



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA
TÉCNICA FORESTAL**



***ESTUDIO DEL FACTOR VEGETACIÓN “C” DE
LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE
SUELO REVISADA “RUSLE” EN LA CUENCA
DEL RÍO BIRRÍS (COSTA RICA)***

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO TÉCNICO FORESTAL**

Autora:

Elena Lianes Revilla

Tutores:

**Miguel Marchamalo
Sacristán**

**Margarita Roldán
Soriano**

**Carolina Martínez
Santamaría**

Octubre, 2008

*A mis Abuelos:
Nemesio y Rafaela
Manolo y Elena*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi Yaye, por todo su apoyo y comprensión desde el momento en que tomé la decisión para realizar mi trabajo fin de carrera en Costa Rica, hasta que finalmente ya voy a terminarlo.

A mi compañero, como dicen en tierras ticas, quién también me ha apoyado y comprendido en todo momento. Además como futuro Ingeniero Forestal me ha ido dando valiosas lecciones para progresar en cada fase del Trabajo. Muchas gracias por toda tu ayuda. *MEM*.

A mis amigos y familiares, que siempre han estado ahí, en Madrid o un poco más lejos, por los ánimos para hacer este trabajo, quienes quedando anónimos son igual de importantes. (To my friends and family who have always been there, in Madrid or a little farther, for the encouragement to make this work, who are equally important but remain anonymous).

A mi tutor Miguel Marchamalo, a mi profesor consejero Raffaele Vignola, y a mis tutoras Carolina Martínez y Margarita Roldán agradezco su apoyo, orientación técnica, dedicación y comprensión. En especial, a Miguel quién me abrió la puerta a este proyecto y todo lo relacionado con él.

A la UPM, profundo agradecimiento por haberme otorgado la beca con la que pude realizar esta colaboración en CATIE.

Al Proyecto TroFCCA y al Proyecto PCI-AECI por la oportunidad de desarrollar proyectos como este con su apoyo financiero.

Del CATIE, a todo el personal técnico y administrativo del Grupo Cambio Global, de la Escuela de Postgrado, de la Biblioteca Conmemorativa Orton y del taller de Mantenimiento por su ayuda y constante disposición. A otros profesores del CATIE, como Francisco Jiménez, que me ayudaron compartiendo su conocimiento, consejos y materiales para campo.

A Alfredo Alvarado, Warren Forshyte y Manuel Segura del CIA- UCR, por su consejo en los trabajos de campo y las giras realizadas.

A Federico Gómez Delgado del ICE, por sus aportes y orientaciones en el factor pluvial.

A Beatriz Molina y sus compañeros del MAG en Pacayas, por su apoyo en los trabajos de campo en la cuenca del río Birrís.

A los productores de la cuenca del río Birrís, y en especial, a la comunidad de Buena Vista de Pacayas y a toda la familia Montero, por su acogida durante mis trabajos de campo.

A mis compañeros en CATIE y a todas las personas que encontré durante el periodo en Costa Rica, por la oportunidad de conocerles y todo lo compartido.

De la UPM, en *Forestales*, a toda la unidad docente de Hidráulica e Hidrología por su ayuda, medios y consejos.

De la UCM, al personal de biblioteca de Óptica por las facilidades durante la fase de redacción.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco del estudio.....	1
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	8

2. ANTECEDENTES

2.1. Uso de la tierra: clasificación de la capacidad de uso	9
2.2. Los procesos de erosión y sedimentación	
2.1.1. Erosión: definición, clases, fases y factores.....	10
2.1.2. Erosión hídrica: definición, clases, indicadores, fases y factores.....	11
2.1.3. Impactos de la erosión y sedimentación en Costa Rica.....	14
2.1.4. Modelización de la erosión en la cuenca del río Birrís.....	16
2.3. Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE).....	19
2.4. La cobertura vegetal en los procesos de erosión	
2.4.1. Prevención de la erosión: la cobertura vegetal.....	20
2.4.2. Efectos de la cobertura vegetal en la erosión	21
2.4.3. Estimación de la erosión en Costa Rica: factor vegetación (C).....	26
2.5. Sistemas de conservación y manejo de suelos.....	34

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Localización del área de estudio.....	36
3.2. Caracterización del medio	
3.2.1. Climatología.....	38
3.2.2. Geología.....	39
3.2.3. Geomorfología.....	40
3.2.4. Edafología.....	41
3.2.5. Hidrografía.....	42
3.2.6. Vegetación.....	43
3.2.2. Características socioeconómicas	
3.3.1. Población.....	44
3.3.2. Usos del suelo.....	45
3.3.3. Sistemas de producción.....	46

4. METODOLOGÍA

4.1. Selección de parcelas.....	53
4.2. Toma de datos	
4.2.1. Caracterización general y localización de las parcelas.....	56
4.2.2. Capacidad de uso de la tierra.....	57
4.2.3. Cobertura vegetal.....	59
4.3. Análisis de la información	
4.3.1. Caracterización general y localización de las parcelas.....	60
4.3.2. Uso actual y la capacidad de uso de la tierra.....	62
4.3.4. Cobertura vegetal: cálculo del factor C según el modelo RUSLE.....	66
4.3.4.1. Cálculo de los subfactores de los ratios de pérdida de suelo	
4.3.4.1.1. Subfactor uso previo de la tierra.....	67
4.3.4.1.2. Subfactor cubierta aérea.....	69
4.3.4.1.3. Subfactor cubierta del suelo.....	71
4.3.4.1.4. Subfactor rugosidad de la superficie.....	73
4.3.4.1.5. Subfactor humedad del suelo.....	75

4.3.4.2. Cálculo de los ratios de pérdida de suelo.....	78
4.3.4.3. Cálculo del factor C para cada cobertura	
4.3.4.3.1. Cobertura invariable con el tiempo.....	79
4.3.4.3.2. Cobertura variable con el tiempo.....	80
5. RESULTADOS	
5.1. Uso actual y capacidad de uso de la tierra.....	84
5.2. Cobertura vegetal: el factor C según el modelo RUSLE	
5.2.1. Subfactores de los ratios de pérdida de suelo	
5.2.1.1. Subfactor cubierta aérea.....	87
5.2.1.2. Subfactor cubierta del suelo.....	88
5.2.1.3. Subfactor rugosidad de la superficie.....	90
5.2.1.4. Subfactor humedad del suelo.....	91
5.2.2. Ratios de pérdida de suelo.....	92
5.2.3. Factores C	
5.2.3.1. Cubierta invariable con el tiempo.....	96
5.2.3.2. Cubierta variable con el tiempo.....	97
6. DISCUSION.....	99
7. CONCLUSIONES.....	108
ANEXOS	
Anexo I. Registro fotográfico.....	111
Anexo II. Mapas.....	122
Anexo III. Encuesta sobre coberturas.....	127
Anexo IV. Datos generales de las parcelas.....	128
Anexo V. Localización de las parcelas	
V. 1. Datos de localización de las parcelas.....	130
V. 2. Mapa de localización de las parcelas en la cuenca del río Birrís.....	131
Anexo VI. Capacidad de uso de la tierra de las parcelas muestreadas	
VI.1. Cuadro para la evaluación de la capacidad de uso de la tierra.....	138
VI.2. Datos y determinación de la capacidad de uso de la tierra.....	139
Anexo VII. Cobertura de las parcelas muestreadas	
VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas.....	142
VII.2. Subfactor de humedad de suelo (SM)	147
VII.3. Ratios de pérdida de suelo mensuales (SLR).....	148
VII.4. Ficha de cada parcela: datos, subfactores, SLR y vista general.....	149
VII.5. Erosividades de la lluvia.....	169
VII.6. Factor C en las rotaciones.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	171

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1.1. Tecnologías para el Desarrollo Humano: Dimensiones y tipos (Pérez Foguet <i>et al.</i> , 2005).....	6
Tabla 2.1. Características de los modelos de erosión evaluados para la modelización de la erosión en la Cuenca del río Birrís (Fuente: modificado de Marchamalo 2007).....	17
Tabla 2.2. Influencia de la cobertura vegetal sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica (Bergsma, 1998, en Antezana, 2001).....	24
Tabla 2.3. Aumento de la erosión en función del tipo de cobertura para condiciones análogas de capacidad de uso de la tierra (Cubero, 1996).....	25
Tabla 2.4. Estudios en Costa Rica para relacionar el tipo de cubierta vegetal y la erosión (Modificado de Rodríguez, 1989).....	26
Tabla 2.5. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Mora (1987).....	27
Tabla 2.6. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en FAO (1989).....	28
Tabla 2.7. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en ICE (1999).....	28
Tabla 2.8. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Saborío (2002).....	29
Tabla 2.9. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Marchamalo (2004).....	30
Tabla 2.10. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Marchamalo (2007)....	31
Tabla 2.11. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura arborea y de matorral/pastos.....	32
Tabla 2.12. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura arborea y de matorral/pastos.....	32
Tabla 2.13. Principios de conservación y medidas específicas en sistemas de conservación y manejo de suelos según la fase de erosión hídrica y el uso de la tierra. (Cubero, 1996).35	
Tabla 3.1. Coordenadas UTM y geográficas de la cuenca del río Birrís (Marchamalo, 2004).....	36
Tabla 3.2. Variables climáticas de la cuenca del río Birrís (Ótarola, 2007).....	38
Tabla 3.3. Red de drenaje de la cuenca del Río Birrís, afluentes y altitud de nacimientos (entre paréntesis) (CATIE, 2003).....	42
Tabla 3.4. Comunidades en la cuenca del río Birrís, número de habitantes, extensión y población (hab/km ²) (Ótarola, 2007).....	45

Tabla 3.5. Distribución de los usos de la tierra en la cuenca del río Birrís (Marchamalo, 2004).....	46
Tabla 4.1. Tipo de cobertura y número del estadillo de campo de las parcelas muestreadas en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	54
Tabla 4.2. Variables y material utilizado para la caracterización general y localización de una parcela en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	56
Tabla 4.3. Variables y su abreviaturas en la metodología MAG y MIRENEM, 1995; material utilizado para la determinar la capacidad de uso de una parcela en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	58
Tabla 4.4. Variables y material utilizado para la determinar la capacidad de uso de una parcela en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	59
Tabla 4.5. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de información general de una parcela muestreada en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	60
Tabla 4.6. Tabla tipo (ejemplo: aguacate maduro) de los datos medidos en una parcela para la transformación de las coordenadas geográficas medidas al sistema de coordenadas CRTM 98, en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	61
Tabla 4.7. Nomenclatura según la clasificación (MAG y MIRENEM. 1995) de los tipos de cobertura y subtipos considerados en los estadillos de campo de las parcelas muestreadas en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.....	62
Tabla 4.8. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de los parámetros recogidos en una parcela de la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007, y su clasificación (número romano) para la determinar la clase, subclase y unidad de manejo de uso de la tierra según la metodología en MAG y MIRENEM (1995)	63
Tabla 4.9. Uso potencial y requerimiento en medidas de conservación de suelos según la clase de capacidad de uso (MAG y MIRENEM, 1995)	64
Tabla 4.10. Subfactor uso previo de la tierra (PLU) para cada parcela.....	67
Tabla 4.11. Valores del coeficiente b según el proceso de erosión dominante en suelo desnudo y las características de la zona según el modelo RUSLE (Renard <i>et al.</i> , 1997)...	71
Tabla 4.12. Tabla tipo de los datos medidos en campo de la cobertura. Representación de las medidas para determinar la rugosidad.	73
Tabla 4.13. Estación meteorológica y calicata seleccionada para el cálculo del subfactor de humedad del suelo (SM) de cada parcela.	75
Tabla 4.14. Datos necesarios y cálculo del subfactor de humedad de suelo (SM) mensual para las situaciones en las parcelas muestreadas en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.	76

Tabla 4.15. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de información y cálculo de los subfactores para el calculado de los ratios de pérdidas (SLR) de suelo en una parcela muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	77
Tabla 4.16. Rotaciones de los cultivos actuales y propuestas en un futuro de la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	80
Tabla 4.17. Tabla tipo (ejemplo: rotación papa-brócoli, zona alta de la cuenca) para el cálculo del factor C de una rotación de cultivo anual en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	81
Tabla 5.1. Tipo de uso actual, clase de capacidad de uso, unidad de manejo, uso potencial y clasificación del uso actual según MAG y MIRENEM, 1995 para cada tipo de parcela muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	82
Tabla 5.2. Fracción de la cubierta aérea, F_c , altura efectiva de caída, H , y subfactor cubierta aérea, CC , de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	85
Tabla 5.3. Agrupaciones de las parcelas según el valor del factor de cubierta aérea (CC), fracción de cabida cubierta aérea (F_c) y altura efectiva de caída (H).....	86
Tabla 5.4. Coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión, b , cubierta del suelo, S_p , rugosidad de la superficie, R_i , y subfactor cubierta del suelo, SC , de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	87
Tabla 5.5. Rugosidad de la superficie (R_t) y subfactor rugosidad de la superficie (SR) de cada parcela (tipo de cobertura y código).....	88
Tabla 5.6. Estación meteorológica y calicata seleccionada y subfactor de humedad de suelo (SM) para cada mes para las cuatro situaciones presentes (a,b,c,d) en las parcelas muestreadas en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	89
Tabla 5.7. Ratios de pérdida de suelo en capacidad de campo, SLR_1 , y en época seca, SLR_2 , de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	91
Tabla 5.8. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta invariable con el tiempo (arboladas; con pastos) en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	94
Tabla 5.9. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta variable con el tiempo (cultivos anuales en diferentes rotaciones) en la cuenca del río Berrís, comparando las rotaciones actuales con las alternativas futuras.....	95
Tabla 5.10. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta caracterizados en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Relación entre el tamaño y la distancia de caída de la gota para recuperar por lo menos el 95% de la velocidad terminal (Smith y Wischmeier, 1962, en Cooke y Doornkamp, 1990).....	22
Figura 2.2. Aumento de la erosión en función del tipo de cobertura bajo condiciones análogas de capacidad de uso de la tierra (Cubero, 1996).....	25
Figura 3.1. Mapa de ubicación general de la cuenca del río Birrís en Costa Rica (Modificado de Marchamalo, 2007).....	36
Figura 3.2. Mapa de ubicación la cuenca del río Birrís (4.802 ha) en la cuenca alta del río Reventazón (153.100 ha) (Modificado de Marchamalo, 2007).....	37
Figura 3.3. Infraestructura del Sistema Hidroeléctrico Birrís (SBH), formado por la cuenca del río Birrís y la cuenca alta del río Turrialba (Modificado de Marchamalo, 2004).....	49
Figura 4.1. Transformador de coordenadas para Costa Rica versión 3.1.1 del Instituto Costarricense de Electricidad (Cantillano, J.P. 2007).....	60
Figura 4.2. Altura efectiva de caída de diferentes formas de copa para coberturas arbóreas (Kuenstler, 1998).....	68
Figura 4.3. Relación del porcentaje de cubierta aérea y el subfactor de cubierta aérea del modelo RUSLE (Renard <i>et al.</i> , 1997).....	69
Figura 4.4. Efecto de la cubierta del suelo (ground cover) en la erosión en regeros (rill erosion) y erosión entregueros (interrill erosion) Fuente: Foster y Meyer, 1975, tomado de Foster (2005)	70
Figura 4.5. Rugosidad aleatoria (R_i) frente a la diferencia de elevación en la superficie (Renard <i>et al.</i> , 1997).....	73
Figura 5.1. Tipo de uso actual de las parcelas.....	83
Figura 5.2. Clase de capacidad de uso (uso potencial) del terreno en el que se ubican las parcelas.....	83
Figura 5.3. Factores más limitantes que define la unidad de manejo de cada parcela.....	83
Figura 5.4. Clasificación del uso actual de las parcelas; uso actual (clase de capacidad de uso de la tierra: uso potencial) y factores más limitantes de las parcelas en sobreuso.....	84
Figura 5.5. Subfactor cubierta aérea (CC) de cada parcela.....	86
Figura 5.6. Subfactor cubierta del suelo (SC) de cada parcela.....	88
Figura 5.7. Subfactor rugosidad de la superficie (SR) de cada parcela.....	89

ABREVIATURAS

ACCVC	Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
ASA	Agencia de Servicios Agropecuarios
C	Factor C o factor vegetación
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CC	Subfactor cubierta aérea
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas
CRTM	Coordenadas en el sistema Costa Rica Trasversal Mercator
CSA	Conservación de Suelos y Aguas
EI	Erosividad de la lluvia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiación Forestal
GCG	Grupo Cambio Global
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología agraria y Alimentaria
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
JASEC	Junta Administrativa de Servicios Eléctricos de Cartago
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIRENEM	Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas
MIPRO	Ministerio de Producción
PCI	Programa de Cooperación Interuniversitaria
PLU	Subfactor uso previo de la tierra

PSA	Pago por Servicios Ambientales
PSHCSA	Pago por Servicios Hidrológicos de Conservación de Suelo y Agua
R	Erosividad de la lluvia
RUSLE	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada
SA	Servicios ambientales
SC	Subfactor cubierta del suelo
SLR	Ratio de pérdida de suelo
SM	Subfactor humedad del suelo
SR	Subfactor rugosidad de la superficie
TDH	Tecnologías para el Desarrollo Humano
TFC	Trabajo Fin de Carrera
UCR	Universidad de Costa Rica
UE	Unión Europea
UICN	Unión Mundial para la Naturaleza
UICN	Unión Mundial para la Naturaleza
UMCRE	Unidad de Manejo de la Cuenca del río Reventazón
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
USLE	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco del estudio

El presente Trabajo Fin de Carrera (TFC) que completa mis estudios de Ingeniería Técnica Forestal en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) estudia el factor vegetación “factor C” de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada “RUSLE” en la cuenca del río Birrís (Costa Rica) mediante la evaluación de la cubierta vegetal.

El TFC se realiza al amparo del Convenio de Colaboración Científica, Académica y Cultural suscrito por el Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica y la UPM del 25 de julio de 2007. Según las Cláusulas Segunda y Tercera del Convenio Marco “se fomentará la colaboración científica de ambas entidades, fundamentalmente mediante el intercambio de investigadores y estudiantes que colaboren en proyectos de la institución huésped, para los cuales se elaborará el programa adecuado”. Así mismo, la realización del TFC ha sido posible gracias a la adjudicación de una beca de la “I Convocatoria Anual de Becas correspondientes al Programa de Proyectos de Fin de Carrera para el Desarrollo” creada por la UPM.

El TFC forma parte de las labores de investigación que se están llevando a cabo en el Grupo Cambio Global (GCG), perteneciente al departamento de Recursos Naturales y Ambiente del CATIE, para implementar el Proyecto “*Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica*”, en adelante Proyecto CATIE-UICN, con apoyo financiero del Fondo de Incidencia en Política Ambiental de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). Dicho Proyecto esta enmarcado en el Proyecto Internacional TroFCCA: “Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático” (2005-2009). TroFCCA es un proyecto de investigación interdisciplinario financiado por la Unión Europea (EuropeAid/ENV/2004-817) que pretende adaptar estrategias de gestión para mitigar el efecto del cambio climático en los bosques tropicales.

El TFC se realiza con el apoyo del Proyecto Internacional PCI-AECID: “*Mejora de la eficiencia de captación y recarga de los sistemas de abastecimiento de agua mediante ordenamiento de los usos de la tierra en Centroamérica*” ejecutado por la UPM y la

Universidad de Costa Rica (UCR) con fondos de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). El presente trabajo aporta a este proyecto la caracterización de la cubierta vegetal de la cuenca del río Birrís, prioritaria para la producción hidroeléctrica en Centroamérica. Estos resultados son la base para diseñar alternativas de manejo y uso de la tierra que permitan mejorar la eficiencia de los sistemas de captación de agua en Centroamérica.

Los servicios ambientales (SA) son aquellas utilidades que los ecosistemas proporcionan a la sociedad humana. Estos servicios son fruto de la capacidad que tienen los ecosistemas para generar utilidades como la regulación de gases, la biodiversidad, la protección de los recursos hídricos y del suelo, la belleza escénica..., que mejoran el bienestar de las personas y las comunidades (Pérez et al., 2002, citado en Marchamalo, 2004). Los SA reconocidos actualmente en Costa Rica son, según el artículo 3.k de la Ley Forestal 7575/96:

- Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (reducción, absorción, fijación y almacenamiento de carbono).
- Protección de agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico.
- Protección de la biodiversidad para su conservación y uso sostenible, científico, farmacéutico, de investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas y formas de vida.
- Belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.

El Pago por Servicios Ambientales, en adelante PSA, es el reconocimiento económico a los propietarios de terrenos (áreas forestales, agroecosistemas, ...) que generan tales servicios a la sociedad. En nuestros días las crecientes sociedades urbanas demandan progresivamente mayores servicios ambientales que permitan la vida humana en estos ambientes. El valor que tienen los servicios ambientales y la necesidad de cobrar por ellos son conceptos relativamente nuevos en el mundo y Costa Rica es uno de los países pioneros en aplicar mecanismos financieros para hacer cobros y pagos por estos servicios (Rodríguez, 2002, citado en Marchamalo, 2004).

El Proyecto CATIE-UICN se orienta a la elaboración de un esquema de PSA aplicable a paisajes alterados bajo diferentes usos del suelo (una matriz de agricultura intensiva, pastos, bosques y sistemas agroforestales), con la intención de favorecer usos del

suelo que contribuyan favorablemente a la producción hidroeléctrica. El proyecto está compuesto fundamentalmente por las siguientes fases:

- La identificación, recopilación, sistematización y valoración de información existente de la cuenca del río Birrís.
- El estudio de las opciones de manejo sostenible de las tierras para el control de sedimentos, incluido el proceso de toma de decisiones de los productores.
- La cuantificación del potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca, incluyendo la modelización de la erosión y la producción de sedimentos en la cuenca. En esta fase se integra mi TFC.
- La estimación del coste por el desembalse para la limpieza de los sedimentos.
- El estudio de las opciones de Pago por Servicios Hidrológicos de Conservación de Suelo y Agua (PSHCSA) más eficaces en el control de producción de sedimentos y más eficientes en la identificación y distribución de montos a pagar.
- La presentación de los resultados del proceso (diseño e implementación) en otras cuencas y en un taller nacional de propuesta de decisiones.

El área del presente estudio es la cuenca del río Birrís, ubicada en la cuenca alta del Río Reventazón. Esta cuenca es de gran importancia para la generación hidroeléctrica del país y la producción de otros sectores (Otárola, 2007). La cuenca del río Reventazón produce cerca del 38% de la hidroelectricidad de Costa Rica en tres embalses: Río Macho, Cachí y Angostura, así como el 25% del agua potable del Área Metropolitana de San José, el 85% de la producción hortícola, el 33% de la ganadería y el 50% del cemento nacional (CATIE, 2007).

