipitación cada 5 minutos. Esto permite aislar tormentas concretas y calcular así la R para cada tormenta concreta. La R anual será la suma de todas ellas.

Debido a la corta serie de datos disponibles este cálculo que se presenta a continuación tiene como finalidad tan solo comparar los resultados obtenidos por dos ecuaciones distintas para los registros del año 2007.

W.H. Wischmeier (1959) tras analizar los datos de la distribución del tamaño de las gotas de lluvia publicadas por **Laws y Parson** (1947) propone la siguiente expresión de la energía para un aguacero en J/m²,

$$E = (210,2 + 89 \log I) \cdot (I \cdot T)$$

Donde:

(210,2+89·log I), representa la energía cinética del aguacero de intensidad I, por cm de lluvia y m² de superficie (J/cm·m²).

I, la intensidad del aguacero en cm/hora.

T, la duración del aguacero en horas.

En consecuencia, el valor del índice de erosión pluvial, R [J·cm/m²·hora], se define por la ecuación:

$$R = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^n (210,2 + 89 \cdot \log I_j) \cdot (I_j \cdot T_j) \cdot I_{30}$$

Donde:

T_j, el período de tiempo en horas, para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.

I_j, la intensidad del aguacero en los intervalos citados.



I_{30} , la máxima intensidad del aguacero en 30 minutos.

j , los intervalos homogéneos del aguacero

n , el número de intervalos.

Según esta metodología propuesta por **Wischmeier**, tras aislar las tormentas, para cada estación se ha calculado un factor R para el año 2007. Los valores obtenidos tanto por esta ecuación como por la propuesta por **Roldán** (2005), se presentan en la tabla 1

Tabla.1: Factor R calculado a partir de tormentas reales registradas en los pluviógrafos Tinajeras y Piñancay.

	TINAJERAS	PIÑANCAY
Periodo disponible	30/3/2007 – 13/02/2008	1/01/2007 – 31/12/2007
R (WISCHMEIER)	66,92	19,23
R (ROLDÁN)	93	17



**ANEXO 7: DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO
CHANCHÁN.**



ANEXO 7: DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCHÁN.

A continuación se presenta una tabla con los lugares en los que ocurrieron deslizamientos dentro de la cuenca del río Chanchán, así como las causas y los daños ocasionados.

Tabla.1: Resumen de deslizamientos en la cuenca del río Chanchán. Años 1983-2005. Fuente: Sánchez J.P., 2005

FECHA	LUGAR	EVENTO	SITIO	POSIBLES CAUSAS	DAÑOS
31/03/1983	Chunchi	Deslizamiento	Sictur-Río Huataxí	Precipitaciones	150 personas muertas 1'000000m³
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	Chupicay	Nivel freático alto, presencia de ojos de agua	Pérdida de vidas, destrucción de carretera, viviendas, 78 damnificados; 16'000.000m³ 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 (5'000.000m³ 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, 200.000m³, 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



MAPAS