Las prácticas inadecuadas de uso agrícola y la deforestación están acelerando la generación de sedimentos. Esto se ha convertido en un problema ambiental y económico importante. En la cuenca del río Reventazón, solamente para el desembalse de Angostura, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) calcula la movilización de dos millones de toneladas anuales de sedimentos con altos costes asociados a la limpieza y a la necesidad de comprar otras fuentes de energía (CATIE, 2007). La cuenca Birrís es la que aporta más cantidad de sedimentos al cauce del Río Reventazón, principalmente por las prácticas predominantes de uso del suelo en esta zona de agricultura y ganadería intensiva (ICE, 1999).

En la situación actual, las acciones tomadas al respecto tienden a que el aumento de la cobertura arbórea provea distintos servicios ambientales entre los cuales se destacan la protección de la cuenca y la regulación del ciclo hidrológico. Bajo ese enfoque, existen iniciativas de la Unidad de Manejo de la Cuenca del río Reventazón (ICE) - Fondo Nacional de Financiación Forestal (UMCRE-FONAFIFO) y del ICE para disminuir el impacto de las actividades agropecuarias y forestales sobre la producción de sedimentos. Estas iniciativas incluyen también con otros tipos de acciones para conservar el suelo y el agua (CATIE, 2007)

El Proyecto CATIE-UICN tiene por objetivo aumentar la capacidad de los productores de la Cuenca del río Reventazón para realizar prácticas de Conservación de Suelos y Aguas (CSA) dirigidas a reducir el impacto de la sedimentación en los embalses para la producción hidroeléctrica; y a la vez mejorar la condición económica de la población de la zona. Para hacer esto se propone diseñar y experimentar un mecanismo de PSA que sea eficaz en el control de sedimentos y eficiente en la distribución de los pagos. Las acciones desarrolladas pueden constituir una experiencia importante para realizar en otras cuencas del país y/o para ser incluidas en una discusión nacional sobre el esquema de PSA (CATIE, 2007). Cabe añadir que las acciones de CSA aumentarán la capacidad del sistema cuenca para regular los ciclos hidrológicos (Chomitz et al. 1999; Bruijnzeel, 2004, citado en CATIE, 2007) beneficiando sectores de la cuenca del Reventazón importantes y posiblemente vulnerables frente al cambio climático (IMN, 1999, citado en CATIE 2007).

El cambio climático es un nuevo elemento en la compleja problemática de la gestión de cuencas con múltiples usos en regiones tropicales. Las tendencias observadas en la región centroamericana tras el análisis de series meteorológicas entre 1961 y 2003, son (Aguilar *et al.*, 2005, citado en Marchamalo, 2007):

- La temperatura máxima diurna está aumentando significativamente, aumentando también el rango térmico diario.
- La precipitación total permanece estable
- La contribución de los días muy lluviosos está aumentando, indicando un incremento de la intensidad de los fenómenos de lluvia.

Es necesario estudiar el efecto de estas variaciones observadas en los procesos de erosión y sedimentación y el papel que puede desempeñar el manejo de la cobertura vegetal.

La implementación de un esquema eficiente de PSA beneficiaría tanto a la producción agrícola como a la producción hidroeléctrica, favoreciendo el desarrollo humano del país desde la especificidad tecnológica. Durante el desarrollo del proyecto y una vez puesto en práctica esta intervención contará con:

- La participación de la sociedad: los productores, con los que se ha considerado la disposición y conveniencia de la adopción de PSHCSA, aplicarán prácticas de conservación de suelos y aguas por lo que recibirán un pago. Todos los beneficiarios de la hidroelectricidad aportarán un monto económico (tarifa ambiental) en el recibo de la luz, que junto con otros fondos, hará posible la aplicación de estos PSA hídricos.
- La sostenibilidad para preservar el entorno y garantizar la regeneración de recursos consumidos: es necesaria para que en un futuro siga siendo posible el aporte de alimentos así como de hidroelectricidad, ante la actual situación del aumento de producción de sedimentos en la cuenca por el uso intensivo agrícola.

Esta intervención de cooperación al desarrollo incorpora la introducción y manejo de tecnologías en un grado mayor o menor como puede ser la implementación de sistemas de conservación de suelos y agua (Ej.: canales de guardia, uso del palín mecánico, etc.) así como los pagos por servicios ambientales. La acción de transferir tecnología no es sólo transferir maquinaria o instrumentos, es necesario integrar la formación y capacitación para poner en práctica el conocimiento adquirido y mantenerlo a lo largo del tiempo. La tecnología apropiada será aquella que sea eficiente y adaptada a condiciones locales.

La tecnología, las infraestructuras y la ingeniería pueden contribuir a conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio desde un enfoque de la Tecnología para el Desarrollo Humano (TDH), según destaca el informe “Innovación: aplicar el conocimiento al desarrollo” de 2005 del equipo de Ciencia, Tecnología e Innovación del proyecto Millenium de la ONU. Es evidente la existencia de interacciones entre tecnología y desarrollo y el refuerzo mutuo entre las mismas, así como la importancia de centrar la atención en un mayor uso de la ciencia y las nuevas tecnologías en los países en desarrollo como forma de reducir la pobreza y el sufrimiento humano.

Para la interpretación de mi TFC como TDH según la propuesta de Pérez Foguet *et al.* (2005), se consideran tres ejes principales o dimensiones: desarrollo humano o finalidad

buscada, escala de aplicación y canal de aplicación, que a su vez se subdividen en tipos, según se muestra a continuación. He marcado el tipo sobre el cual mi TFC actúa más directamente:

Finalidad buscada	Escala de aplicación	Canal de aplicación
Seguridad y equidad	Global (macro)	Operacional
Producción y participación (*)	Regional (meso)	Cognitivo(*)
Sostenibilidad y empoderamiento	Local (micro) (*)	Valorativo

Tabla 1.1. Tecnologías para el Desarrollo Humano: Dimensiones y tipos (Pérez Foguet *et al.*, 2005).
Tipo de dimensión en la que actúa mi TFC.

1.2. Justificación

La cuenca del río Berrís es una cuenca tributaria de los Complejos Hidroeléctricos operados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Junta Administrativa de Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC), empresas públicas de servicios costarricenses. Debido a su carácter prioritario para el país, se justifica la realización de estudios, que como éste, generen la información sobre la cobertura vegetal en el área de estudio y su influencia en la erosión y en el transporte de sedimentos. Esta información puede ser empleada para predecir los valores de la producción de sedimentos, en distintos escenarios de uso de la tierra, evaluando el efecto de diversas medidas de conservación de suelos y aguas.

La erosión de la cuenca del río Berrís ha sido estimada por varios estudios, presentando en todos los casos valores promedio elevados. En el estudio de diagnóstico del Plan Integral de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (ICE, 1999) la aplicación del modelo USLE con el software CALSITE estimó una tasa media de erosión de 50 t/ha/año y una tasa media de aporte de sedimentos de 38 t/ha/año para la cuenca del Berrís. La cuenca del río Berrís según este estudio, aportaría el 16% de los sedimentos cubriendo solamente el 5% de la superficie de la cuenca del Reventazón. Es la subcuenca que tiene la tasa de erosión más alta de la cuenca, de acuerdo con los resultados obtenidos en el citado estudio (Marchamalo, 2007).

Las pasadas y actuales prácticas inadecuadas de uso agrícola y deforestación han alterado la capacidad del sistema de regular el ciclo hidrológico. El resultado de esta

modificación es la generación de tal cantidad de sedimentos que se ha convertido en un problema socioeconómico y ambiental importante tanto en la cuenca del río BIRRÍS, perteneciente a la cuenca del río Reventazón, como en otras del país. La importancia de la cuenca del río BIRRÍS a nivel social, y a la vez estatal, reside tanto en su producción agrícola y ganadera como en la producción de hidroelectricidad (CATIE, 2007).

Un factor fundamental para la producción de agua de calidad y cantidad para la generación de energía eléctrica, es el uso del suelo en las partes altas de las cuencas (Robledo, 2003). Diferentes estudios (Bruijnzeel, 1990; Stadtmuller, 1994, tomado de Robledo, 2003) han concluido que la cobertura arbórea representa el uso más adecuado para la generación de este servicio ambiental. El sobreuso del suelo en áreas de ladera representa un factor que incide fuertemente en el incremento de la erosión y en el transporte de suelo hacia los embalses, lo cual disminuye la calidad del agua para la generación de energía eléctrica. Esta condición incrementa los costes de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas y disminuyen la vida útil de los equipos y los embalses (Gutiérrez, 2001, citado por Robledo, 2003).

En los últimos años se le ha asignado al recurso agua la importancia debida, por su alto valor ecológico y económico. En Costa Rica se considera que hay mucha agua en algunas áreas y épocas del año pero según los diferentes usos que se asignen a las cuencas, ésta puede llegar a escasear, especialmente al final de la época seca (ICE, 1999). A finales de abril de 2007 el país entero sufrió un apagón y una semana de cortes por falta de agua para la generación hidroeléctrica (Ávalos, 2007).

La sustitución del uso forestal por el uso agrícola puede tener un impacto negativo sobre el ciclo hidrológico. Estos cambios en la hidrología se relacionan principalmente con: la calidad, que tiene que ver con la erosión, sedimentación y flujo de nutrientes; la cantidad de agua, relacionada con flujos estacionales, protección contra inundaciones y precipitación (Lovón, 2003).

Ante el actual problema de la alta tasa de erosión en la cuenca del río BIRRÍS que afecta tanto a la producción hidroeléctrica como a la agricultura y ganadería a nivel nacional, se han llevado a cabo estudios sobre la producción de sedimentos en la cuenca. Pero sin embargo no hay estudios específicos sobre el papel de la cobertura vegetal y su

influencia en ese proceso. Por esta razón, este estudio se centra en el papel que juega la cobertura vegetal en los procesos erosivos en la cuenca del río BIRRÍS, ya que aquella es el elemento natural de protección del suelo contra la erosión y la cuál podemos variar en un periodo relativamente corto de tiempo.

1.3 Objetivos

Objetivo general:

Incrementar el conocimiento sobre el potencial de conservación de suelos y aguas en cuencas mediante la evaluación sobre el terreno de la respuesta hidrológica de los diferentes tipos de cobertura del suelo en la cuenca del río BIRRÍS (Costa Rica) como aporte para la generación de alternativas de uso de la tierra compatibles con la economía local y adaptadas al cambio global.

Objetivos específicos:

- Analizar el conflicto entre la capacidad de uso de la tierra y el uso actual en la cuenca de estudio.
- Calcular el factor vegetación “C” del modelo RUSLE mediante la caracterización y medición de los tipos de cobertura vegetal de la cuenca de estudio.

2. ANTECEDENTES

2.1. Uso de la tierra: clasificación de la capacidad de uso

Uno de los problemas más importantes en Costa Rica es que el uso de la tierra no se ha fundamentado con base a sus limitaciones físicas y climáticas, es decir, no se ha basado en la capacidad de uso. Esto ha conllevado un mal uso de la tierra y su rápido deterioro (Cubero, 1996).

Si se mantiene una cobertura vegetal adecuada y se asigna un uso correcto a la tierra mediante la utilización de una tecnología adecuada, se disminuye apreciablemente la velocidad del agua de escorrentía, disminuyen los caudales máximos y aumentan los caudales de estiaje (Lee, 1980 en Rodríguez, 1989). En el caso específico de la cuenca del río Reventazón se encontró que en las subcuencas con mayor superficie de cobertura boscosa había una mayor regularidad del flujo hídrico, de la escorrentía y de la variación porcentual de las descargas, mostrando tendencia a disminuir a medida que la superficie de cubierta forestal aumentaba (Mojica, 1971, tomado en Rodríguez, 1989).

Hay distintos enfoques para determinar la capacidad de uso de la tierra. Un planteamiento es considerar la clasificación de la capacidad de la tierra como el fundamento del uso apropiado de la misma. La tierra puede clasificarse de muchas maneras debido a diferencias en las condiciones físicas, sociales, económicas y políticas; ninguna clasificación puede aplicarse en su totalidad o forma original de un país a otro, sin considerables modificaciones (Sheng, 1971, en Cuello, 2003).

En Costa Rica se publicó en 1995 la metodología oficial para la determinación de la capacidad de uso de la tierra del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y del *Ministerio* de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM) creada como respuesta a la necesidad de alimentar sosteniblemente a la población impulsada por la FAO y otras organizaciones. Así se clasifican las tierras según esa perspectiva u objetivo principal de asegurar la producción agrícola y una seguridad alimentaria fijando en unos usos preferibles o potenciales. Esta metodología, que ha sido aplicada a este estudio, se describe en el apartado de metodología 4.2.2. *Capacidad de uso de la tierra*.

No obstante, la capacidad de uso no debe ser el único criterio de ordenamiento territorial. Se deben también considerar aspectos económicos, sociales y ambientales, como la conservación de ecosistemas, la fijación de gases, la protección de recursos hídricos y la belleza escénica, bajo los cuales una tierra en subuso puede generar mayores beneficios que los meramente agropecuarios (Maldonado y Rodríguez, 1997, citado en Marchamalo 2004).

2.2. Los procesos de erosión y sedimentación

2.1.1. Erosión: definición, clases, fases y factores

La erosión es un proceso de desgaste mecánico del suelo, generalmente lento, causado por algún agente físico que puede ser el viento o el agua. Las partículas segregadas continúan su proceso de disociación y son transportadas, ya sea por los mismos agentes que las liberaron, o por otros (Keller, 1983, citado en Gómez, 2002).

La ausencia de una cubierta vegetal que protege el suelo facilita el desprendimiento de sus partículas y ocasiona la pérdida de las capas superficiales, llegando en algunos casos a exponerse el lecho de la roca madre al medio ambiente. Una cubierta de arbustos y árboles, una capa de hojas muertas o en descomposición, o una alfombra de pasto, son los agentes encargados de proteger el suelo, absorbiendo el impacto de las gotas o el viento, mientras que el sistema radical de las plantas mantiene el suelo. Incluso durante sequías, las raíces de pasto autóctono que pueden profundizar algunos metros, brindan amarre al suelo contra el arrastre ofrecido por el viento (Keller, 1983, citado en Gómez, 2002).

Las clases de erosión según el periodo de tiempo son (Miranda, 1992, en Antezana, 2001):

- Erosión geológica o natural: se produce por la dinámica del medio ambiente cuyos agentes son el agua de las lluvias, la corriente de los ríos, el viento, el clima y la topografía. Esta erosión puede ser imperceptible y tiende a buscar la estabilidad en la superficie del suelo y el equilibrio entre el proceso de desgaste de la costra terrestre y la formación nueva del suelo.
- Erosión acelerada: es propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación, el agua y los animales. Esta erosión se da cuando el

ecosistema natural es transformado por las prácticas productivas del hombre en un agroecosistema vulnerable; en este proceso se altera el ciclo básico del ecosistema natural, es decir, de los diferentes flujos de la relación suelo – planta – agua. En consecuencia se produce un empobrecimiento químico del suelo, se reduce las poblaciones de microorganismos y empeoran las características físicas del suelo.

La erosión del suelo es un proceso con tres fases. La primera, el *desprendimiento* de partículas individuales de la masa del suelo por acción del agua y viento; la segunda el *transporte* de las partículas desprendidas por los agentes erosivos, como son las corrientes de agua y el viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce la tercera fase, la *deposición* o *sedimentación*. La severidad de la erosión depende, sobre todo, de la cantidad de material desprendido y de la capacidad de los agentes erosivos para transportarlo (Morgan, 1997).

Los factores físicos que influyen sobre la erosión son el clima, la topografía, el suelo y la cobertura vegetal. Es importante mencionar que la erosión, aparte de ser un fenómeno físico, también es partícipe del contexto social y económico que rodea al agricultor, aunque en muchos casos se ha analizado sólo bajo el contexto físico. En el aspecto socioeconómico interactúan diversos factores, tales como la tenencia de la tierra, su tamaño y forma, la presión de uso por la densidad de población, los precios del mercado, las tradiciones y costumbres del agricultor en cuanto a siembra y manejo de sus cultivos, así como su ignorancia respecto a la importancia de las consecuencias de la erosión (Cubero, 1996).

2.1.2. Erosión hídrica: definición, clases, indicadores, fases y factores

La erosión hídrica se define como la acción de desprendimiento de las partículas del suelo y su transporte por el agua que se escurre sobre el terreno. Cuando no hay más energía para el transporte, ocurre la sedimentación de las partículas (Cubero, 1996).

Para Costa Rica se pueden identificar cinco tipos principales de erosión hídrica (Cubero, 1996):

- Erosión por salpicadura: las gotas de lluvia al impactar en los agregados del suelo los disgregan desplazando sus partículas a distancias cortas (máxima 2m). Esta

erosión es un factor importante en el desprendimiento de las partículas del suelo, no así en su desplazamiento. Al mismo tiempo este impacto de las gotas produce una rotura de las partículas, dejando expuestas y en la superficie en las más finas.

- Erosión laminar: esta forma de erosión ocurre en terrenos con pendientes uniformes y suaves cuando la cantidad de agua excede a la capacidad de infiltración de los suelos y forma una película delgada de agua. La erosión laminar separa las partículas del suelo desprendidas por las gotas de lluvia, dejando en su lugar las partículas más gruesas y llevándose consigo las más pequeñas, las cuales en mayor grado determinan el fertilidad de los suelos.

- Erosión en surcos: la superficie de los terrenos de cultivo casi siempre es irregular presentando depresiones y elevaciones. El agua de lluvia se concentra en las pequeñas depresiones formando corrientes. Estas acumulaciones de agua de escorrentía arrastran y transportan las partículas del suelo formando pequeñas zanjas o surcos. La erosión en surcos adquiere una mayor gravedad cuando caen aguaceros intensos en suelos desprovistos de vegetación y con alta susceptibilidad al transporte por el agua de escorrentía, especialmente en terrenos recién labrados.

- Erosión en cárcavas: lluvia tras lluvia, las pequeñas zanjas o surcos se van ampliando con el movimiento de la escorrentía. Este tipo de erosión se produce cuando existe una mayor concentración en el escurrimiento debido a las irregularidades del terreno que permiten la conjunción de varios surcos. Las profundas incisiones creadas en el terreno impiden su nivelación con instrumentos de labranza ordinarios.

- Movimientos en masa: se reúnen en este tipo de erosión aquellos casos en donde se desplazan masas considerables de suelo y roca sobre distancias relativamente cortas, bajo la acción de la gravedad y en mayor o menor grado de la cantidad de agua. Los movimientos en masa tienen la particularidad de ser mucho más evidentes, espectaculares y rápidos. Sus causas y consecuencias no son siempre fácilmente detectables, tampoco su prevención. La recuperación de tierras degradadas por deslizamientos es muy difícil y costosa.

Este tipo de erosión es importante en la cuenca de estudio ya que puede originar entre el 15-20% de los sedimentos (Marchamalo, 2007). Este porcentaje coincide con el 20% de sedimento en suspensión proveniente de movimientos de masa estimado por Gómez (2002) para la cuenca del Reventazón.

Se pueden identificar varios indicadores de erosión hídrica observables en el terreno (Cubero, 1996):

- Pedestales: son un indicador de la erosión por salpicadura (Anexo I: foto 10).
- Desnivel en el campo o salto entre dos parcelas: indica una erosión actual mayor de la parcela inferior con respecto a la parcela adyacente.
- Plantas con raíces expuestas: indican una desaparición de los horizontes superficiales del suelo (Anexo I: foto 11).
- Surcos y cárcavas: son las marcas más claras de la erosión hídrica (Anexo I: foto 12).

Durante la toma de datos en campo para el presente trabajo en la cuenca del río Birrís se observaron otros indicadores de erosión como: la pérdida de horizontes superficiales (Anexo I: foto 9) y deslizamientos (Anexo I: foto 13 y 14).

La erosión hídrica se da en tres fases. En la primera las partículas del suelo se desprenden; en la segunda, las partículas desprendidas son arrastradas aguas abajo por la corriente; y en la tercera las partículas de suelo se depositan en nuevos lugares: sobre otros suelos, en la base de la pendiente, en charcos o cauces de agua (Gómez, 2002). Cada una de estas fases quedan definidas por Cubero (1996):

- Desprendimiento: el impacto de las gotas de lluvia causa la ruptura de los agregados del suelo cuya consecuencia es el desprendimiento de sus partículas.
- Transporte: si la cantidad de lluvia que cae sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo o lo satura se produce un escurrimiento superficial que arrastra las partículas desprendidas por la acción de las gotas de lluvia.
- Sedimentación: si el escurrimiento alcanza velocidades bajas ($<0.3\text{m/seg}$), las partículas de suelo arrastradas empiezan a sedimentar. Generalmente este proceso se localiza en las partes llanas del terreno, en ciertas partes del cauce de los ríos, en lugares del terreno donde se presentan obstáculos, en embalses y en el mar.

Los factores que intervienen en este proceso son: la intensidad y frecuencia de las lluvias, el relieve del terreno, la longitud de la pendiente, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y su manejo (Miranda, 1992, en Antezana, 2001). En este estudio se analizará en detalle la influencia del factor de la cobertura vegetal en el apartado 2.4. *La cobertura vegetal en los procesos de erosión.*

2.1.3. Impactos de la erosión y sedimentación en Costa Rica

A nivel de cuenca hidrográfica, los procesos de erosión y de sedimentación se interrelacionan, dependiendo del material de arrastre, de tal forma que el aumento o disminución de la escorrentía superficial en las zonas altas, aumentará o disminuirá en correspondencia con la capacidad de desprendimiento del suelo y el transporte de sedimentos en canales (Kirkby, 1984).

Los efectos principales de la erosión no sólo se traducen en la pérdida de tierras superficiales fértiles y valiosas, la disminución de las productividades agrícola y forestal, y la elevación del fondo del mar, sino que además los sedimentos producidos afectan a las estructuras y máquinas hidráulicas, produciendo desgaste en tuberías, canales, y otras conducciones; producen sedimentación en embalses y planicies, así como problemas en turbinas y bombas. Se dificulta también satisfacer la necesidad de agua potable, de modo que desde el punto de vista humano, el agua con alta concentración de sedimentos es agua contaminada, a la cual se asocia un coste de tratamiento (Marchamalo, 2007)

Los efectos de la erosión fuera de sitio son muy dañinos e involucran la deposición de las partículas en suspensión en los campos agrícolas, planicies, y en el caso de los embalses, lagos y ríos, pueden incidir en la proliferación de especies como el lirio acuático, como es el caso del embalse de Cachí y de los canales de Tortuguero. Además, la calidad del agua disminuye, siendo necesario tratarla para el consumo humano e industrial. También originan daños a los ecosistemas acuáticos, debido a la disminución de la concentración en oxígeno en el agua si la carga es fundamentalmente orgánica (Cubero, 1996).

La sedimentación en un embalse es inevitable y está contemplada entre los factores que determinan su vida útil. El problema reside en la rapidez de la sedimentación y el período de tiempo en el cual transcurre, antes de que la utilidad del embalse esté seriamente destruida o sea inservible. (Chow, 1964, en Robledo, 2003).

El efecto de la sedimentación en un embalse se manifiesta en la eficiencia de operación de éste, en el aumento de turbidez y la eventual pérdida de calidad de las aguas que tiene impactos económicos, cuya importancia dependerá de la forma, tamaño y uso

que se dé al vaso; de la distribución de los sedimentos en los diferentes estratos asignados a cada propósito y de la operación e importancia relativa de la obra dentro del sistema (Rodríguez, 1977, en Rodríguez 1989).

En un país como Costa Rica, poseedor de un gran potencial hídrico, la erosión y sedimentación pueden convertirse en una gran debilidad en la operación de los proyectos hidroeléctricos. Los sedimentos producen dificultades pues se depositan y se acumulan en los embalses, reduciendo la capacidad útil de estos (Gómez, 2002). El diagnóstico de la cuenca del río Reventazón, desarrollado por el ICE (1999), indica que las tasas de sedimentación son altas, siendo particularmente significativas en la vertiente norte de la cuenca en estudio, sobresaliendo la cuenca del río BIRRÍS con 28,3 t/ha/año. Para prevenir la disminución del volumen útil de los embalses en la cuenca del río Reventazón, se realizan desembalses cuya práctica tiene un alto coste (MIPRO, 2007).

El agricultor en muchos casos desconoce cuales son las causas de la disminución de los rendimientos de sus cosechas y las atribuye a otros factores sin tener en cuenta la degradación del suelo por erosión. En estos casos no se ha percatado de los daños que produce ni tampoco de cuales podrían ser las medidas o prácticas para combatirla. No sólo existe desconocimiento acerca de este aspecto a nivel de agricultor, sino también en niveles técnicos que no conocen los peligros de la erosión, ni saben como controlarla. También existe todavía una falta de conciencia a nivel político y del público en general, que impide la puesta en marcha de una verdadera política de conservación de suelos en Costa Rica (Cubero, 1996).

Debido a los múltiples problemas que genera la erosión en muchas de las cuencas de Costa Rica, debe prestársele atención, investigar al respecto e implementar planes de manejo integrado que contribuyan a controlar este fenómeno. Es indispensable definir una política nacional para estimar la erosión, de modo que se pueda iniciar un “historial de erosión” en Costa Rica, con resultados homólogos y, por tanto, comparables (Gómez 2002). Se debe resaltar la importancia de la cobertura vegetal en una cuenca, sobre todo si en ella existen proyectos hidroeléctricos, lo que puede contribuir a disminuir algunos costes con respecto a los embalses (Robledo, 2003).

2.1.4. Modelización de la erosión en la cuenca del río BIRRÍS

La erosión, por su distribución espacial y por que está condicionada por muchos factores interactuantes, es un proceso que no puede ser medido en forma exacta y de manera sencilla. La estimación de las tasas de erosión o pérdidas de suelo se realizan con base a pruebas de campo y modelos que consideran al mundo real como un sistema (Antezana, 2001).

La mayor parte de los modelos utilizados en los estudios de erosión del suelo son empíricos, del tipo caja gris. Se basan en la definición de los factores más importantes y en su relación con las pérdidas de suelo mediante su observación, medición, experimentación y aplicación de técnicas estadísticas. El conocimiento de los mecanismos de los procesos erosivos ha mejorado significativamente en los últimos años y, como consecuencia de ello, se está poniendo ahora mayor énfasis en el desarrollo de modelos con base física y de caja blanca. Estos van mejorando por el uso de técnicas estadísticas y matemáticas (Morgan, 1997).

Para la modelización de la erosión en la cuenca del río BIRRÍS en Marchamalo (2007) se seleccionó el modelo USLE aplicado con el software CALSITE, tras la evaluación de varios modelos (Tabla 2.1.), debido a los siguientes motivos:

- La disponibilidad de datos. Al no disponer de registros climáticos horarios y diarios, la estimación de la erosividad de la lluvia se realizó en base a los valores disponibles del factor R de la USLE (Gómez, 2002, en Marchamalo, 2007)
- El software CALSITE incluye una rutina de transporte de sedimentos con base física que permite calibrar el sedimento producido por cada píxel de la cuenca con datos de sedimento medido en campo (Marchamalo, 2007)
- El modelo CALSITE ha sido ampliamente aplicado en Costa Rica por lo que los resultados obtenidos pueden ser comparados con otros estudios realizados (ICE, 1999; Saborío, 2000; Gómez, 2002; Marchamalo, 2004, citado en Marchamalo, 2007).

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Requerimientos de datos	Salidas
USLE	Empírico	Ladera	Anual	Media	Erosión
USLE-CALSITE	Empírico	Cuenca	Anual	Alta	Erosión Sedimentación Índice de entrega
RUSLE	Empírico	Ladera	Anual Quincenal	Alta	Erosión Sedimentación
RUSLE-SAATEC	Empírico	Cuenca	Anual	Alta	Erosión Sedimentación Índice de entrega
SWAT	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escorrentía Erosión Sedimentación
MMMF	Empírico Conceptual	Ladera Cuenca	Anual	Alta	Erosión Escorrentía
EUROSEM	Físico	Micro-cuenca	Evento	Muy alta	Erosión Escorrentía Sedimento

Tabla 2.1. Características de los modelos de erosión evaluados para la modelización de la erosión en la Cuenca del río Birrís (Fuente: modificado de Marchamalo 2007)

En CATIE (2003) se aplicó CALSITE estimando para la subcuenca del río Birrís una erosión de 50 t/ha año y un aporte de sedimentos de 38 t/ha año, es decir, el 16% de sedimentos del total de la gran cuenca del río Reventazón, aunque representa sólo un 5% de la superficie total. Esto muestra el deterioro al que está expuesta la subcuenca del río Birrís ya que aporta un alto porcentaje de sedimentos al embalse de Angostura.

Marchamalo (2004) aplicando CALSITE estimó una erosión promedio de 42 t/ha año y un aporte de sedimento de 61 t/ha año de la cuenca del Birrís a la del Reventazón. La causa de este desfase entre la erosión modelizada y el sedimento estimado en campo es que éste último incluye todos los sedimentos producidos en la cuenca, entre ellos los arrastrados por erosión en sistemas agrarios, los producidos en los márgenes de las infraestructuras sin protección, los provenientes de movimientos en masa y otras fuentes importantes de sedimentos, como la minería y extracción de áridos. Se estimó que un el 67% de la cuenca tiene erosión baja (<10t/ha año), el 5% moderada (10-50 t/ha año), un 24% severa (50-200 t/ha año) y un 4% tiene problemas de erosión muy severa (>200 t/ha año). Así la superficie cultivada de la cuenca (33%) coincide prácticamente con el área con erosión estimada superior a 10 t/ha año.

El mismo autor caracterizó diferentes sistemas de producción para disminuir la erosión y la escorrentía, estableciendo la importancia de nuevos usos alternativos de la tierra como el pasto de corta, con una semiestabulación de ganado lechero, o la de plantación árboles frutales. Los resultados de este estudio indicaron que el pasto de corta tiene un efecto favorable global sobre las variables hidrológicas, reduciendo la escorrentía en un 73% con respecto al potrero tradicional. Del mismo modo, la ausencia de pisoteo y la cobertura del pasto de corta inducen una reducción de la erosión en un 57% con respecto al potrero tradicional. Por su parte los frutales de altura permitieron la reducción de la erosión puntual con respecto al cultivo hortícola en un 97% y la escorrentía total en un 21%.

Marchamalo (2004) tras el análisis de las tasas de erosión medidas en microparcels de cultivos revela la importancia de una adecuada ordenación temporal de los cultivos o calendariación de las prácticas agrícolas para la disminución del impacto erosivo de los períodos críticos del año, coincidiendo con las recomendaciones de varios autores (Goujon *et al.*, 1968, en Marchamalo, 2004). Marchamalo (2004) resalta la calendarización de cultivos y prácticas culturales como una medida clave en el ordenamiento territorial de la cuenca, debido a que puede evitarse que las labores más críticas (aporcado y arrancado) coincidan con épocas de mayor erosividad pluvial. Se recomienda la realización de investigaciones en este campo comparando simultáneamente cultivos que son laboreados en épocas críticas y no críticas y el impacto que esto podría tener sobre la renta de los productores en la época de lluvias.

En la aplicación del modelo USLE basado en CALSITE a la cuenca del río Birrís (Marchamalo, 2007), se realizó un refinamiento de cálculo de los factores R y K de la USLE para asegurar un buen ajuste local a las condiciones de la cuenca. Para el factor C se diseñó una metodología para la toma de datos en campo para obtener valores reales según el modelo RUSLE, tal y como se desarrolla en el presente estudio.

Se estima que la erosión potencial de la cuenca alcanza las 52 t/ha año, con una tasa de entrega media del 92%. El sedimento estimado en su desembocadura asciende a 61 t/ha año, lo que constata, como ya lo han hecho los estudios comentados anteriormente, que la cuenca del río Birrís es una de las cuencas críticas respecto a la producción de sedimentos en la cuenca del río Reventazón (Marchamalo, 2007).

2.3. Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE)

En las más de tres décadas de uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), ésta se ha mostrado como una herramienta versátil y útil para la determinación de pérdidas edáficas por erosión hídrica (Roldán y Fernández, 1993; Lozano *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2003, en Roldán y Gómez, 2006) y la planificación hidrológica de los distintos usos del suelo en territorios relativamente extensos (Edwards y Charman, 1980; Rosewell, 1986, en Roldán y Gómez, 2006).

La revisión de la original USLE ha dado lugar a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), basándose en la puesta al día de los distintos factores que integraban la ecuación original (Wischmeier y Smith, 1978, en Roldán y Gómez, 2006) y la aplicación de teorías más actuales sobre procesos de disgregación, transporte y sedimentación de las partículas arrancadas del suelo, bien por el impacto de las gotas de lluvia, bien por la escorrentía superficial, tanto laminar como en regueros (Renard *et al.*, 1996, en Roldán y Gómez, 2006).

La actualización que supone la RUSLE, que además viene implementada con un software que facilita su aplicación (USDA-ARS, 2001), hace de ella un instrumento aún más útil, que supera ciertas limitaciones del modelo anterior, y que tiene una mayor eficacia en la estimación de la potencialidad de las superficies continentales para sufrir pérdidas de suelo por erosión hídrica (Roldán y Gómez, 2006).

La ecuación básica del modelo USLE fue publicada en el número 282 de la revista *Agriculture Handbook* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos por Wischmeier y Smith en 1965, y desde entonces ha conservado su formulación básica en las revisiones posteriores: USLE (Wischmeier y Smith, 1978) y RUSLE (Renard *et al.*, 1996). Dicha ecuación para la estimación de las pérdidas medias de suelo como consecuencia de la erosión hídrica laminar y en regueros es la siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P, \text{ donde:}$$

$$A \left(\frac{t}{ha * \text{año}} \right) : \text{pérdidas de suelo anuales por unidad de superficie}$$

$R\left(\frac{hJul}{m^2} * \frac{cm}{h}\right)$: factor erosividad de la lluvia

$K\left(\frac{t}{ha} * \frac{m^2 * h}{hJul * cm}\right)$: factor erodibilidad del suelo

L (adimensional): factor longitud de ladera

S (adimensional): factor pendiente

C (adimensional): factor vegetación

P (adimensional): factor de prácticas de conservación de suelo

La cobertura vegetal está representada en la ecuación por el factor vegetación o factor C. Este factor es muy significativo dentro de la ecuación USLE y el mapa de C generalmente hereda su configuración al mapa de erosión (Gómez, 2002).

La RUSLE incluye revisiones de los factores para el cálculo de las pérdidas de suelo medias anuales de su antecesora la USLE. Respecto al factor C incluye un nuevo procedimiento para contabilizar su valor mediante el producto del valor de varios subfactores. En el apartado de metodología 4.3.4. *Cobertura vegetal: cálculo del factor C según el modelo RUSLE* se describe y explica el cálculo de cada uno de los subfactores y del factor C según este modelo (Renard *et al.*, 1997).

2.4. La cobertura vegetal en los procesos de erosión

2.4.1. Prevención de la erosión: la cobertura vegetal

Según Morgan 1997, la prevención de la erosión del suelo, entendida como la reducción de la tasa de pérdida de suelo hasta la que, aproximadamente, se produciría en condiciones naturales, se apoya en estrategias seleccionadas para la conservación del suelo y éstas, a su vez, requieren un conocimiento profundo de los procesos erosivos. Los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación. Estos y otros factores relacionados con ellos, se pueden considerar bajo tres aspectos: energía, resistencia y protección.

1. El aspecto energético incluye la capacidad potencial de la lluvia, la escorrentía y el viento para provocar la erosión. Esta capacidad se denomina erosividad. También están incluidos otros factores que afectan directamente a la potencia de los agentes erosivos, como son la longitud y la pendiente recorrida por la escorrentía o el recorrido del viento.
2. El aspecto de la resistencia es función del factor de erodibilidad del suelo que depende, sobre todo, de sus propiedades mecánicas y químicas. Los factores que favorecen la infiltración del agua en el suelo y, por tanto, disminuyen la escorrentía, reducen la erosionabilidad, mientras que cualquier actividad que pulverice el suelo, la aumenta.
3. El aspecto de protección se centra en los factores relacionados con la cobertura vegetal. Ésta puede proteger el suelo de la erosión al interceptar la lluvia y reducir la velocidad de la escorrentía y del viento. Diferentes cubiertas vegetales consiguen distintos grados de protección y, en consecuencia, las actuaciones humanas mediante determinados usos del suelo pueden controlar considerablemente la tasa de erosión.

2.4.2. Efectos de la cobertura vegetal en la erosión

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1997).

Dicho de otra manera, según Roldán (2005) la vegetación es el elemento natural de protección del suelo contra la erosión. La vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica controlando la energía con la que inciden las gotas de lluvia (impacto); mejorando la capacidad de infiltración y por tanto disminuyendo la escorrentía; influyendo en la circulación de la escorrentía, disminuyendo su velocidad, aumentando la rugosidad del suelo y reduciendo la capacidad erosiva del flujo. En conjunto, disminuye la capacidad erosiva de la lluvia y protege al suelo contra la erosión.

A continuación se tratan los efectos de la cobertura sobre la lluvia, la escorrentía, las corrientes de aire y estabilidad de la pendiente según Morgan (1997):

- Efecto sobre la lluvia: la eficacia de una cubierta vegetal para reducir la erosión por impacto de las gotas de lluvia depende, sobre todo, de la altura y continuidad de la vegetación, y de la densidad de cobertura del suelo. La altura de la vegetación es importante porque las gotas de agua interceptadas y que drenen desde 7m pueden alcanzar más del 90 por ciento de su velocidad terminal. En relación con esto, la Figura 2.1. representa la distancia necesaria para recuperar por lo menos el 95% de la velocidad terminal para distintos diámetros de gota. Más aún, las gotas de lluvia interceptadas por la cubierta pueden unirse a otras en las hojas aumentando de tamaño y al recuperar su velocidad terminal se hacen más erosivas.

Además de modificar la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, una cubierta vegetal cambia su distribución espacial sobre la superficie del suelo. La acumulación de agua en los puntos de goteo de las hojas puede producir localizaciones de muy alta intensidad de lluvia que, a su vez, pueden superar considerablemente la capacidad de infiltración y jugar un importante papel en la formación de escorrentía.

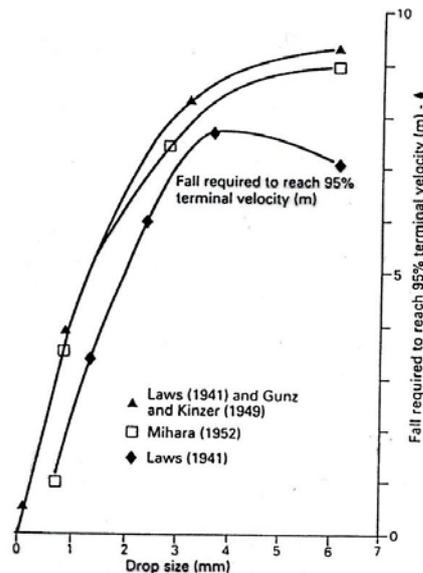


Figura 2.1. Relación entre el tamaño y la distancia de caída de la gota para recuperar por lo menos el 95% de la velocidad terminal (Smith y Wischmeier, 1962, en Cooke y Doornkamp, 1990)

- Efecto sobre la escorrentía: una cubierta vegetal sobre la superficie del suelo disipa la energía del agua en movimiento al aportar rugosidad al flujo y, en consecuencia, reducir su velocidad. En la mayoría de los trabajos de conservación de suelos, la rugosidad se expresa como un valor del coeficiente n de Manning, que representa la suma de la rugosidad que producen las partículas del suelo, la microtopografía y la vegetación, consideradas independientemente. El nivel de

rugosidad de las diferentes formaciones vegetales depende, sobre todo, de la morfología y densidad de las plantas, así como de su altura en relación con el calado del flujo.

Con cubiertas vegetales densas y espacialmente uniformes se producen las mayores reducciones de velocidad. La vegetación agrupada o las gramíneas que forman macollas son menos eficaces y pueden, incluso, llevar a concentraciones de flujo con altas velocidades localizadas entre las macollas. Cuando el flujo se rompe alrededor de un conjunto vegetal que queda formando una “isla”, la presión que ejerce el flujo es mayor en la cara corriente arriba que en la cara corriente abajo, produciéndose remolinos y turbulencia aguas abajo inmediatamente pasada la vegetación.

- Efecto sobre las corrientes de aire: la vegetación reduce la velocidad cortante del viento al oponer una superficie rugosa a la corriente de aire. El efecto de la vegetación puede describirse por un coeficiente de arrastre por fricción (C_d) ejercido por el volumen de la cubierta vegetal. En su lugar, se pueden obtener mayor precisión examinando las condiciones próximas a la superficie del suelo, estimando el coeficiente de arrastre en el interior de la cubierta vegetal (C_d').

- Efecto sobre la estabilidad de la pendiente: la cubierta forestal ayuda, generalmente, a proteger la tierra frente a los movimientos en masa debido, en parte, a la cohesión que dan al suelo las raíces de los árboles. Las raíces finas, entre 1 y 20 mm de diámetro, interaccionan con el suelo formando un material compuesto en el que las raíces fibrosas, con relativamente alta resistencia a la tracción, refuerzan una matriz de menor resistencia. Además, la fuerza del suelo aumenta por la adherencia de las partículas del suelo a las raíces. Las raíces pueden hacer significativas contribuciones a la cohesión del suelo, incluso con pequeña densidad de raíces y en materiales con poca resistencia al esfuerzo cortante.

Las gramíneas, las leguminosas y los pequeños arbustos pueden reforzar el suelo hasta profundidades de 0,75 a 1 m, mientras que los árboles elevan la resistencia del suelo a profundidades de 3 m o superiores. La importancia del efecto depende, sobre todo, del ángulo con que las raíces de los árboles cortan al plano potencial de deslizamiento, siendo máxima para los ángulos rectos, y si el esfuerzo ejercido sobre la ladera es suficiente para activar totalmente el esfuerzo resistente de las raíces. El efecto es limitado cuando las raíces se rompen a causa de insuficiente unión con el suelo, como puede suceder en materiales pedregosos, o cuando el

suelo se somete a esfuerzos de compresión en lugar de tracción, como puede ocurrir en la parte baja de las laderas, donde las raíces se rompen por formar bucles.

La cobertura vegetal, cuando cubre una proporción suficiente de la superficie del suelo, puede jugar un papel importante en la reducción de la erosión. La cubierta forestal con sotobosque o materia orgánica es la más efectiva pero una densa cubierta herbácea puede tener casi la misma eficiencia y se obtiene más rápidamente. La eficacia protectora de los cultivos agrícolas varía según su estado de desarrollo y la cantidad de suelo desnudo expuesto a la erosión. Para una protección adecuada, al menos el 70% de la superficie del suelo debe estar cubierta (Elwell y Stocking, 1976, en Morgan, 1997), aunque se puede obtener una protección aceptable con el 40% de suelo cubierto. Sin embargo, los efectos de la vegetación no son tan sencillos y bajo determinadas condiciones la erosión puede verse potenciada por la cobertura vegetal. Cuando se usan cubiertas vegetales como elemento básico para controlar la erosión, es fundamental que esas condiciones sean perfectamente conocidas y especificadas (Morgan, 1997).

Marchamalo (2004) cita que numerosos autores han establecido que la cantidad y calidad de la cobertura del suelo (protección vertical) disminuye notablemente la erosión y la escorrentía. Bergsma (1998) citado en Antezana (2001) indica que los procesos de erosión dependen de la precipitación, del material, de la posición relativa en el paisaje (sobreflujo y humedad antecedente), de la forma de la pendiente y del uso y manejo del suelo. Según el mismo autor, el efecto de la cobertura influye en la erosión de la siguiente manera (Tabla 2.2) :

Vegetación	Escorrentía de la precipitación (%)	Transporte de suelo (mm/año)	Pérdida de suelo (t/ha año)
Bosque	0,8	0,01	0,1
Pradera	4	0,05	0,5
Suelo desboscado	8	0,1	1,5
Barbecho	49	24,5	336
Suelo arado			
perpendicular a la pendiente	47	11	159
paralelo a la pendiente	58	30	447

Tabla 2.2. Influencia de la cobertura vegetal sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica (Bergsma, 1998, en Antezana, 2001)

La Tabla 2.3. muestra un estudio comparativo entre el aumento de la erosión por cultivo o rotación de cultivos con respecto a la erosión bajo bosque natural, para las mismas condiciones de suelo, topografía y clima. La erosión bajo bosque natural es considerada como insignificante debido al alto grado de cobertura del suelo con la hojarasca (Cubero, 1996).

Tipo de cobertura	Aumento de la erosión
Bosque	1
Pasto mejorado o de corte	16
Vegetación natural baja	24
Cacao	80
Banano	124
Café con sombra	140
Café sin sombra	220
Caña de azúcar	553
Tomate o chile dulce	1004
Maíz	1060
Papa-zanahoria	1170
Papa-cebolla	1370

Tabla 2.3. Aumento de la erosión en función del tipo de cobertura para condiciones análogas de capacidad de uso de la tierra (Cubero, 1996)

Como se puede observar en la Figura 2.2. los suelos bajo vegetación permanente como bosque natural, pasto bien manejado y cultivos perennes, son menos susceptibles a la erosión que los suelos bajo cultivos anuales porque éstos últimos tienen poca cobertura en contacto con suelo durante un largo período de tiempo (época de barbecho y fases iniciales de desarrollo de las plantas).

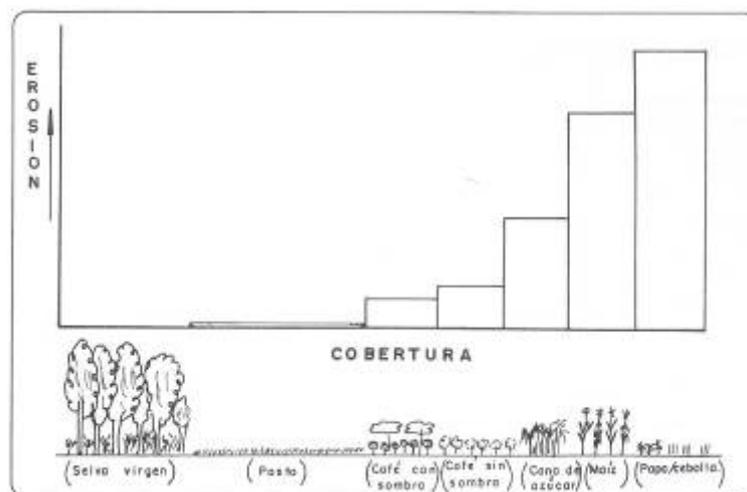


Figura 2.2. Aumento de la erosión en función del tipo de cobertura bajo condiciones análogas de capacidad de uso de la tierra (Cubero, 1996)

2.4.3. Estimación de la erosión en Costa Rica: valores del factor vegetación (C)

La degradación acelerada de suelos es un problema muy importante en Costa Rica. Según FAO (1989), en 1984 el 42% del área agrícola de Costa Rica presentaba problemas de erosión hídrica entre moderada y muy severa. El MAG y la FAO (1996), tomado de Marchamalo (2007) señalan la erosión hídrica como uno de los principales factores de degradación de los recursos naturales en Costa Rica. Los mismos autores explican que el proceso erosivo natural es bastante intenso en Costa Rica, por la conjunción del régimen pluvial, la geografía del país y las condiciones tectónicas y de vulcanismo, lo cual está generando un proceso continuo de desgaste (denudación) del medio y de redefinición del paisaje. No obstante apuntan a que la amenaza principal se debe a erosión antropogénica acelerada por falta de planificación del uso de la tierra con una adecuada tecnología (Marchamalo 2007).

En cuanto a estudios específicos de evaluación de la erosión, se han llevado a cabo varios de ellos en Costa Rica con la intención de relacionar el tipo de cubierta vegetal y la erosión (Rodríguez, 1989), algunos ejemplos se muestran en la Tabla 2.4. Los valores de pérdida de suelos en Costa Rica, resultan muy variables y contrastan fuertemente con valores obtenidos en otras áreas tropicales del mundo, puesto que para el caso de Filipinas se reportan valores de hasta 489 t/ha/año (Rodríguez, 1989).

Lugar	Cubierta	Erosión (t/ha/año)	Autores
Turrialba	Café (<i>Coffea arabica</i> L.) Poró (<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walper.) O. F. Cook)	30-72	Amézquita y Forsythe (1975)
		0, 0715	
	Café (<i>Coffea arabica</i> L.) Poró (<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walper.) O. F. Cook) Laurel (<i>Cordia alliodora</i> (R & P). Cham)	0,1272	Bermúdez (1980)
Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	0,4395		
Cuenca del Arenal	Bosque virgen	1,8	Hartshorn, 1983
	Cultivos perennes	18,8	
	Pastos mejorados	109	
	Cultivos anuales	840	

Tabla 2.4. Estudios en Costa Rica para relacionar el tipo de cubierta vegetal y la erosión (Modificado de Rodríguez, 1989)

A continuación se muestran los datos utilizados del factor vegetación (factor C) por varios estudios de pérdidas de suelo en Costa Rica:

a) Mora, I. 1987

Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS); aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejiballe, vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., Programa Universidad de Costa Rica / CATIE. 174pp.

De acuerdo con la información del mapa de uso actual, y gracias a estudios previos para cultivos y bosques tropicales, se le da un valor a C en cada uso. Los valores del factor C de cobertura y manejo para los diferentes usos de la tierra aparecen en la Tabla 2.5.

Cobertura	Factor C
Bosque primario	0,0001 (Wischmeier y Smith, 1978)
Caña, caña brava	0,05 (Cooley y Williams, 1985)
Café, café con macadomia y café con pejibaye	0,3 (Mitchell y Bubenzer, 1980)
Charral, pasto	0,018 (Howeler, 1984)

Tabla 2.5. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Mora (1987)

b) FAO, 1989.

Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Áreas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133 pp.

En base al mapa de tipos de uso actual del suelo se agrupan en cuatro grupos principales con unos subtipos. Se aplica la metodología desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) para los diversos subtipos de cobertura. Los tipos principales de uso actual están compuesto por otros diversos subtipos, por cada subtipo se toma en cuenta su factor C y se asigna el porcentaje que le corresponde dentro de su tipo principal. Los factores C utilizados en este estudio se muestran en la Tabla 2.6.

Cobertura	Superficie (%)	Factor C	
Bosque natural			
selva virgen	62	0,0005	0,003
bosque secundario	38	0,007	
Pasto			
pasto (natural o mejorado)	85	0,008	0,009
vegetación natural baja (altura media 50cm)	15	0,012	
Cultivos perennes			
café	61	0,090	0,079
banano	37	0,062	
cacao	2	0,050	
Cultivos anuales			
papa-zanahoria o papa-cebolla	26	0,615	0,495
maíz	54	0,519	
tomate/chile dulce	1	0,502	
caña de azúcar	19	0,263	

Tabla 2.6. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en FAO (1989)

c) ICE, 1999

Plan de manejo integral de la cuenca del Río Reventazón. Informe de Diagnóstico: 4b. Caracterización de la erosión. Costa Rica. 55pp.

El factor C se trabajó como una imagen combinada de los factores C y P, variando entre 0 y 1. Individualmente el factor C incluye los valores de cobertura y el factor P el de prácticas de conservación. Los valores del factor C se tomaron de la FAO (1989) mostrados en la Tabla 2.7.:

Cobertura	Factor C
Bosques naturales	0,001-0,003
Pastos	0,01-0,015
Cultivos perennes	0,086
Cultivos anuales	0,34

Tabla 2.7. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en ICE (1999)

En este documento se destaca que para la cuenca en estudio, se utilizaran las estimaciones específicas para el año 1989, aunque debe tenerse presente la variación del factor C en los diferentes estudios consultados (Saborío, 1997, citado en ICE,1999). Paradójicamente, el ICE (1999) se refiere a los valores del factor C de FAO (1989) aunque comparando ambas informaciones no coinciden.

d) Saborío, J. 2002

Estudio de Riesgo Integral en la Cuenca del Río Savegre: estudio de erosión potencial. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. 41pp.

También Saborío, J. 2000. *Estudio de erosión para la República de Guatemala.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica.

Los valores del factor C, Tabla 2.8., se asignan a través de las Tablas elaboradas por Wischmeier y Smith (1978). Los valores en Saborío (2000) son iguales a los que aparecen en Saborío (2002), según comunicación personal del autor.

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

Tabla 2.8. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Saborío (2002)

e) Gómez, 2002

Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191 pp.

Una de las tres cuencas de este estudio es la del Río Reventazón, donde se encuentra la cuenca del río Birrís. Para la estimación de los valores de erosión y aporte de sedimentos se ha utilizado el modelo CALSITE que, aplicado a SIG, utiliza la USLE. Los valores del factor C los toma del mismo cuadro mostrado en el apartado: *d) Saborío (2002)*.

f) CATIE, 2003.

Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del Sistema Hidroeléctrico BIRRÍS. Informe de consultoría presentado a la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 33p

El área de estudio abarca las cuencas del río BIRRÍS y del río Turrialba. Se utilizó el trabajo de Gómez (2002) para estimar la erosión y aporte de sedimentos, por lo que los valores del factor C utilizados son los mostrados en el apartado: *d) Saborío (2002)*.

g) Marchamalo, 2004

Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos: aplicación a la cuenca del río BIRRÍS (Costa Rica). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 409pp.

El factor C se obtuvo a partir de los documentos de la FAO (1989) y Gómez (2002), utilizándose los factores que parecen en la Tabla 2.9.

Cobertura	Factor C
Bosque	0,003
Charral ¹	0,012
Pasto	0,013
Cultivos (cobertura baja)	0,650
Cultivos (cobertura media)	0,500
Cultivos (cobertura alta)	0,400
Caña	0,050
Café	0,080
Áreas urbanas	0,015
Cenizas	0,900
Masa de agua	0,000

¹Charral es la cobertura forestal en regeneración

Tabla 2.9. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Marchamalo (2004)

h) Marchamalo, 2007

Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio del caso de la cuenca del río BIRRÍS. Primer Informe. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174pp.

En este estudio, el factor C se obtuvo a partir de los documentos de la FAO (1989) y Gómez (2002), utilizándose los factores que parecen en la Tabla 2.10. Son los mismos valores que los usados en Marchamalo (2004), aunque varía la denominación de algunos tipos de coberturas.

Cobertura	Factor C
Bosque	0,003
Charral ¹	0,012
Pasto	0,013
Áreas urbanas	0,015
Mixto agricultura pasto	0,400
Cultivo cobertura	0,500
Cultivo barbecho	0,650
Cenizas	0,900

¹Charral es la cobertura forestal en regeneración

Tabla 2.10. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en Marchamalo (2007)

En todos los estudios mencionados el factor C se basa en la aplicación de la metodología USLE (Wischmeier y Smith, 1978), excepto en el de Mora (1987) que el factor C de pasto y cultivos cita otros autores. Se ha generalizado el uso de la Tabla de valores C para diversos usos del suelo en Costa Rica propuesta por Saborío (2000), elaborada en base a las tablas de Wischmeier y Smith (1978). A modo de resumen la Tabla 2.11. y 2.12. muestra los valores del factor C utilizados en diferentes estudios.

Cobertura		Factor C					
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE,2003;	Marchamalo	
						2004	2007
Bosque	Bosque primario	0,0001					
	Bosque natural		0,003	0,001-0,003			
	Selva virgen		0,001				
	Bosque denso				0,003-0,010		
	Bosque claro con substrato herbáceo denso				0,003-0,010		
	Bosque claro son substrato herbáceo degradado				0,010-0,100		
	Bosque					0,003	
	Bosque secundario		0,007				
	Charral,pasto	0,018					
	Charral					0,012	
Matorral/Pastos	Matorral denso				0,003-0,030		
	Matorral claro con substrato herbáceo denso				0,003-0,030		
	Matorral claro con substrato herbáceo degradado (abierto)				0,030-0,100		
	Páramo				0,003-0,040		
	Pasto		0,009	0,01-0,015		0,013	
	Pasto (natural o mejorado)		0,008				
	Vegetación natural baja (altura media 50cm)		0,012				
	Pastizal natural completo				0,030-0,010		
	Pastizal natural pastoreado				0,040-0,200		
	Pastizal cultivado (manejado)				0,003-0,040		

Tabla 2.11. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura arborea y de matorral/ pastos

Cobertura		Factor C					
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE,2003;	Marchamalo	
						2004	2007
Cultivos permanentes	Café, café con macadomia, café con pejibaye	0,300			2004	2007	
	Cultivos perennes		0,079	0,086			
	Café		0,090			0,080	
	Banano		0,062				
	Cacao		0,050				
	Cultivos permanentes asociados (densos)				0,010-0,300		
	Cultivos permanentes no densos				0,100-0,450		
	Huertos de subsistencia				0,300-0,900		
Cultivos anuales	Caña, caña brava	0,050					
	Cultivos anuales		0,495	0,340			
	Papa-zanahoria o papa-cebolla		0,615				
	Maíz		0,519				
	Tomate/chile dulce		0,502				
	Caña de azúcar		0,263			0,050	
	Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0,300-0,800		
	Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0,400-0,900		
	Cultivos (cobertura baja)	Cultivo barbecho					0,650
	Cultivos (cobertura media)	Cultivo cobertura					0,500
	Cultivos (cobertura alta)	Mixto agricultura pasto					0,400
	Otros	Terrenos desprovistos de vegetación				0,900-1,000	
Áreas urbanas					0,003-0,010	0,015	
Lagunas y embalses					0,000		
Cenizas						0,900	
Masa de agua						0,000	

Tabla 2.12. Factor vegetación (factor C) por tipo de cobertura en cultivos y otros

2.5. Sistemas de conservación y manejo de suelos

Como expone Cubero (1996), el hombre puede actuar sobre algunos de los factores que determinan la erosión hídrica y lograr así que ésta se mantenga en niveles tolerables. El conjunto de prácticas y medidas de conservación y manejo de suelos aplicado a un terreno de forma integrada se llama: sistema de conservación y manejo de suelos. Estos sistemas actúan a tres niveles:

1. Sobre la resistencia del suelo a la erosión, con un buen manejo del suelo.
2. Sobre la protección de la tierra contra la erosión, por medio de buenas prácticas culturales (cobertura vegetal) y un adecuado manejo de la tierra.
3. Sobre la energía del agua de escorrentía, por medio de estructuras físicas que acortan la longitud de la pendiente.

Mientras que es indispensable que los dos primeros niveles sean implementados correctamente en todos los sistemas para lograr el buen uso, manejo y conservación de los suelos; el tercer nivel solo se implementará en los casos donde los dos primeros niveles no logren mantener o aumentar la productividad de la tierra debido a una excesiva degradación por la erosión.

Las prácticas y medidas son muchas y variadas. Se deberán escoger dependiendo del uso de la tierra, del tipo, de la severidad y de la fase de la erosión, y del agricultor. A continuación en la Tabla 2.12. se presentan algunos sistemas de conservación y manejo de suelos para distintas fases de erosión hídrica y los principales usos de la tierra.

Fase de erosión hídrica: <i>principio de conservación</i>	Uso de la tierra	Medidas específicas de conservación y manejo de la tierra
Desprendimiento: <i>aumentar la cobertura vegetal y el contenido en materia orgánica del suelo</i>	Bosque	Mantener la cobertura; no talar árboles ni su vegetación inferior
	Pasto	Establecimiento de cercas; labranza profunda; aparatos para rotación; enmiendas orgánicas animales; fertilización mineral adecuada
	Cultivos perennes	Labranza mínima; cultivos intercalados; cobertura muerta; cultivo de cubierta; sistemas agroforestales; enmiendas orgánicas animales; compost; abono verde; fertilización
	Cultivos anuales	Labranza mínima o no labrar; labranza superficial; rotación de cultivos; cultivos intercalados; cultivos secuenciales; cobertura muerta; mulching; barbecho mejorado; enmiendas orgánicas animales; compost; abono verde; fertilización mineral adecuada
Transporte: <i>Acortar la longitud de la pendiente y reducir la magnitud de la pendiente</i>	Bosque	Sistemas agroforestales; no talar árboles ni su vegetación inferior
	Pasto	Surcos en contorno; enmiendas orgánicas animales; fertilización mineral.
	Cultivos perennes	Acequias de ladera; terrazas de huerta (frutales); terradas de desviación; terrazas individuales; labranza mínima; siembra en contorno; barreras vivas; barreras muertas; cultivos intercalados; cobertura muerta
	Cultivos anuales	Canal de guardia; acequias de ladera; terrazas de desviación; muros de piedra; canal de desviación; terrazas de banco; labranza en contorno; siembra en contorno; barreras muertas; cultivo en fajas; barbecho mejorado
Sedimentación: <i>Retención de sedimentos</i>	Cualquiera y vías de drenaje superficial	Muros de piedra; barreras vivas; barreras muertas; muros de contención

Tabla 2.13. Principios de conservación y medidas específicas en sistemas de conservación y manejo de suelos según la fase de erosión hídrica y el uso de la tierra. (Cubero, 1996)

3. ÁREA DE ESTUDIO

La mayor parte de la información presentada en este apartado procede del documento sobre la Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del Sistema Hidroeléctrico Berrís (CATIE, 2003), del cual se han extraído los componentes más pertinentes para desarrollar el contenido de este apartado.

3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio es la cuenca del río Berrís perteneciente a la cuenca alta del río Reventazón, la cual queda insertada en la región geográfica denominada Vertiente Atlántica (Figura 3.1), y ubicada entre las coordenadas que se indican en la Tabla 3.1.:

UTM	X	515308 - 523765
	Y	1093209 - 1103258
Geográficas	Latitud Norte	9,89° - 9,98°
	Longitud Oeste	83,78° - 83,86°

Tabla 3.1. Coordenadas UTM y geográficas de la cuenca del río Berrís (Marchamalo, 2004)



Figura 3.1. Mapa de ubicación general de la cuenca del río Berrís en Costa Rica (Modificado de Marchamalo, 2007)

La cuenca del río Birrís considerada en este estudio comprende una superficie de 4.802 hectáreas que se extienden desde su nacimiento en el Cerro Noche Buena, en las faldas del Volcán Irazú hasta el embalse donde se encuentra la planta hidroeléctrica Birrís III de la empresa hidroeléctrica JASEC. En relación con su elevación se sitúa entre los 1245 m.s.n.m. y los 3432 m.s.n.m (Anexo II. 1). El río Birrís se caracteriza por una gran densidad de afluentes, la Quebrada Pacayas se constituye como el principal de los mismos. La cuenca de estudio se ubica en la provincia de Cartago, abarcando parte de los cantones de Alvarado, Oreamuno y Paraíso, siendo Pacayas el centro poblacional más importante (Figura 3.2).

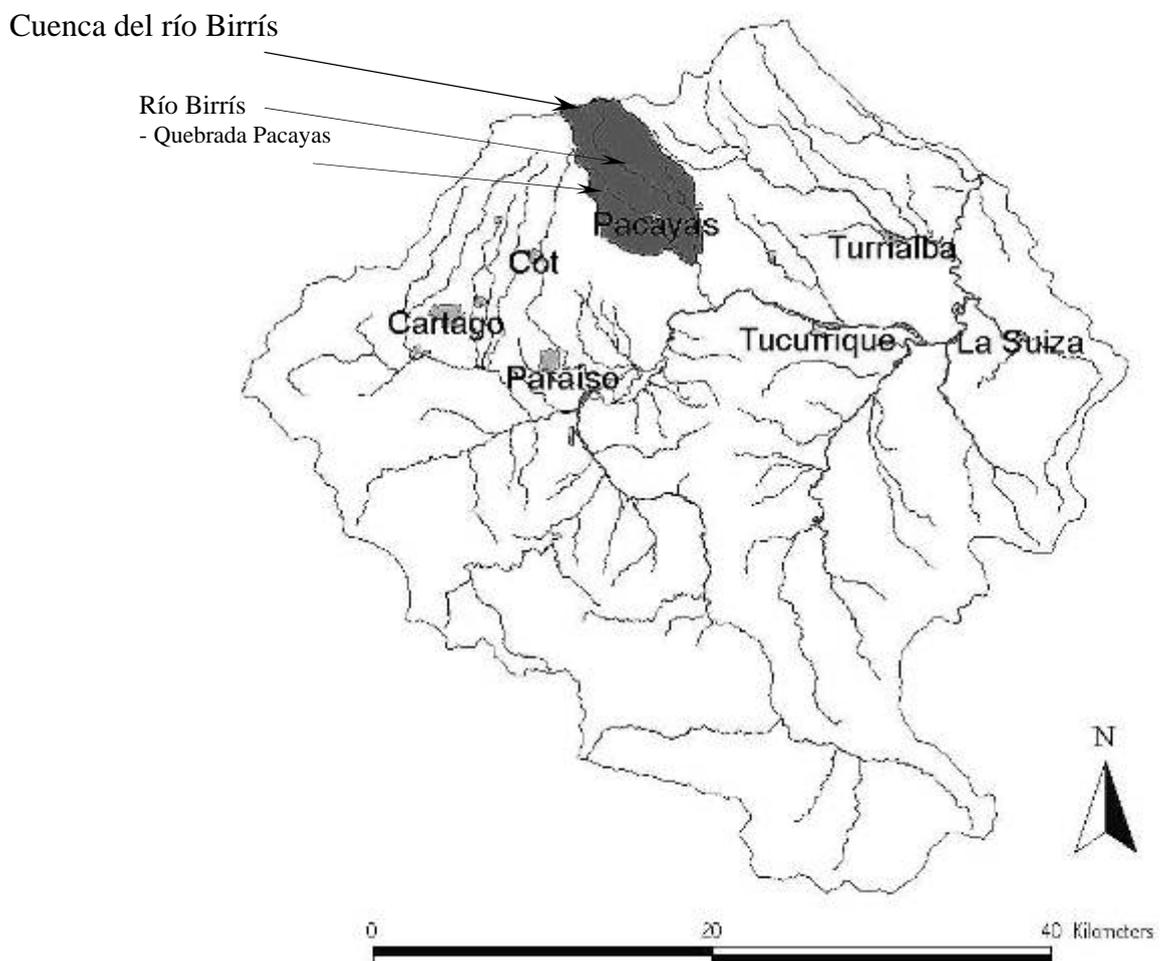


Figura 3.2. Mapa de ubicación la cuenca del río Birrís (4.802 ha) en la cuenca alta del río Reventazón (153.100 ha) (Modificado de Marchamalo, 2007)

Aclarar que bajo una denominación común como cuenca del río Birrís existen diferentes consideraciones sobre su extensión en distintos estudios, según sus objetivos. Así, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Reventazón comprende una

superficie de 5.046 hectáreas (Otárola, 2007). La JASEC gestiona la superficie anterior junto con la cuenca alta del río Turrialba en base al Sistema Hidrológico BIRRÍS, cubriendo 7.381 hectáreas (CATIE, 2003). A su vez, el río BIRRÍS es afluente del río Reventazón, con aprovechamiento hidroeléctrico gestionado por el ICE considerando una superficie de 8.349 hectáreas (ICE, 1999).

3.2. Caracterización del medio

3.2.1. Climatología

El área de influencia que abarca la cuenca de estudio está regida por condiciones climáticas de la Vertiente Atlántica con transición al clima del Valle Central, siendo los valores medios de las variables climáticas las que figuran en la Tabla 3.2, tomando como referencia la estación meteorológica de Pacayas.

Variable climática	Valor medio
Temperatura media anual	16,7 °C
Evapotranspiración potencial media	3 mm/día
Insolación relativa media	< 35%
Duración media del brillo solar	4,5 h/día
Humedad relativa media	88%
Precipitación media anual	2325 mm
Precipitación época seca (enero-abril)	27,20%
Precipitación época húmeda (mayo-dic)	82,80%

Tabla 3.2. Variables climáticas de la cuenca del río BIRRÍS (Ótarola, 2007)

La temperatura disminuye cerca de 0,7° C por cada 100 metros de aumento en la altitud, aunque por las características de relieve se presentan muchos microclimas. En la estación meteorológica Pacayas ubicada a 1735 m.s.n.m. se observa una temperatura promedio de 16,7 °C, mientras que en la estación Irazú a 3400 m.s.n.m., la temperatura promedio es de 7,2 °C. La evapotranspiración potencial de la zona es bastante baja (menos de 3mm/día) debido a que el déficit de saturación del aire es bajo, al igual que la radiación solar y la temperatura del aire. También las características de relieve de la zona

no favorecen en la mayoría de los sitios vientos de gran velocidad lo que reduce la contribución aerodinámica a la evapotranspiración.

En general la zona presenta una insolación relativa menor del 35%, con una duración de brillo solar promedio menor de 4.5 horas diarias.

La humedad relativa promedio del aire es muy alta, superior a 88%, con mínimas promedio cercanas a 60% y máximas de 100%. Una humedad tan alta crea condiciones muy favorables para el desarrollo de enfermedades en los cultivos, principalmente las causadas por hongos y bacterias.

La cuenca está influenciada por la presencia de los vientos alisios en dirección NE-SO. Predomina un flujo de viento por el paso Coliblanco que genera nubosidad y lluvias débiles y persistentes en la cuenca alta del Birrís. El promedio anual de precipitación es 2325 mm; la media mensual varía de 65 mm en marzo a 278 mm en octubre. En los meses de enero, febrero, marzo y abril, las lluvias disminuyen en esta parte de la gran cuenca del Reventazón. En los meses de mayo a diciembre, se concentra la mayor cantidad de precipitación (el 82,8% de la precipitación media total anual) (Anexo II. 2 y 3).

Las precipitaciones por tormentas convectivas son las que tienen mayor influencia en el aumento del caudal del Río Birrís y las que generan más erosión debido a que la lluvia es intensa y las gotas son de gran tamaño, y aunque sea de corta duración (de diez o veinte minutos hasta dos horas o más) el suelo alcanza su límite de infiltración muy rápidamente y el agua de escorrentía aumenta extraordinariamente generando caudales punta elevados en las zanjas, acequias, arroyos y ríos.

3.2.2. Geología

La cuenca del río Birrís se encuentra ubicada en las laderas del volcán Irazú, que es un estratovolcán complejo que forma parte de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. El Grupo Irazú es característico de una zona volcánica joven (del Pleistoceno a la actualidad) (Fernández *et al.*, 1998, en Marchamalo, 2007), e inestable por la sucesión de

sismos, la debilidad cortical y el riesgo de erupciones volcánicas que se repiten con un período de retorno entre 6 y 67 años (Barquero *et al.*, 1995, en Marchamalo, 2007).

En la parte alta de la cuenca se presentan coladas de lava andesítica augítica y porfídica y menores cantidades de autobrecha vesicular, de color gris claro a intermedio, de grano muy fino. En la cuenca media y baja domina la Formación Andesitas Poás constituida por lavas andesíticas intercaladas con material piroclástico (ceniza, lapilli, brechas, aglomerados y lahares), de edad desde Pleistoceno al Reciente (Krushensky, 1972, en Marchamalo, 2007).

La composición geológica determina una topografía suave y ondulada, desarrollada a partir de la erosión de las rocas volcánicas y el acúmulo de cenizas piroclásticas de las erupciones más recientes (Viquez, 1984, en Marchamalo, 2007). Este relieve se define como “multiconvexo”, al estar caracterizado por la repetición continua de un patrón gradual de pendientes que oscilan entre el 70% en las partes más pronunciadas y el 4-8% en las partes bajas del modelo, desde las partes altas del cono volcánico hasta la parte baja de la cuenca (Cortés, 1993, en Marchamalo, 2007).

En la subcuenca media y baja del Birrís se presenta inestabilidad de las pendientes por la presencia de lahares meteorizados, además de las características geofísicas de los cañones del Río Birrís, Quebrada Pacayas y afluentes, que han inestabilizado las laderas y bordes de los taludes y pequeños cañones que forman las quebradas que desembocan en estos ríos. Esta inestabilidad se refleja en deslizamientos, avalanchas de lodo y arrastre de materiales por los ríos en poblados como Pacayas, parte alta de Capellades y Cervantes, los cuales han generado gastos económicos en la rehabilitación de carreteras y caminos rurales, reubicación y construcción de casas y se han cobrado vidas humanas.

3.2.3. Geomorfología

La sección del cañón del Birrís presenta una pendiente fuerte y una longitud considerable, lo cual lo hace susceptible a desprendimientos en masa que obstruyan el cauce del río. Los movimientos en masa son producto de la saturación del perfil del suelo en una pendiente por exceso de lluvias, las cuales al humedecer una pendiente agregan un peso adicional y por efecto de la gravedad se desplaza una masa de material litológico. Gómez (2002) en su trabajo de calibración de la erosión en la cuenca del río Reventazón,

indica que los movimientos en masa constituyen un 20% de la erosión total; por otro lado la UMCRE indica que los movimientos en masa aportan el 30% de la erosión que llega a los embalses que se encuentran en el cauce del Río Reventazón.

La fuerte pendiente, aunada con la saturación del suelo y agricultura intensiva, son los principales factores que favorecen en el proceso de erosión y remoción por deslizamientos. Considerando las características edáficas de la cuenca alta del Río Birrís, producto de deposiciones de cenizas volcánicas, se ha estructurado un perfil de suelo con alta permeabilidad. Esto permite absorber volúmenes considerables de agua que aumentan el peso del suelo, creciendo la posibilidad de desplazarse en sentido de la pendiente, formando cárcavas en laderas con cultivos y en lugares cerca de riberas de quebradas y ríos.

Los ríos y quebradas que forman parte de la subcuenca Birrís-Pacayas no tienen un cauce estable producto de la fuerte pendiente natural, considerando que son cursos de agua característicos de montaña, con alta frecuencia de avenidas máximas. La erosión en el lecho de los ríos y quebradas es notable a la vista experta; predominan bloques rocosos que son arrastrados por las corrientes de las crecidas ordinarias, lo cual expone al cauce al desprendimiento de los bordes de la ribera.

3.2.4. Edafología

La cuenca del Birrís presenta suelos de origen volcánico, clasificados como Andisoles (USDA, 2003, citado en Marchamalo, 2004). Son suelos frágiles, vulnerables a manejos inadecuados, bastante fértiles, oscuros y profundos derivados de cenizas volcánicas, de textura granular, con alto contenido en materia orgánica y tendencia ácida, que requieren de prácticas de manejo y conservación para evitar su degradación y pérdida por erosión hídrica y eólica (Mapa de Tipos de Suelo en Costa Rica 1989, citado en Otárola, 2007). La cuenca presenta los siguientes tipos de suelo, tras su análisis espacial, según la clasificación de la USDA Soil Taxonomy de 2003 (USDA, 2003, citado en Marchamalo, 2004) (Anexo II.4.):

- Udivitrands (Iv): son suelos volcánicos, de texturas moderadamente gruesas a gruesas, poco fértiles, bajo un régimen climático usualmente húmedo. Por la

posición que ocupan cerca de los cráteres volcánicos, tienen poca importancia agropecuaria.

- Hydrudands (Ih): son suelos volcánicos oscuros, profundos, bien drenados, permeables, de texturas medias a moderadamente gruesas, moderadamente fértiles, pero que presentan arcillas de secado irreversible, por lo que son muy frágiles a prácticas de cambio de uso de la tierra distintos a vegetación permanente, por su alto riesgo de erosión.

- Hapludands (Ix): son los suelos derivados de cenizas volcánicas más importantes dentro de la cuenca, por su distribución geográfica. Son muy profundos, oscuros, muy ricos en materia orgánica, bien estructurados, bien drenados, permeables y moderadamente fértiles.

En algunos sectores (alrededores de Cervantes) ocurren fases pedregosas de estos suelos. Todos estos suelos tienen un régimen de humedad alto, lo que implica que no requieran riego generalmente.

3.2.5. Hidrografía

La cabecera del río Birrís se caracteriza por una fuerte pendiente tanto en los afluentes como en el cauce principal, así como una elevada densidad de drenaje. La quebrada Pacayas es el principal afluente del río Birrís. La red de drenaje de la cuenca presenta seis cursos de agua principales, numerosos subafluentes y una complicada red de pequeñas quebradas y acequias, además de cursos de aguas de régimen no permanente que no llevan agua en la época seca. La Tabla 3.3. muestra la distribución de los principales afluentes de la cuenca del río Birrís y la altitud a la que nacen.

Río Birrís (3910m)		
Afluentes primarios	Q.Pacayas: afluentes secundarios	Q.Presidio: afluentes terciarios
Quebrada González	Q.Carís (?)	Q.Lajas (2070m)
Q.Central (3060m)	Q.Plantón (?)	Q.Fortuna (1736m)
Q.Roscaván (2860m)	Q.Presidio (?)	Q.Pascón (1876m)
Q.Laguna Tapada		
Q.Patalillo (1820m)		
Q.Pacayas (2820m)		

Tabla 3.3. Red de drenaje de la cuenca del Río Birrís, afluentes y altitud de nacimientos (entre paréntesis) (CATIE, 2003)

3.2.6. Vegetación

La cobertura forestal representa el 28% de la superficie de la cuenca (Marchamalo, 2004). Su distribución y estado presentan diferencias marcadas a lo largo de la cuenca. En la zona alta (faldas del Volcán Irazú) existe mayor cobertura forestal, producto de la presencia del Parque Nacional Volcán Irazú, que, no obstante, presenta algunos parches de bosques secundarios, charrales pastos y cultivos.

En la zona media y baja de la subcuencas la presencia de bosque se reduce a la cobertura mantenida en las nacientes de los drenajes y a los bosques de galería o de ribera. Estos últimos se establecen a lo largo de los cursos fluviales, y están representados por vegetación tolerante a la humedad edáfica combinada con especies propias del bosque de la región, y que se estructuran de tal manera que forman corredores de vegetación. Los bosques de ribera son remanentes de la vegetación original que fue eliminada para dar paso a los pastos y cultivos agrícolas en la zona de estudio. Estos remanentes son más abundantes en la subcuenca del Río Birrís que en la de Quebrada Pacayas, y su persistencia se debe mayormente a que los terrenos que ocupan son de topografía muy escarpada. En visitas de campo se observó que en riberas de pendiente suave o moderada, los cultivos o el pasto alcanzan la orilla misma de los drenajes.

En esta zona media y baja de la subcuenca ya no se encuentran especies vegetales del género *Quercus* y predominan vestigios de bosque mixto de altura, en diferentes estados sucesionales. Se encuentran especies como *Cedrela tonduzi*, *Oreopanax* spp., *Sapium* spp, *Cornus disciflora*, *Drymis granatensis*, *Ilex* sp., y la predominancia de especies de los géneros *Ocotea*, *Ficus* y *Clusia* en el estrato arbóreo, y de las familias *Melastomatacea*, *Rubiaceae* y *Myrtaceae* en el sotobosque, compartiendo lugar con gramíneas del género *Chusquea*. Es común ver rodales de *Alnus acuminata* en las zonas de deslizamientos antiguos, donde ha sido expuesto suelo mineral.

Marchamalo (2004) aplicó el procedimiento de evaluación del hábitat denominado “Habitat Assessment” de la Environmental Protection Agency, y determinó que la calidad del bosque de ribera disminuye a lo largo de los dos ríos estudiados, alcanzando los valores mínimos en los drenajes situados más abajo en la subcuenca. En estos sitios, la actividad humana ha suprimido el bosque ripario, con alteraciones fuertes de las márgenes y alta inestabilidad. En la actualidad es posible observar que los finqueros eliminan

paulatinamente los estratos inferiores de los bosques de ribera, con el fin de cambiar el uso del suelo a cultivos agrícolas o pecuarios, en laderas que alcanzan o superan el 100% de pendiente.

Como parte de las actividades impulsada por la UMCRE-ICE en la subcuenca, y apoyado por las labores de extensión del MAG de Pacayas, se han impulsado iniciativas de reforestación y recuperación de la cobertura vegetal en fincas, riberas y nacientes en la zona de estudio. El ICE otorga gratuitamente las plántulas, el transporte y la asistencia técnica, capacitación y educación ambiental; la mano de obra es aportada por los productores interesados. La repoblación se dirigió hacia áreas de fuerte pendiente, hacia la ampliación de bosquetes remanentes, riberas y hacia terrenos no ocupados en producción, resultado de la reconversión hacia modelos productivos intensivos (semiestabulado). Las especies introducidas en las fincas son pino, ciprés, jaúl, cascarillo, burío, fresnos, guayabillos, iras, guarumo, sangre de drago, yos, entre otras. El nivel de participación de los productores en estas actividades es considerado elevado por parte de la Agencia de Servicios Agropecuarios (ASA) del MAG de Pacayas.

3.3. Caracterización socioeconómica

3.3.1. Población

La cuenca del río Birrís está integrada por los distritos Pacayas, Cervantes y parte de Capellades del cantón Alvarado y parte de los distritos Santa Rosa y Cipreses del cantón Oreamuno. En la parte superior de la subcuenca se localizan el Parque Nacional Volcán Irazú, y la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central, ocupando el 7% de su territorio; y en el sector inferior, las Plantas Hidroeléctricas Birrís III de la JASEC.

De acuerdo con las estimaciones de población para 1997, tiene 15078 habitantes y una densidad demográfica de 179 hab/km². Según las proyecciones elaboradas para el año 2015 se espera que la cuenca esté habitada por 23725 personas y una densidad esperada de 281 hab/km², lo que equivaldrá al 4% de la población total de la cuenca del río Reventazón. El crecimiento demográfico y la demanda habitacional que lo acompaña, hacen esperar un aumento de la presión sobre los suelos agrícolas y forestales. Las expectativas de mantener una población joven en la cuenca favorecen la introducción de

cambios tecnológicos y productivos, pero a su vez una mayor demanda de fuentes de empleo y una presión hacia el mayor fraccionamiento de las fincas, como consecuencia de la conformación de nuevos hogares.

En la Tabla 3.4 se muestran datos del área y demografía de las comunidades incluidas dentro del área de estudio, según datos del MAG-Pacayas (Otárola, 2007).

Comunidad	Población (habitantes)	Extensión (km ²)	Población (hab/km ²)
Pacayas	4600	13,34	344,83
Capellades	2025	39,75	50,94
San Rafael Irazú	600	7,2	83,33
San Pablo	765	1,4	546,43
Santa Rosa	2825	9,04	312,50
Cipreses	2533	8,5	298,00
TOTAL	13348	79,23	168,47

Tabla 3.4. Comunidades en la cuenca del río Birrís, número de habitantes, extensión y población (hab/km²) (Otárola, 2007)

La tasa de mortalidad general registrada en la subcuenca del Birrís en 1997 fue de 3,8%, un poco superior a la de 3,6% registrada en la cuenca del Reventazón.

Según datos de 1987, en la subcuenca se contabilizan 15 escuelas y 38 aulas escolares. ICE, JASEC y MAG junto con grupos organizados de la comunidad y las escuelas del Cantón de Alvarado, ejecutan proyectos de educación ambiental, reciclaje de basuras, recuperación de zonas de protección, viveros escolares y reforestación a través de certificados de protección del bosque.

3.3.2. Usos del suelo

Las tierras de la cuenca se dedican mayoritariamente a la producción agrícola y en baja escala se desarrollan actividades de comercio y servicios en los poblados. Los cultivos principales son papa, zanahoria, repollo, coliflor, y otras hortalizas. Casi todo el territorio de la cuenca está ocupado por fincas cuya extensión se encuentra en el rango de 5 a 20 ha, en las que se observa la diversidad de cultivos como estrategia de las familias para lograr la subsistencia y adaptarse a las demandas del mercado.

En el sector de Pacayas, en la parte media de la cuenca, se registran arrendatarios de tierra, en su mayoría trabajadores de las fincas ganaderas, quienes siembran hortalizas y papas a cambio de la participación en las utilidades del cultivo con el propietario de la

hacienda. En la parte norte de la cuenca (sectores de Santa Rosa, San Martín, San Gerardo, y San Pablo) predominan algunas fincas de gran extensión utilizadas en ganadería de leche, con algunas siembras de hortalizas por parte de los peones, y algunas fincas con una extensión de menos de 5 ha, utilizadas para la producción de hortalizas.

La comercialización de los productos agrícolas y pecuarios es un problema crítico en opinión de los pobladores de la subcuenca Birrís – Pacayas (CATIE, 2003) ya que el mal estado de los caminos vecinales dificulta el transporte de productos hacia los mercados.

Analizando el uso actual de la cuenca definido a través de la fotointerpretación de las fotos aéreas del proyecto TERRA (Marchamalo, 2004), se observa que el uso más extendido en la zona son los pastos (35%). Los cultivos ocupan un 32% y el bosque el 28% de la superficie, como se muestra en la Tabla 3.5 (Anexo II.5).

USO	Bosque	Charral	Pasto	Cultivo	Urbano	Cenizas	Constr.	No det.	TOTAL
Área (ha)	1366	46	1696	1581	79	6	26	1	4802
Área (%)	28	1	35	33	2	0	1	0	100

Tabla 3.5. Distribución de los usos de la tierra en la cuenca del río Birrís (Marchamalo, 2004)

Marchamalo (2004) determinó el conflicto de uso de la tierra (divergencia entre el uso actual y la capacidad de uso de las tierras) en la zona de estudio, y encontró que el 28% de la superficie tiene un alto valor protector, coincidente con la superficie de bosque actual en la zona. El 37% de la cuenca presenta un conflicto de alto a máximo, que coincide con el área con erosión superior a 50t/ha/año (33%) según sus estimaciones. Este hecho evidencia la necesidad urgente de una actuación en materia de ordenamiento territorial y el uso del suelo en la cuenca.

3.3.3. Sistemas de producción

Producción agropecuaria: prácticas agrarias sostenibles

El CATIE (2003), usando de referencia los datos del ICE (1999), los de la ASA del MAG de Pacayas, y observaciones realizadas en el campo, describe dos sistemas de producción agropecuaria predominantes en la cuenca del río Birrís:

- La actividad agrícola, con cultivo anual, en el que destaca el cultivo de la papa, aunque existen cultivos de menor importancia como el de hortalizas, mini vegetales, coliflor y brócoli. El cultivo de zanahoria esta incrementándose en toda la cuenca (Comunicación personal de Beatriz Molina, 2007).
- La actividad ganadera, principalmente para la leche.

Por ejemplo, en el distrito de Alvarado se registra un poco más de 20% de superficie en cultivos anuales, 66% en pastos y 14% en otros usos como cultivos permanentes, bosque y monte y charrales.

Actualmente en la cuenca se están comenzando a desarrollar programas de conservación de los recursos naturales, siempre y cuando estos se acompañen programas de incentivos (CATIE, 2007). En agricultura, ciertas prácticas tecnológicas sostenibles están siendo aplicadas por algunos productores dentro de la cuenca gracias al apoyo técnico y económico que se viene realizando por la experiencia generada por la UMCRE - MAG - JASEC desde el año 2000. Se espera que se pueda transmitir esta tecnología a los demás productores con el propósito de mejorar las condiciones productivas y socioeconómicas para disminuir los procesos de degradación que afectan al recurso hídrico. Un ejemplo es la Finca MONCAL en la comunidad de Buena Vista que realiza prácticas conservacionistas (Anexo I: foto 15 y foto 17 a 20)

Las prácticas tecnológicas agrarias sostenibles pretenden reducir la erosión del suelo disminuyendo la escorrentía, ya que tratan de mejorar el manejo agronómico de las coberturas vegetales en su uso actual; y por otro lado pretenden que sean accesibles, con un bajo coste, a los productores.

A continuación se mencionan estas prácticas tecnológicas y algunos beneficios que brindan para lograr esos propósitos (ICE, 1999):

- Biodigestor: se usa el estiércol para la producción de biogás y de esta manera evitar el desperdicio de estiércol que suele ser vertido en los cursos de agua más cercanos causando la contaminación de los ríos y el aumento de sedimentos en los mismos. Además con el biogás se puede hacer funcionar cocinas para el uso diario del productor, lo que reduce fuertemente el uso de energía eléctrica (Anexo I: foto 16).

- Lombricultura: procesa el estiércol transformándolo en un abono con mejores características para el consumo de las plantas, especialmente para fertilizar forrajes de corta y huertos caseros (Anexo I: foto 17).

- Pastos de corta: contribuyen en la alimentación del ganado en sustitución a los pastos de diente. Debido a que estos forrajes son de corta, no son pastoreados por el ganado por lo tanto los suelos donde se encuentran ubicados, tienen buena capacidad de infiltración y la producción de forraje es de alta calidad nutritiva, por lo que en épocas de invierno, el ganado vacuno es suplementado con estos forrajes en condiciones de semiestabulación.

Esto contribuye a que el ganado pase menos tiempo en los potreros, por lo tanto habrá menos pisoteo y menor compactación y los pastos podrán crecer en menos tiempo. Todo ello favorece las condiciones hidrológicas de los suelos, dándoles mayor capacidad de infiltración (Anexo I: foto 18 y 18. Anexo VII.4.: ficha 4).

- Semiestabulación: Reduce fuertemente el pisoteo de los potreros por parte del ganado, debido a que la mitad del tiempo está estabulado. Permite entonces un mejor crecimiento de los pastos debido a la menor compactación de los suelos por lo tanto se necesita menor área de pasto de piso para poder mantener la misma cantidad de ganado criado en potrero. La semiestabulación esta ligada al establecimiento de pastos de corta, debido a que el tiempo que el ganado este estabulado tiene que ser alimentado con forrajes de buena calidad nutritiva para que posteriormente termine de comer en los potreros. Una semiestabulación bien manejada trae consigo aumentos en la producción láctea además de reducir las áreas de pastoreo del ganado (Anexo I: foto 20).

- Conservación de forrajes: Además del pasto de corta, esta tecnología también permite dar una buena alimentación al ganado en épocas de escasez de pastos ya que en las épocas de abundante forraje, éstos pueden ser ensilados para su utilización posterior, especialmente en épocas donde el forraje es escaso. La mayoría de forrajes que se utiliza para el ensilaje, son forrajes de corta, los cuales no son pastoreados, por lo que la implementación de un silo, trae consigo un aumento de las áreas de forrajes de corta y posiblemente se tendrá que disminuir las áreas de pastoreo, es decir se tendrá que hacer una reconversión de áreas de pastoreo a áreas de forrajes de corta, lo que evidencia que exista una mejor condición hidrológica para estos suelos.

- Preparación del suelo con arado de cincel o con palín mecánico: son instrumentos de labranza vertical que favorecen la infiltración, por lo que disminuyen la escorrentía. Se usan en reemplazo del tradicionalmente usado arado de disco. Han tenido buena acogida por parte de los productores quienes reconocen que esta práctica favorece la infiltración del agua de lluvias y la profundidad de enraizamiento de la papa, lo que favorece la formación del tubérculo (Anexo I: foto 21).
- Canales de guardia: se realizan canales o acequias en las fincas para dirigir la escorrentía y así evitar la ruptura del terreno en medio del cultivo. Es una práctica que en un principio no suele ser aceptada por los productores por disminuir la superficie de cultivo, aunque la aplican tras haber sufrido daños en grandes eventos pluviales.

Producción hidroeléctrica: Plan de Manejo de la cuenca del río Reventazón

Las aguas de la cuenca del río Birrís, junto con las del río Turrialba, son aprovechadas por la empresa eléctrica JASEC, para la generación de energía eléctrica para abastecer la mayor parte de la provincia de Cartago, agrupándose ambas cuencas en lo que la empresa denomina el Sistema Hidroeléctrico Birrís (SHB). En la Figura 3.3. se presenta la infraestructura del SHB especificando las tomas, embalses a filo de agua, canales a cielo abierto, tuberías y plantas de generación.

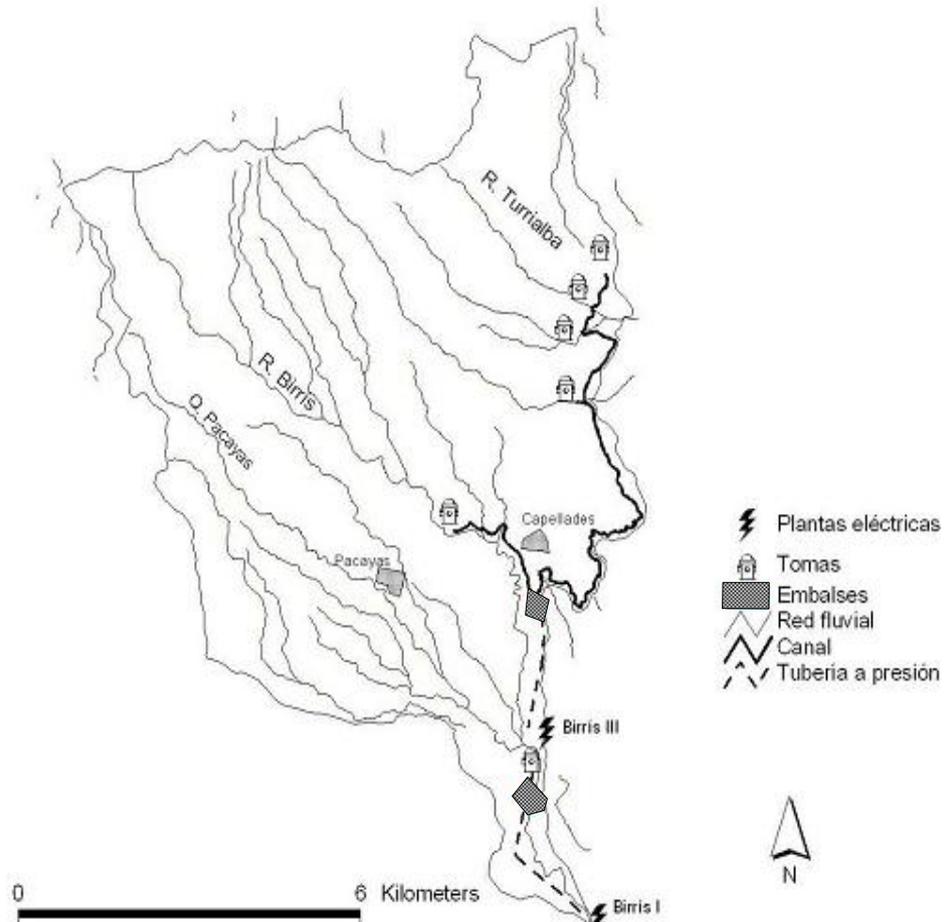


Figura 3.3. Infraestructura del Sistema Hidroeléctrico Berrís (SBH), formado por la cuenca del río Berrís y la cuenca alta del río Turrialba (Modificado de Marchamalo, 2004)

A partir de 1987, la JASEC impulsó el Proyecto de Ampliación del Sistema Hidroeléctrico Berrís, con el propósito de brindar un mejor servicio al ampliar y mejorar su sistema de generación hidroeléctrica propio. Anteriormente a esta fecha, la JASEC compraba el 80% de la energía al ICE, que es el mayor productor nacional.

La inversión de la ampliación realizada ha visto mermada su efectividad por las altas tasas de sedimentación y los daños ocasionados por las crecidas, especialmente del río Berrís. Esta creciente inestabilidad ha sido atribuida a problemas en el uso del suelo por parte de los distintos usuarios del mismo y a la pérdida de cubierta vegetal en las cuencas tributarias del Sistema Berrís. Los problemas de inestabilidad y sedimentación, unidos al incremento de la demanda eléctrica en el área servida, han provocado que en la actualidad el SHB genere únicamente el 30% de la energía consumida por la JASEC, debiendo ésta comprar el resto de la energía en el mercado nacional. Todo ello ha obligado a que la JASEC ejecute acciones para intervenir, controlar y mitigar los procesos de deterioro de

estas cuencas. Debido a esta problemática, la JASEC está trabajando en el diseño y aplicación de una tarifa ambientalmente ajustada que genere los recursos necesarios para el desarrollo de un plan de ordenación territorial de las cuencas tributarias a su sistema hidroeléctrico.

La cuenca del río BIRRÍS está ubicada en la Cuenca Alta del Río Reventazón que, por su importancia en la generación eléctrica nacional, cuentan con un Plan de Ordenación bajo la denominación de Plan de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón avalado por la Ley 8023 (agosto del 2000), formulado por el ICE entre 1998 y 2000 y cuya ejecución se inicia a finales del año 2000. Se creó la UMCRE con el fin de coordinar esfuerzos entre instituciones gubernamentales, no gubernamentales y grupos organizados de la sociedad civil.

El trabajo de la UMCRE se concentra en la cuenca alta del Reventazón, que tiene un área total de 1.531km², en tres microcuencas prioritarias (Reventado; Quebrada Pacayas dentro de la subcuenca del río BIRRÍS; y Guayabo) y una zona de amortiguamiento a las áreas protegidas de la vertiente sur del Río Reventazón. El Plan incluye cuatro programas: producción agrosilvopastoral sostenible, manejo de la cobertura vegetal, infraestructuras y educación ambiental. Los objetivos del Plan de Manejo del Río Reventazón son:

- Mantener la cantidad, calidad y continuidad del recurso hídrico en beneficio de las plantas hidroeléctricas existentes y futuras, con el propósito de regularizar el régimen hídrico y aumentar la vida útil de la infraestructura física, especialmente la de los embalses.
- Mejorar la situación económica y social de la población residente, incrementando la productividad de los recursos naturales renovables y generando empleo local por medio de sistemas y tecnologías apropiadas de producción, de tipo conservacionista, como las presentadas anteriormente.

El principal problema a resolver por la UMCRE – ICE con el Plan de Manejo es la alta erosión y el transporte de sedimentos, dado que anualmente llegan a los embalses de Cachí y Angostura tasas de sedimentación del orden de 26 t/ha/año. En conjunto, los embalses de Cachí y Angostura del ICE generan el 38% de la hidroelectricidad nacional, y su alta tasa de sedimentación provoca la necesidad de realizar desembalses anuales con impactos ambientales importantes y sobrecostos de generación de varios millones dólares anuales, porque debe suplirse la demanda nacional con energía térmica y geotérmica,

durante los días que no operan las centrales hidroeléctricas. Sólo para el embalse de Cachí, el coste anual de movilizar aproximadamente un millón de toneladas de sedimentos ronda los 3.000.000 \$, suma que podría reducirse significativamente si se aplican medidas correctivas para controlar la erosión de suelos (MIPRO, 2007).

Dado que la microcuenca de la quebrada Pacayas, perteneciente a la cuenca del río Birrís, fue identificada por el ICE como zona crítica por la alta producción de sedimentos, y que está igualmente en la zona de influencia para la producción de electricidad de la JASEC, ambas instituciones trabajan desde el 2002 en acciones coordinadas para revertir el proceso de degradación de la microcuenca, buscando alternativas que puedan ser implementadas por los pobladores de la zona. Para este efecto, la ASA del MAG de Pacayas ha sido la institución ejecutora de los esfuerzos coordinados por la UMCRE – ICE y la JASEC. De esta alianza se han beneficiado más de 70 productores de la zona que han adoptado las técnicas y herramientas recomendadas en todas las líneas de acción del Plan de Manejo. La experiencia generada por la UMCRE-MAG-JASEC es relevante para los objetivos de la implementación del plan de acción y la tarifa ambientalmente ajustada por parte de JASEC mencionada en párrafos anteriores, debido a que este Plan vendría a fortalecer las acciones llevadas a cabo y utilizaría de base el marco institucional de trabajo que ya existe y que ha dado resultados satisfactorios hasta el momento.

4. METODOLOGÍA

4.1. Selección de parcelas

La cuenca del río Birrís considerada en este estudio ocupa una superficie aproximada de 4800 ha, repartidas en tres tipos de coberturas principales: arbolada, pastos y cultivos; representando un 29%, 35% y 33% de la superficie respectivamente, y zonas urbanas que ocupan un 3% (Tabla 3.5). Según esta clasificación para caracterizar la cobertura del suelo de los tres tipos de cobertura: arbolado, pasto y cultivo se han muestreado veinte parcelas, realizando cinco réplicas en cada parcela, representando un total de cien puntos de muestreo. Para cada tipo de cobertura principal se caracterizaron los siguientes subtipos:

1. Cobertura arbórea:

1.1. *Bosque natural*: originado sin la acción del hombre y actualmente caracterizado por la ausencia de aprovechamiento.

1.2. *Bosque degradado*: se refiere a áreas con árboles maduros dispersos cuya cubierta principal es el pasto de diente o potreros.

En un principio las zonas de bosque degradado, según la información presente en Marchamalo (2004) sobre los usos de la tierra en la cuenca del río Birrís, se denominaron como *charral o bosque secundario o bosque en regeneración*, pero al realizar los trabajos de campo se comprobó que no correspondían con esta denominación. El término *charral* se refiere a la regeneración o al área regenerada del bosque secundario en tierras en las cuales la vegetación arbórea había sido eliminada en gran parte. Incluye también a zonas en proceso de degradación de la masa forestal, partiendo de los bosques densos hacia bosques sujetos a extracción de las mejores especies y eliminación de ejemplares de porte arbórea, quedando sólo el sotobosque (Maldonado, 1997).

Entre las parcelas de cobertura arbórea también se consideraron los *frutales* en estado joven y maduro. Aunque son poco frecuentes en la cuenca puede tratarse de una alternativa futura al uso de la tierra agrícola o de los pastos.

2. Cobertura con pastos:

2.1. *Pasto de corta o pasto de siega*: se refiere a áreas con pasto de porte alto dedicado a la siega. Entre ellos destaca la producción de forraje de la especie king grass (*Pennisetum hybridum*).

2.2. *Potrero o pasto de diente*: Se consideran tres estados de degradación: *carga normal; degradado; y muy degradado*. Así, un pasto en carga normal está gestionado adecuadamente introduciendo el ganado sin causar daño al ecosistema y se le permite la regeneración del pasto. Sin embargo los pastos degradados y muy degradados están sometidos a una actividad agresiva debido a que se introduce mayor número de ganado del adecuado. En la cuenca de estudio, con fuertes pendientes, en los pastos degradados se forma un escalonamiento característico y la cobertura vegetal es completa; los pastos muy degradados, que son los más comunes, además de esos escalones presentan claros en su cobertura. Los pastos están formados por Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*).

3. *Cobertura con cultivos*: la técnica de cultivo es muy similar en toda la cuenca; se eligieron los tres cultivos más representativos: *papa o patata, zanahoria y brasicaceas (brócoli o repollo)* en cuatro estados de crecimiento de la cobertura:

3.1. *Cultivo recién sembrado o plantado*, identificado como el estado 1: tras una preparación del terreno con arado de disco o de vertedera, y posteriormente una preparación para la siembra con arado de reja tirado por caballo o con una azada; en el caso de la zanahoria se hace la preparación de las camas previamente a la siembra. Tras estas labores se realiza la siembra de papa o zanahoria y la plantación del brócoli o repollo, por ello en esta fase el suelo se encuentra con nula o escasa cobertura.

3.2. *Cultivo tras el aporcado*, identificado como el estado 2: trascurrido un mes aproximadamente después de la siembra o plantación se eliminan malezas, se hace una fertilización y se aporca de forma manual. Al realizar la aporca se afloja el terreno y se cubre con tierra la base de las plantas para que los tubérculos y hortalizas crezcan más consistentes y tiernos.

3.3. *Cultivo en plena cobertura*, identificado como el estado 3: trascurridos entre tres o cuatro meses, según el cultivo esté en la zona baja o alta de la cuenca,

éste alcanza su plena cobertura, muy próxima a una fracción de cabida cubierta del 100%.

3.4. *Cultivo tras el arranque o cosecha*, identificado como el estado 4: se realiza la cosecha manual del cultivo dejando los restos sobre el terreno hasta que por necesidades del próximo cultivo se eliminarán por el problema de enfermedades que pudiesen causar. En el caso de la papa, previamente a la cosecha, se usa un herbicida para la quema del follaje.

En determinadas ocasiones hay un *periodo de descanso* entre cultivos, este estado del cultivo no se caracterizó en campo y se asimila al estado tras el arranque o cosecha, del lado de la seguridad ya que no se considera la vegetación espontánea comenzará a invadir el suelo mejorando la protección del mismo contra la erosión.

En la Tabla 4.1. se muestra el listado de las veinte parcelas muestreadas según su denominación por el tipo de cobertura y el número de estadillo de campo.

Cobertura		
Arbolado	2	bosque natural
	20	bosque degradado
	12	aguacate joven
	14	aguacate maduro
Pasto	4	pasto de corta
	18	potrero carga normal
	1	potrero degradado
	19	potrero muy degradado
Cultivo ⁽¹⁾	17	papa 1
	16	papa 2
	9	papa 3
	11	papa 4
	10	zanahoria 1
	13	zanahoria 2
	15	zanahoria 3
	8	zanahoria 4
	5	brócoli 1
	3	brócoli 2
	6	brócoli 3
	7	brócoli 4

Tabla 4.1. Tipo de cobertura y número del estadillo de campo de las parcelas muestreadas en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. (1) Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

Con los datos recogidos en las parcelas se caracterizan los siguientes tipos de cobertura presentes en la cuenca de estudio:

- Bosque natural
- Bosque degradado
- Pasto: potrero o pasto de diente y pasto de corta o pasto de siega
- Árboles frutales
- Cultivo anual: en las rotaciones más características de patata, zanahoria y brócoli.

Todas las parcelas se caracterizan por ser representativas de la cuenca de estudio, con una pendiente media del 30-40%. Se comprobó la representatividad de las parcelas por comunicación personal con los gestores de la cuenca: los Ingenieros Redy Conejo y Mauricio Gamboa del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) para cobertura boscosa; y con la Ingeniera Beatriz Molina del ASA de Pacayas para la cobertura con frutales, pastos y cultivos.

4.2. Toma de datos

En cada una de las parcelas según muestra el estadillo de campo (Anexo III) se midieron:

- 1.- Variables para la caracterización general (Anexo IV) y la localización de las parcelas (Anexo V).
- 2.- Variables edáficas para determinar la capacidad de uso (Anexo VI).
- 3.- Variables sobre la cobertura para el cálculo del factor C (Anexo VI).

A continuación se especifica qué variables se midieron y cómo se realizó la medición, junto con una relación en forma de Tabla con las variables medidas y los materiales necesarios (Tabla 4.2, 4.3 y 4.4). Destacar que en el anexo VII.4. hay una ficha de cada parcela con parte de los datos recolectados y cálculos realizados, además de una fotografía característica de la cubierta vegetal de la.

4.2.1. Caracterización general y localización de las parcelas

La parcela se identificó con el uso actual, según la denominación de coberturas explicada en el apartado 4.1. *Selección de parcelas* (ver Tabla 4.1), y el municipio al que

pertenece (Anexo IV.). Conjuntamente se dibujó un croquis de localización de la parcela que posteriormente sirve para la localización exacta de las parcelas según se muestra en el Anexo V.2. Se tomaron fotografías del aspecto general de la parcela (Anexo VII.\$.).

En caso de tener la oportunidad de entrevistar al agricultor o productor se añadieron datos sobre el uso anterior de la finca, así como de otras fincas que poseía o alquilaba; además se intentó analizar la percepción del productor con respecto al problema de pérdida de suelo y si adoptaba alguna medida ante ello.

Seguidamente se usó un GPS (*Garmin's 12XL Personal Navigator*) para medir las coordenadas de un punto medio de la parcela, la altitud y la orientación. Con un clinómetro (*Suunto*) se midió la pendiente.

Variable	Material
Uso	Estadillo, lapiz
Municipio	
Dueño	
Uso anterior	
Croquis localización	
Coordenadas (N,W)	GPS (<i>Garmin's 12XL Personal Navigator</i>)
Altitud	
Registro fotográfico	Cámara fotográfica

Tabla 4.2. Variables y material utilizado para la caracterización general y localización de una parcela en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

4.2.2. Capacidad de uso de la tierra

Para determinar la capacidad de uso de la tierra en una parcela se estimaron once parámetros según la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras en Costa Rica (MAG y MIRENEM, 1995), que se detalla en el apartado 4.3.3. *Uso actual y la capacidad de uso de la tierra*. Su uso se restringe a tierras potencialmente explotables, ya sean para uso agrícola, pascícola o forestal, quedando excluidas las áreas protegidas y las urbanas.

La determinación de la capacidad de uso de la tierra consiste en definir para una parcela de terreno el grado de intensidad de su uso con base a la calificación de las limitaciones del terreno para producir de forma sostenida cultivos, pastos y bosques sin deterioro del suelo y por períodos prolongados de tiempo. Según dicha metodología, las

tierras se clasifican en ocho clases, donde las limitaciones físicas aumentan progresivamente de la Clase I a la VIII. Las clases I, II, III y IV son aptas para el uso agrícola con limitaciones crecientes; la Clase V es apropiada para pastos o bosques; la Clase VI para vegetación permanente (pastos, cultivos perennes, bosques de producción); la Clase VII únicamente para protección y manejo forestal y la Clase VIII es de estricta conservación.

La metodología detalla que de los catorce parámetros el de fertilidad se debe utilizar en aquellos terrenos con pendientes menores del 30%; y el parámetro de toxicidad al cobre y el de salinidad debe evaluarse únicamente en aquellas zonas donde son reconocidos como limitantes a nivel local, tal es el caso del Pacífico Sur y los litorales, respectivamente. En este estudio las parcelas se caracterizan por tener una pendiente media entre 30-40% y se encuentran en la región del Valle Central, por lo que estos tres parámetros (fertilidad, toxicidad y salinidad) no son de aplicación para la clasificación en este caso. Consecuentemente se miden once parámetros (ver Tabla 4.2), según se explica en la Metodología, y con las consideraciones siguientes para los parámetros de profundidad efectiva y textura:

- Profundidad efectiva: definida como el grosor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces puede penetrar sin dificultad en busca de agua, nutrientes y sostén (MAG y MIRENEM, 1995), se equipara a la profundidad que se puede penetrar el suelo con un barreno helicoidal. En un punto representativo de la parcela se usa el barreno para extraer muestras cada 20 cm., que es la longitud de la cuchara, hasta alcanzar un punto en el que no se puede penetrar más o hasta alcanzar la altura del barreno, 110cm. Las muestras extraídas se colocan consecutivamente en la superficie del terreno para reconstruir el perfil del suelo (Anexo I: foto 9c) y se miden los anchos de los diferentes horizontes por color y textura.
- Textura, se determina en campo con la metodología de Swisher (1999) para el suelo (0-30cm) y el subsuelo (>30cm), utilizando muestras del perfil reconstruido anteriormente.

Variable	Aparato
1. Profundidad efectiva = s_1 (horizontes)	Barreno helicoidal(largo 1,2 m; cuchara 20cm) y cinta métrica
2. Pendiente = e_1	Clinómetro (<i>Suunto</i>)
3. Textura = s_2	Suelo(0-30cm)
	Subsuelo (>30cm)
4. Erosión sufrida = e_2	Doc.Swisher, M.E. 1999 Metodología MAG y MIRENEN. 1995
5. Pedregosidad = s_3	
6. Drenaje = d_1	
7. Riesgo de inundación = d_2	
8. Zona de vida = c_1	
9. Periodo seco = c_2	
10. Neblina = c_3	
11. Viento = c_4	

Tabla 4.3. Variables y su abreviaturas en la metodología MAG y MIRENEM, 1995; material utilizado para la determinar la capacidad de uso de una parcela en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.

4.2.3. Cobertura vegetal

La caracterización de la cobertura vegetal en cada una de la parcelas se realizó midiendo variables para calcular subfactores del factor C del modelo RUSLE según la formulación de Renard *et al.* (1997). En cada parcela se eligieron cinco puntos representativos del tipo de parcela donde se miden:

- Variables para el cálculo del *subfactor de cubierta aérea (CC)*:

- Fracción de la cubierta aérea (F_c): considerando la vegetación que no está en contacto directo con el suelo ya sea arbórea o no. En caso de ser arbórea se usa un densiómetro forestal cóncavo y para vegetación arbustiva o herbácea una malla construida a tal efecto de 1m x 1m, con nodos cada 0,10m. En ciertos casos se complementa la información con fotos de la cubierta aérea.

- Altura efectiva de las gotas de lluvia desde la cubierta aérea (H): se considera aquella desde donde caerían el mayor número de gotas de lluvia de agua, no será en ningún caso la altura total del árbol. Se utilizo un clinómetro (*Suunto*) para vegetación arbórea y una cinta métrica para vegetación herbácea.

- Variables para el cálculo del *subfactor de cubierta del suelo (SC)*:

- Fracción de la cubierta del suelo (S_p): se mide con la malla de 1m x 1m, con cuadros de 0,10m x 0,10m. La cubierta del suelo engloba la vegetación y restos con altura menor de 3 ó 4 pulgadas (USDA-ARS-NRCS, 2004), equivalente a 7,6 ó 10,2 cm. En ciertos casos se complementó la información con fotos de la cubierta del suelo.

- Rugosidad (R_u): se mide colocando un listón de 1m apoyado sobre el suelo y midiendo cada 0,10m la distancia perpendicular del listón al suelo, en total nueve medidas en cada punto. Esta información es también necesaria para el cálculo *subfactor de la rugosidad de la superficie (SR)*.

Para el cálculo del *subfactor de humedad del suelo (SM)* se usaron datos existentes del balance hídrico para las estaciones meteorológicas de Pacayas y del Volcán Irazú, y de las propiedades físicas de los suelos disponibles en Marchamalo (2004). Para el *subfactor de uso previo de la tierra (PLU)* se usaron valores experimentales según las consideraciones en Renard et al. (1997) y Kuenstler (1998).

Adicionalmente, en cada parcela en cinco puntos representativos se empleó un penetrómetro de bolsillo para la determinación de la resistencia del suelo a la penetración para determinar sus distintos niveles de compactación superficial.

Variable		Aparato
Subfactor CC	Fracción de la cubierta aérea	Densiómetro forestal cóncavo o malla de 1m x 1m, con cuadros de 0,10 x 0,10m
	Altura efectiva	Clinómetro (<i>Suunto</i>) o cinta métrica
Subfactor SC	Fracción de la cubierta del suelo	Malla de 1m x 1m, con cuadros de 0,10 x 0,10m
Subfactor SR	Rugosidad	Listón de 1m, con divisiones cada 0,10m; regla
Compactación superficial		Penetrómetro de bolsillo

Tabla 4.4. Variables y material utilizado para la determinar la capacidad de uso de una parcela en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

4.3. Análisis de la información

4.3.1. Caracterización general y localización de las parcelas

La información sobre la identificación y caracterización general de la parcela se muestra en el Anexo IV. en forma de Tabla como muestra la Tabla 4.5. a modo de ejemplo para la parcela de potrero degradado.

Nº = Código	Fecha (día_mes/2007)	Finca = Uso	Municipio	Dueño	Tf	Encuestado	Ocupación	Tf	Cultivador	Uso anterior (hace...años)	Otras fincas	Municipio_2	Uso_2
1	30_7	Potrero degradado	Buena vista	Daniel Montero	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 4.5. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de información general de una parcela muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.

Las coordenadas geográficas de las parcelas tomadas en campo se transformarán al sistema CRTM (Costa Rica Traversal Mercator) para que sean compatibles con los mapas disponibles de la cuenca y su uso en sistemas de información geográfica, así fue posible presentar los puntos de localización de las parcelas en un mapa de situación (Anexo V.2.), comprobando la localización dada por el GPS con los croquis de localización dibujados en campo.

Esta transformación se realizó usando el transformador de coordenadas para Costa Rica versión 3.1.1 del Instituto Costarricense de Electricidad, Cantillano 2007. Un ejemplo para la parcela de aguacate maduro se muestra en la Figura 4.1.

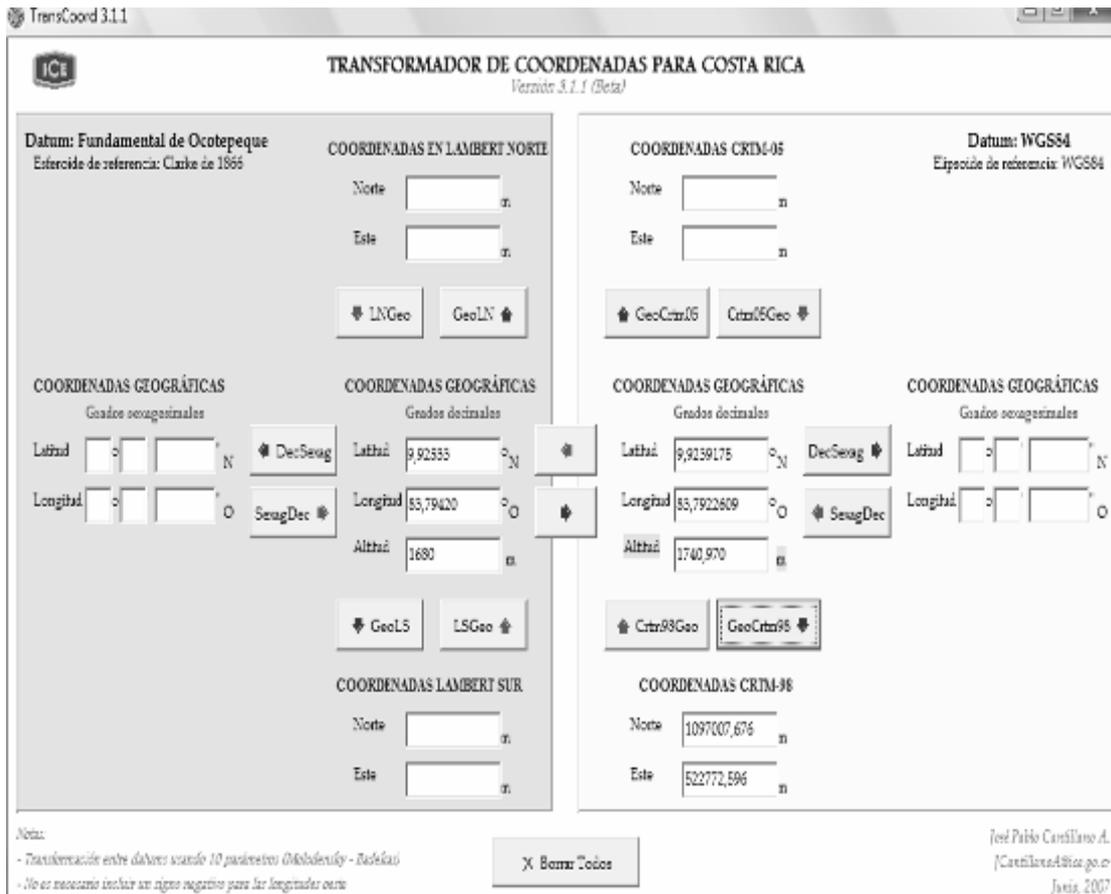


Figura 4.1. Transformador de coordenadas para Costa Rica versión 3.1.1 del Instituto Costarricense de Electricidad (Cantillano, J.P. 2007)

La Tabla 4.6. muestra la información medida en campo que es necesaria introducir en el transformador de coordenadas y las coordenadas transformadas en el ejemplo anterior. En el Anexo V se presenta esta información para todas las parcelas, junto con la representación de las mismas en el mapa de la cuenca.

Datos medidos en campo				Coordenadas transformadas	
Cobertura	Altitud (m)	Coord. Geograficas		Coord.CRTM 98	
		N	O	N	E
aguacate maduro	1680	9,92533	83,7942	1097008	522773

Tabla 4.6. Tabla tipo (ejemplo: aguacate maduro) de los datos medidos en una parcela para la transformación de las coordenadas geográficas medidas al sistema de coordenadas CRTM 98, en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

4.3.2. Uso actual y la capacidad de uso de la tierra

El objetivo en este apartado es analizar el conflicto entre el uso actual y la capacidad de uso de la tierra en la cuenca según la Metodología para la Determinación de la Capacidad de Uso de las Tierras en Costa Rica (MAG y MIRENEM, 1995). Para ello se

debe primeramente asignar una categoría de uso actual a cada parcela de acuerdo a esta metodología, seguidamente determinando la capacidad de uso de la tierra, con lo que finalmente, es posible analizar el conflicto.

1º) Asignar una categoría de uso actual a las parcelas: para ello se consideran las categorías definidas a continuación:

- *Bosque*: es la vegetación que se caracteriza por la presencia dominante de árboles con marcadas diferencias en las edades de sus individuos, es decir, con estructura de masa irregular, y otra vegetación leñosa, de porte variado, cuyo ciclo vegetativo individual es mayor a 10 años. El bosque incluye los bosques primarios, secundarios y los estados avanzados de tacotales (pastos degradados que fueron abandonados durante más de cuatro años y donde han colonizado arbustos y árboles (Dávila *et al.*, 2005).
- *Pastos*: son formaciones de gramíneas de crecimiento denso y de porte rastro.
- *Cultivos permanentes*: es la vegetación que se caracteriza por ser de porte arbustivo y/o arbóreo y de ciclo vegetativo superior a cinco años. Dentro de este grupo se incluyen las plantaciones forestales.
- *Cultivos semi-permanentes*: son aquellos cultivos que tienen un ciclo vegetativo mayor a un año y que requieren sólo una preparación del terreno cada dos o más años. Además logran desarrollar suficiente follaje, ejerciendo cierta función protectora contra la erosión del suelo. Algunos ejemplos son: caña de azúcar, pastos de corta y plantas ornamentales.
- *Cultivos anuales*: son aquellas plantas que exigen durante su ciclo vegetativo (un año o menos) la preparación periódica del terreno a través de su laboreo o mecanización, por lo que se produce una gran alteración del suelo.

La Tabla 4.7. relaciona la nomenclatura de las parcelas usada en los estadillos de campo con la categoría de uso de la tierra correspondiente. La parcela de bosque natural se encuentra en un área protegida por lo que esta metodología no es de aplicación, como se ha explicado en el apartado 4.2.2. *Capacidad de uso de la tierra*

Tipo de cobertura y subtipos		Nomenclatura según clasificación (MAG y MIRENEM. 1995)
Arbolado	bosque degradado	pasto
	aguacate	cultivo permanente
Pasto	pasto de corta	cultivo semi-permanente
	potrero	pasto
Cultivo	papa, zanahoria, brócoli	cultivo anual

Tabla 4.7. Nomenclatura según la clasificación (MAG y MIRENEM. 1995) de los tipos de cobertura y subtipos considerados en los estadillos de campo de las parcelas muestreadas en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007.

2º) Determinar la capacidad de uso de cada parcela a partir de los datos recogidos en campo, siguiendo la clave de dicha metodología (Anexo VI.1.). La estructura del sistema permite la clasificación de la capacidad de uso de las tierras en tres niveles:

- Clases de capacidad de uso: grupos de tierras que presentan condiciones similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para su uso de forma sostenible. Se designan por números romanos de I a VII (Ej: VI)
- Subclases de capacidad de uso: grupos de tierras dentro de una clase que tienen limitaciones del mismo tipo. Se designan añadiendo al número romano las letras e, s, d, c, según las limitaciones sean debidas a erosión, suelo drenaje o clima respectivamente, siguiendo siempre la misma secuencia. (Ej.: VI esdc)
- Unidades de manejo: constituyen una subdivisión de las subclases de capacidad de uso, que indican el o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Se representan por números arábigos como subíndices a las subclases: e₁: pendiente; e₂: erosión sufrida; s₁: profundidad efectiva; s₂: textura suelo y subsuelo; s₃: pedregosidad; s₄: fertilidad; s₅: toxicidad; s₆: salinidad; d₁: drenaje; d₂: riesgo de inundación; c₁: zona de vida; c₂: periodo seco; c₃: neblina; c₄: viento. Para las clases de II a VII, el factor de mayor limitación se debe indicar con subíndice subrayado. (Ej.: VI e₁₂ s₁₂₃ d₁ c₁₃₄).

La Tabla 4.8 muestra el cuadro modelo relleno para cada parcela con los datos de cada parámetro recogido en campo (en la primera columna del parámetro) y su clasificación en número romano según la metodología (en la segunda columna del parámetro); con ello se puede clasificar la clase, subclase y unidad de manejo de uso de la tierra de esta parcela. En pendiente y textura aparecen en cursiva los datos tomados en campo y a su lado la denominación según la nomenclatura de la metodología; en la profundidad efectiva entre paréntesis aparecen la longitud de los horizontes del perfil del

suelo reconstruido extraído con el barreno. En el Anexo VI.2. se encuentran éstas tablas para cada parcela.

Nº	Uso	Erosión		Suelos			Drenaje		Clima				Clase Subclase Ud.manejo	
		Pte(%)	Erosión	Profundidad efectiva	Textura (suelo <30cm)	Textura (suelo >30cm)	Pedregosidad	Drenaje	Riesgo inundación	Zona de vida	Periodo seco	Neblina		Viento
		e1	e2	s1	s2	s2	s3	d1	d2	c1	c2	c3		c4
1	Potrero degradado	48<50 VI	mod III	<90 (0-20;20-50;50-80) II	arcillo arenosa = fina III	arcillo arenosa = fina II	ligera II	mod.excesivo II	nulo I	bmh-MB III	mod. I	fuerte V	mod II	VI VI esdc VI _{e12} S ₁₂₃ d ₁ C ₁₃₄

Tabla 4.8. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de los parámetros recogidos en una parcela de la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007, y su clasificación (número romano) para la determinar la clase, subclase y unidad de manejo de uso de la tierra según la metodología en MAG y MIRENEM (1995)

3º) Analizar el conflicto entre el uso actual y la capacidad de uso de la tierra: el uso actual de cada parcela debe ser comparado con su uso preferible o potencial que es el uso más apropiado según los objetivos de la clasificación que hace dicha metodología de acuerdo con las características y limitaciones de la clase de capacidad de uso de la parcela (ver Tabla 4.9). De la comparación puede resultar que el uso actual de la tierra sea adecuado o inadecuado. Puede ser inadecuado por sobreuso o por subuso.

CLASE	Uso potencial	Requerimiento en medidas de conservación de suelos
I	Cultivo anual continuo	No muy intensivas
II	Cultivo anual continuo	No muy intensivas
III	Cultivo anual continuo	Intensivas
IV	Cultivo anual ocasional	Muy intensivas
V	Pastoreo	No muy intensivas
VI	Cultivo permanente	Intensivas
VII	Manejo de bosque natural, primario y secundario	No muy intensivas
VIII	Protección	Ninguna

Tabla 4.9. Uso potencial y requerimiento en medidas de conservación de suelos según la clase de capacidad de uso (MAG y MIRENEM, 1995)

4.3.4. Cobertura vegetal: cálculo del factor C según el modelo RUSLE

Este apartado se basa fundamentalmente en el documento *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)* de Renard *et al.*(1997) donde se explican y se muestran las fórmulas necesarias para el cálculo del factor vegetación (factor C).

El factor C se emplea en el modelo RUSLE, así como en su antecesora la USLE, para reflejar los efectos del cultivo y las prácticas de manejo de la cubierta sobre las tasas de erosión, y es el factor empleado normalmente para comparar los impactos relativos de las opciones de gestión en los planes de conservación. Este factor indica cómo el plan de conservación afectará a la pérdida media de suelo anual y cómo esa potencial pérdida de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otras medidas de gestión.

El factor C relaciona la pérdida de suelo en un área que presenta cierto tipo de cobertura vegetal y las pérdidas de suelo en las mismas condiciones pero en barbecho continuo o lo que es lo mismo en la parcela estándar. Las condiciones de la parcela estándar son: cobertura en barbecho continuo, no se realizan prácticas de conservación, la longitud de la ladera es de 22,1m (72,6 pies), su anchura de 4 m (13,12 pies) y su pendiente del 9%.

El factor C indica la protección que la cobertura vegetal proporciona al suelo al interceptar las gotas de lluvia y disipar su energía de impacto y de escorrentía disminuyendo su efecto erosivo. Es un factor adimensional que toma valores entre 0,001 (en bosque denso) y 1 (en condiciones estándar).

El factor C según la formulación de Renard *et al.* (1997), se calcula de forma diferente según la cubierta vegetal sea variable con el tiempo a lo largo del año, sufriendo cambios apreciables como en el caso de los cultivos, o sea una cubierta invariable con el tiempo, sin cambios apreciables en el año como por ejemplo en los pastos extensivos, matorrales o terrenos forestales. En ambos casos, previo al cálculo del factor C (apartado 4.3.4.3) es necesario el cálculo de subfactores (apartado 4.3.4.1) con los cuáles se calculan los ratios de pérdidas de suelo (apartado 4.3.4.2) según se explica a continuación.

Para todos los cálculos del factor C el modelo RUSLE tiene una aplicación informática, la cual se sigue perfeccionando y actualizando, y aporta numerosa información necesaria para su uso en base a medidas en campo caracterizadas en los EEUU, ya que es una herramienta desarrollada por el USDA (United States Department of Agriculture). En este estudio se aplica el modelo a partir del manual de Renard *et al.* (1997) y *Microsoft Excel* (elaboración propia) en lugar de la aplicación informática debido a la incertidumbre de asimilar los datos disponibles en esta aplicación a:

- los tipos de cobertura presentes en la cuenca de estudio característicos de zonas tropicales,
- las técnicas de cultivo, ya que gran parte de ellas siguen siendo manuales, como por ejemplo el arado con caballo y el aporcado con azada.

4.3.4.1. Cálculo de los subfactores de los ratios de pérdida de suelo

Los subfactores incluidos en el factor C tienen en cuenta el uso previo de la tierra (PLU: Prior Land Use); la cubierta aérea (CC: Canopy Cover); la cubierta del suelo (SC: Surface Cover); la rugosidad de la superficie (SR: Surface Roughness); y la humedad del suelo (SM: Soil Moisture). Cada subfactor oscila entre los valores 0 y 1, indicando respectivamente que no habrá pérdidas de suelo o que no se reduce la tasa estándar de pérdidas de suelo.

Para el cálculo de los ratios de pérdida de suelo (SLR) de cada período, cada uno de sus cinco subfactores puede calcularse a partir de variables del cultivo o uso del suelo al que correspondan o estimarse a partir de tablas, gráficos y expresiones presentados por Renard *et al.* (1997). Estos autores recomiendan calcular estos factores quincenalmente, lo cual implica también disponer de bases de datos climáticas para hacer el cálculo de las erosividades de lluvia asociadas a estos períodos quincenales. En este caso, la disponibilidad de datos fue mensual, y los ratios de pérdida de suelo se calcularon para períodos iguales a un mes.

4.3.4.1.1. Subfactor uso previo de la tierra

El subfactor de uso previo de la tierra (PLU) expresa la influencia que tienen los efectos subsuperficiales de los cultivos precedentes y el efecto de las prácticas de cultivo

anteriores al cultivo de estudio en la consolidación de los suelos (Renard *et al.*, 1997). Se puede obtener de la expresión:

$$PLU = C_f \cdot C_b \cdot \exp\left[(-c_{ur} \cdot B_{ur}) + (c_{us} \cdot B_{us} / C_f^{c_{uf}})\right]$$

PLU (0-1): subfactor de uso previo de la tierra

C_f : factor de consolidación superficial

C_b : efectividad relativa de los residuos subsuperficiales en la consolidación

B_{ur} : densidad de raíces muertas y vivas en la primera pulgada superficial del terreno (lb/ acre / in)

B_{us} : densidad del residuo superficial incorporado en la primera pulgada superficial del terreno (lb/ acre / in)

c_{ur} y c_{us} : coeficientes de calibración que indican el impacto de los residuos subsuperficiales

c_{uf} : impacto de la consolidación del suelo en la efectividad del residuo incorporado

El subfactor de uso previo de la tierra agrupa el efecto de la biomasa en el suelo proveniente de las raíces de plantas vivas o muertas, de los residuos enterrados con el laboreo y de la consolidación de la tierra desde la última perturbación. En tierras cultivadas el factor PLU será alto (próximo a 1) porque la biomasa incorporada a la superficie es reducida y variable en el año y las perturbaciones por arados u otros aperos hace aumentar la erodibilidad del suelo.

Según las consideraciones sobre el subfactor PLU en Renard *et al.* (1997) y Kuenstler (1998) en el presente estudio se utilizan los siguiente valores del factor PLU: en parcelas con árboles como dosel principal 0,05, en parcelas o con árboles como dosel complementario o con pasto 0,50, y en las parcelas con cultivos anuales 0,99 (Tabla 4.10).

Tipo de cobertura de la parcela		Subfactor PLU
Arbolado	Dosel principal	bosque natural
		aguacate maduro
	Dosel complementario	bosque degradado
		aguacate joven
Pasto		0,99
Cultivo		

Tabla 4.10. Subfactor uso previo de la tierra (PLU) para cada parcela.

Los valores mínimos se presentan en el bosque natural y aguacate maduro donde la incorporación de biomasa es mayor y con perturbaciones de laboreo nunca realizadas o abandonadas respectivamente, en contraste con las parcelas de cultivo que toman el valor máximo por presentar características opuestas. En el caso de los cultivos, el valor de PLU se sabe que es próximo a uno pero sin llegar a las condiciones estándar (1) que son las condiciones más desfavorables. En este estudio se consideran los cultivos de papa o patata, zanahoria y brócoli. El subfactor PLU en las parcelas de brócoli, por las características de este cultivo, será menor que en las otras parcelas, pero por falta de información y del lado de la seguridad, se usa en el mismo valor para los tres tipos de cultivo.

4.3.4.1.2. Subfactor cubierta aérea

El subfactor de cubierta aérea (CC) refleja la efectividad del dosel vegetal para reducir la energía de la lluvia que golpea el terreno. La cubierta aérea es la cubierta vegetal por encima de la superficie del suelo que intercepta la gotas de lluvia pero que no está en contacto con la superficie del suelo. Cualquier porción de una planta que toque la superficie del suelo se considera cubierta del suelo. El subfactor de cubierta aérea se calcula con la expresión:

$$CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0,1 \cdot H), \text{ donde}$$

CC (0-1): subfactor de cubierta aérea

F_c (tanto por uno): fracción de la cubierta aérea

H (pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia después de la intercepción con la vegetación

La altura efectiva de caída se mide desde el suelo al nivel del dosel desde donde caen la mayoría de las gotas de agua. La altura efectiva de caída de un dosel varía con el tipo de vegetación, su densidad y la arquitectura de las plantas. Para cobertura arbórea, en la Figura 4.1 se muestran diferentes tipos de copas y donde se encuentra la altura media de caída.

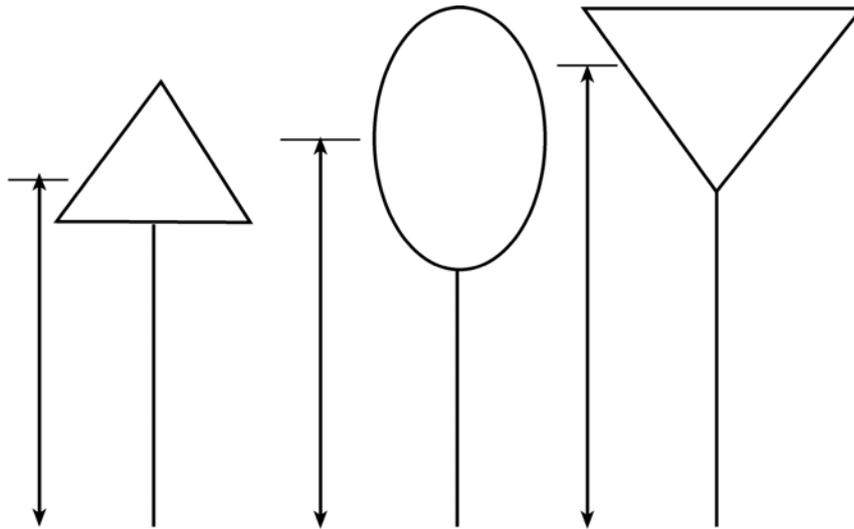


Figura 4.2. Altura efectiva de caída de diferentes formas de copa para coberturas arbóreas (Kuenstler, 1998)

En comunidades de plantas compuestas por más de un tipo de dosel como zonas con pastos, matorrales y árboles, se considera la altura efectiva de caída desde la cual caen el mayor número de gotas.

En este estudio, el cálculo del subfactor CC se realizó según la fórmula anterior, teniendo en cuenta las consideraciones explicadas relativas a la toma de los datos tomados en campo de la fracción de cubierta cubierta y de la distancia de caída de las gotas.

La relación se puede calcular también gráficamente a partir de la cobertura y la altura de la cubierta según la Figura 4.2. adjunta (Renard *et al.*, 1997).

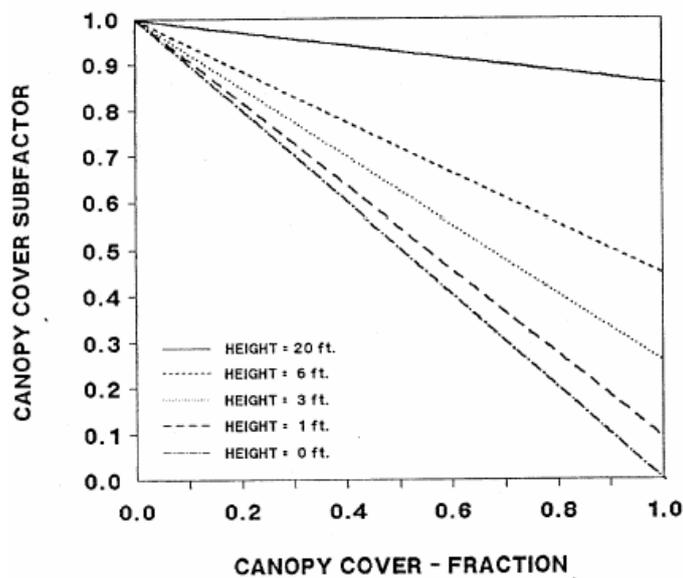


Figura 4.3. Relación del porcentaje de cubierta aérea y el subfactor de cubierta aérea del modelo RUSLE (Renard *et al.*, 1997)

4.3.4.1.3. Subfactor cubierta del suelo

El subfactor de cubierta del suelo (SC) es quizás el más importante para la determinación de los valores de SLR (Renard *et al.*, 1997). La cubierta del suelo influye en la erosión reduciendo la capacidad de transporte del agua de escorrentía (Foster, 1982, citado en Renard *et al.*, 1997), produciendo deposición en áreas estancadas (Lafren, 1983, tomado de Renard *et al.*, 1997), disminuyendo el área susceptible al impacto de las gotas de lluvia (Renard *et al.*, 1997), aumentando la rugosidad, ralentizando y alterando la dirección del flujo y favoreciendo la infiltración (Roldán, 2005). La cubierta del suelo incluye plantas, hojarasca, residuos de cultivo, rocas y otros materiales no erosionables en contacto directo con la superficie del suelo; con altura menor a 3 ó 4 pulgadas (USDA-ARS-NRCS, 2004), equivalente a 7,6 ó 10,2 cm. El efecto de este subfactor se evalúa con la expresión:

$$SC = \exp(-b \cdot S_p \cdot \left(\frac{0.24}{R_u}\right)^{0.08})$$

SC (0-1): subfactor cubierta del suelo

b: coeficiente empírico que indica la efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión.

S_p (porcentaje): cubierta del suelo

R_u (pulgadas): rugosidad de la superficie

En este estudio el subfactor SC se calcula con esta formula utilizando los datos tomados en campo del porcentaje de cubierta del suelo. Para el coeficiente de efectividad y la rugosidad de la superficie se considera como se explica en los siguientes párrafos.

El **coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión (coeficiente b)** depende de varios factores entre los que se incluyen el proceso dominante de erosión, es decir, la relación de erosión en regueros y entregueros, la pendiente, el tipo de cubierta, la erodibilidad del suelo, las características de la superficie, el grado de consolidación y la cantidad de biomasa. En general, la cubierta del suelo dificulta la erosión en regueros que entregueros como ilustra la Figura 4.3. (Foster y Meyer, 1975 citado en Foster, 2005). Por ello, en un suelo desnudo la erosión es debida principalmente a erosión en regueros, al añadir un material que cubra el suelo se reducirá la erosión más que

si la misma cantidad de material se coloca en un suelo que se erosiona principalmente por erosión entrerregueros.

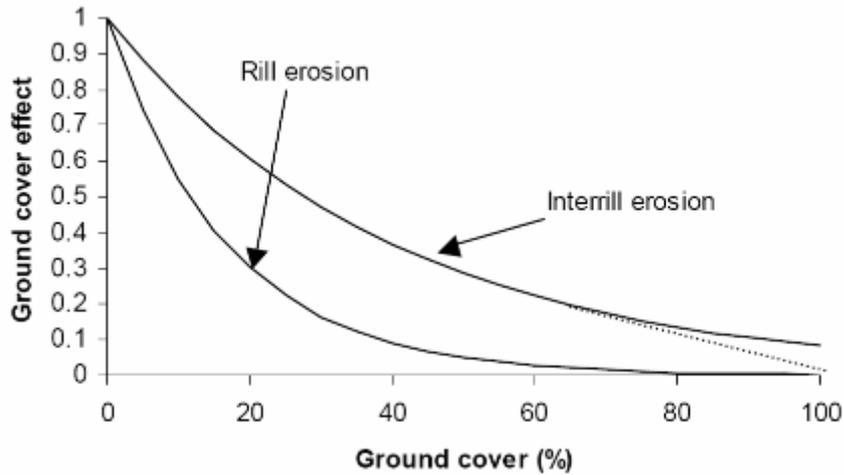


Figura 4.4. Efecto de la cubierta del suelo (ground cover) en la erosión en regeros (rill erosion) y erosión entrerregueros (interrill erosion) Fuente: Foster y Meyer, 1975, tomado de Foster (2005)

En terrenos con pendientes pronunciadas (mayores del 10%) la mayoría de la erosión resulta de procesos en regeros más que entrerregueros, ocurriendo lo contrario en terrenos llanos. Igual que en el ejemplo anterior, debido a que la cubierta del suelo reduce mejor las tasas de erosión en regeros que en entrerregueros, una cierta cantidad de material que cubra el suelo reducirá relativamente mejor las pérdidas de suelo en pendientes pronunciadas que en pendientes llanas.

Laflen *et al.* (1981) y Laflen and Colvin (1981) hallaron que el *coeficiente b* oscila entre 0,03 y 0,07 en cultivos. Simanton *et al* (1984) recomiendan un valor de *b* de 0,039 para praderas. Renard *et al.* (1997) presentan valores de referencia para la selección de un valor apropiado de este coeficiente conocido el proceso dominante de erosión como si el suelo estuviese desnudo según muestra la Tabla 4.11. Este criterio es el más preciso según análisis realizados con modelos.

Coeficiente b	Proceso de erosión dominante en suelo desnudo	Características de la zona
0,025	Entrerregueros	Praderas, pastos en suelos con texturas finas. Pendientes bajas.
0,035	Condiciones de erosión típicas en cultivos	Cultivos regularmente arados, pastos en suelos de texturas gruesas.
0,050	Regueros	Zonas muy erosionadas, suelos arenosos. Pendientes elevadas.

Tabla 4.11. Valores del coeficiente b según el proceso de erosión dominante en suelo desnudo y las características de la zona según el modelo RUSLE (Renard *et al.*, 1997)

Para el cálculo del subfactor SC se considera el criterio de Renard *et al.* (1997) según muestra la Tabla 4.10., por lo que el *coeficiente b* asignando a las parcelas de cobertura agrícola es de un valor de 0.050 y un valor de 0.025 en las parcelas de pasto o arboladas.

El factor de **rugosidad de la superficie (R_u)** se refiere a la rugosidad de la superficie antes del laboreo o a la rugosidad de la superficie en la que no se realiza laboreo. Se calcula según la fórmula:

$$R_u = 0.24 + (D_r (R_i - 0.24)), \text{ donde}$$

R_u : rugosidad de la superficie (pulgadas)

R_i : rugosidad inicial (pulgadas) antes del último laboreo

D_r : es el coeficiente de disminución de la rugosidad (adimensional), que puede ser calculado a partir de la precipitación desde la última labor del suelo (P_t) y la erosividad acumulada en este período (EI_t) gracias a la fórmula de Onstad *et al.* (1984): $D_r = \exp(1/2 \cdot (-0.14 \cdot P_t) + 1/2 \cdot (-0.012 \cdot EI_t))$

Para los cálculos en este estudio se considera el uso de la rugosidad aleatoria (R_t) en lugar de la rugosidad de la superficie (R_u) como se justifica a continuación al tratar el subfactor de rugosidad (SR).

4.3.4.1.4. Subfactor rugosidad de la superficie

El subfactor de rugosidad de la superficie (SR) es una expresión de la rugosidad aleatoria de la superficie (R_t), que se define como la desviación estándar de las elevaciones de la superficie cuando se eliminan los cambios debidos a la pendiente o a las marcas de cultivo (rodadas, surcos,...) (Allmaras *et al.*, 1966 citado en Renard *et al.*, 1997). Renard *et al.* (1997) ofrecen tablas con valores típicos de R_t para praderas con diferente vegetación y para cultivos con diferentes operaciones. El efecto de este subfactor se evalúa con la expresión:

$$SR = \exp[0.66(R_u - 0.24)], \text{ donde}$$

SR (0-1): subfactor rugosidad de la superficie

R_u (pulgadas): rugosidad de la superficie

En las condiciones de la parcela estándar, cuando SR es 1, la rugosidad aleatoria de la superficie es 0,24 pulgadas. Esto hace posible que algunas labores que pulverizan y suavizan el suelo dejen tal rugosidad, menor a 0,24 pulgadas, que se obtengan valores de SR mayores que 1 (Renard *et al.*, 1997). En este estudio en las parcelas con rugosidad menor a la de la parcela estándar, se considera un valor de 0.25 pulgadas.

Las operaciones de cultivo producen dos tipos de rugosidad superficial: dirigida y aleatoria. La rugosidad dirigida es la que tiene un patrón reconocible y se considera en el factor de prácticas de conservación, factor P, del modelo RUSLE. La rugosidad aleatoria (R_t) es la que se considera en el factor de cobertura y manejo, factor C (Kuenstler, 1998), la cuál es un componente importante en el cálculo de los ratios de pérdidas de suelo (SLR) (Renard et al, 1997).

Por la importancia de la rugosidad aleatoria y la existencia de una metodología para su determinación en campo en este estudio se emplea el valor de la rugosidad aleatoria de la superficie (R_t) en lugar de la rugosidad de la superficie (R_u).

Dicha metodología aparece en el apéndice C en Renard *et al.* (1997). A partir de los valores medidos en campo se calcula la diferencia de elevación promedio en la superficie entre las elevaciones más altas y las más bajas, y junto con la Figura 4.4. se estima el valor de la rugosidad aleatoria. La Figura muestra una relación lineal entre ambos datos.

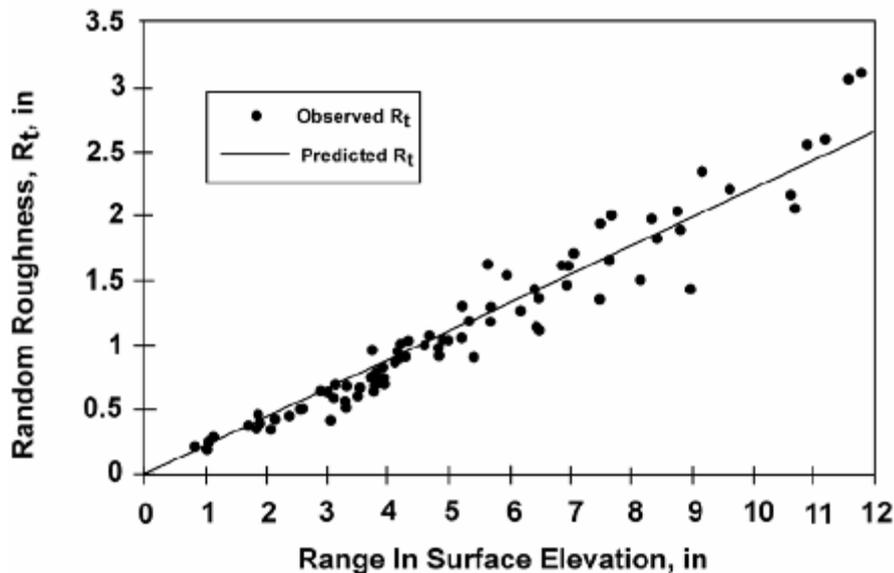


Figura 4.5. Rugosidad aleatoria (R_t) frente a la diferencia de elevación en la superficie (Renard *et al.*, 1997)

Por ejemplo, para la pacerla de potrero degradado, como muestra la Tabla 4.12., de los valores de nueve datos medidos en cinco replicas de la parcela se hace la media de los valores mínimos en cada punto ($Mm = 0,5+0,6+2+3+2)/5=1,6$ cm.) y la de los valores máximos ($MM= (8+9+6,5+12+6,5)/5= 8,4$ cm.); se calcula su diferencia ($D= 2,63$ pulgadas); utilizando la figura 4.4. se obtiene el valor de la rugosidad aleatoria. En el Anexo VII.1. contiene esta información para cada parcela.

Nº: 1	Uso: Potrero degradado									
F_c (fracción)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
H(m)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	H(pies)	0,5		
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetró- metro	4,9	4	3,5	3,8	2,8	3,78				
Rugosidad (cm)	1,5	0,7	1,7	6	8	6	4,5	1,2	0,5	
	0,6	1,5	2	5,5	9	6	5,5	4,5	3	
	6,5	4,5	4	2,5	2	2,5	4	2	2	
	5,5	12	10	10	7	4,5	5	4	3	
	5	4	2	3	4	3,5	4,5	5	6,5	
	Mm	1,6	MM	8,4	D(in)	2,63	Rt(in)	0,55		

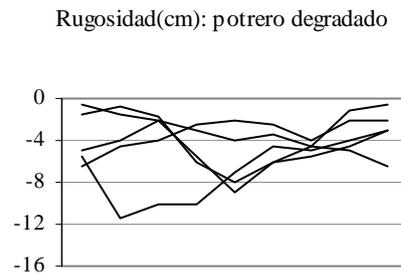


Tabla 4.12. Tabla tipo de los datos medidos en campo de la cobertura. Representación de las medidas para determinar la rugosidad. F_c(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. S_p(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM

4.3.4.1.5. Subfactor humedad del suelo

El subfactor de humedad del suelo (SM) refleja la influencia de la humedad precedente del suelo en la infiltración y en la escorrentía, y por lo tanto en la erosión del suelo.

Se debe ajustar para cada tipo de suelo. En zonas en las que la humedad del suelo es alta durante los períodos en que las precipitaciones y la escorrentía son máximas, no es necesario realizar ajustes en la humedad del suelo. Por ello, Renard *et al.* (1997) recomienda el uso del subfactor SM para ciertas regiones con cultivos de secano y con periodos de barbecho, en las que la precipitación media anual es baja (menor de 25 pulgadas/año) y cuando la mayoría de la precipitación ocurre durante los meses de invierno en el Noroeste de la región Wheat and Range de los Estados Unidos (Northwestern Wheat and Range Region, NWRR).

Su valor varía desde 1 cuando el suelo está en capacidad de campo hasta 0 cuando el suelo está en punto de marchitez. Partiendo de esta consideraciones, y debido a que el

área de estudio presenta condiciones a las de aplicación de RUSLE, se considera que es relevante considerar la humedad del suelo ya que se presentan suelos saturados casi todos los meses del año y ello afectará en las propiedades del suelo contra la erosión.

Se asigna un valor de SM entre 0 y 1, indicando el valor 1 que el suelo se encuentra en capacidad de campo y por tanto cualquier aguacero afectará más que en las épocas que el suelo se encuentre en punto de marchitez, que es cuando el suelo aún no está saturado y puede infiltrar parte del agua de lluvia. Para ello se usa la siguiente fórmula elaborada en base a esa explicación:

$$SM_i = \frac{H_i - P_m}{C_c - P_m}, \text{ donde}$$

SM (0-1): subfactor humedad del suelo para el mes i

H_i (%): humedad del suelo para el mes i; $H_i = \frac{H_i' * C_c}{C_c}$, donde:

H_i' (mm): humedad del suelo para el mes i; $H_i' = \frac{W_{i1} * W_{i2}}{2}$, donde:

W_{i1} (mm/mes): humedad inicial del suelo para el mes i

W_{i2} (mm/mes): humedad final del suelo para el mes i

C_c (mm): capacidad de campo del suelo

P_m (%): punto de marchitez del suelo; $P_m = H_{v15} = H_{g15} * D_{ap}$, donde

H_{v15} (%): humedad volumétrica a 15 bares de presión

H_{g15} (%): humedad gravimétrica a 15 bares de presión

D_{ap} (g/cm³): densidad aparente expresada en g/cm³

C_c (%): capacidad de campo del suelo; $C_c = H_{v0.33} = H_{g0.33} * D_{ap}$, donde

$H_{v0.33}$ (%): humedad volumétrica a 0,33 bares de presión

$H_{g0.33}$ (%): humedad gravimétrica a 0,33 bares de presión

Para su cálculo se usan los datos disponibles en Marchamalo (2004) de: *balance hídrico de dos estaciones meteorológicas de la cuenca de estudio (Pacayas y Volcán Irazú) según la metodología de Thornwaite y Mather (1957)*: humedad inicial y final del suelo para cada mes; eligiendo la estación más cercana a la parcela medida; *propiedades físicas de los suelos de tres calicatas (Buenavista, Llano Grande y Guarumos) por localidad y tipo de suelo de la cuenca de estudio*: humedad volumétrica a 0,33 y 15 bares

de presión, densidad aparente expresada en g/cm^3 ; eligiendo la estación más cercana y con igual tipo de suelo a la parcela medida.

En la Tabla 4.13. aparecen las cuatro situaciones (a, b, c, d) presentes en las parcelas muestreadas para el cálculo del subfactor SM. La Tabla 4.14. muestra como ejemplo para la situación a las variables necesarias para el cálculo del subfactor humedad del suelo(SM) y su resultado, en el Anexo VII.2. aparece para cada situación.

Tipo de cobertura de la parcela		Balance hídrico	Propiedades físicas de los suelos	Subfactor SM
Arbolado	bosque natural	Volcán Irazú	Guarumos	d
	bosque degradado	Volcán Irazú	Llano Grande	c
	aguacate	Pacayas	Buenavista	b
Pasto (excepto potrero muy degradado)				
Cultivo	papa			
	zanahoria			
	brócoli 1,3,4			
Pasto	potrero muy degradado	Pacayas	Llano Grande	a
Cultivo	brócoli 2			

Tabla 4.13. Estación meteorológica y calicata seleccionada para el cálculo del subfactor de humedad del suelo (SM) de cada parcela.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
$W_{i1}(\text{mm/mes})$	250,0	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$W_{i2}(\text{mm/mes})$	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$H_i'(\text{mm})$	250,00	250,00	230,09	208,11	228,01	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
$C'c(\text{mm})$	250											
$H_{g0,33\text{bar}}(\%)$	62											
$H_{g15\text{bar}}(\%)$	26											
$D_{ap}(\text{g/cm}^3)$	0,62											
$C_c(\%)$	38,44											
$P_m(\%)$	16,12											
$H_i(\%)$	38,44	38,44	35,379	31,998	35,059	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44
SM(a)	1,0000	1,0000	0,8629	0,7114	0,8485	1,0000						

Tabla 4.14. Datos necesarios y cálculo del subfactor de humedad de suelo (SM) mensual para las situaciones en las parcelas muestreadas en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007. W_{i1} : humedad inicial del suelo para el mes i; W_{i2} : humedad final del suelo para el mes i; H_i' : humedad del suelo para el mes i; C'_c : capacidad de campo del suelo; $H_{g0,33}$: humedad gravimétrica a 0,33 bares de presión; H_{g15} : humedad gravimétrica a 15 bares de presión; D_{ap} : densidad aparente; $C_c(\%)$: capacidad de campo del suelo; P_m : punto de marchitez del suelo; H_i : humedad del suelo para el mes i.

4.3.4.2. Cálculo de los ratios de pérdida de suelo

Para el cálculo de los ratios de pérdida de suelo (SLR) de cada período Renard *et al.* (1997) recomiendan emplear la formulación de Laflen *et al.* (1985):

$$SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM, \text{ donde}$$

SLR: ratio de pérdida de suelo

PLU: uso previo de la tierra

CC: cubierta aérea

SC: cubierta del suelo

SR: rugosidad de la superficie

SM: humedad del suelo

Para cada parcela se ha calculado los SLR mensuales, en los que todos los subfactores son constantes, excepto el subfactor SM, según la formulación descrita en el apartado anterior 4.3.4.12. *Cálculo de los subfactores de los ratios de pérdida de suelo.*

Los resultados de SLR mensuales en cada parcela (Anexo VII.3.) se usan para calcular:

- SLR₁ ó SLR cuando el suelo está en capacidad de campo: corresponde a los meses en que SM=1, equivalente a no considerar el ajuste de la humedad del suelo como se hace en Renard *et al.* (1997).
- SLR₂ ó SLR cuando el suelo está por debajo de la capacidad de campo: corresponde a los meses en que SM<1; en este resultado se hace la media de los valores de SLR correspondiente a los meses en que se presenta esa situación.

En las parcelas de cultivo la cobertura vegetal varía a lo largo de un mismo año, aunque para los cálculos de los SLR mensuales se considera que un determinado estado de cultivo se mantiene los doce meses del año. Así, se obtiene los SLR mensuales para un determinado estado del cultivo (recién sembrado o plantado, tras el aporcado, en plena cobertura y tras la cosecha). Para el cálculo del factor C de cultivo de una determinada rotación anual los SLR mensuales según el tipo de cultivo y el estado se ponderan con la erosividad de lluvia correspondiente a la duración de cada estado del cultivo.

Por otro lado, los SLR₁ de los cultivos pueden ser utilizados en otras localidades ponderando con la erosividad de lluvia de esa zona para obtener factores C de cultivo. Para considerar los SLR mensuales (SLR₁ y SLR₂) en otras localidades, deben tener

similares condiciones edáficas y de balance hídrico que se consideran en el subfactor humedad del suelo, porque SLR₂ considera la variación de SM.

A continuación, la Tabla 4.15. muestra la información y cálculos hasta este punto del estudio para la parcela de potrero degradado. En el Anexo VII. 4. aparece para cada una de las parcelas muestreadas esta tabla acompañada de una foto representativa del tipo de cubierta vegetal.

Nº: 1	Uso: Potrero degradado							CC	Fc(fracción)	1,00			
Municipio: Buena Vista			Altitud(m):1797		Pte(%):48			H(pies)	0,52	H(m)	0,16		
Coord.CRTM 98			N:1097502		E:522707			b	0,025				
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					Sp(%)	100				
								SR	Ru(pulg)	0,55			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	
	SC	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	
	SR	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	
C	SLR	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	SLR ₁	0,002											
	SLR ₂	0,001											

Tabla 4.15. Tabla tipo (ejemplo: potrero degradado) de información y cálculo de los subfactores para el calculado de los ratios de pérdidas (SLR) de suelo en una parcela muestreada en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. CC: subfactor cubierta aérea; Fc (tanto por uno): fracción de la cubierta aérea; H (pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia; SC: subfactor cubierta del suelo; b: coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión; Sp (%): cubierta del suelo; Ru (pulgadas): rugosidad de la superficie; SR: subfactor rugosidad; PLU: subfactor uso previo de la tierra; SM: subfactor humedad del suelo, b: corresponde a SM(b) según Tabla 4.13; SLR_i: ratio de pérdida de suelo para el mes i; SLR₁: ratio de pérdida de suelo en capacidad de campo; SLR₂: ratio de pérdida de suelo en época seca.

4.3.4.3. Cálculo del factor C para cada cobertura

4.3.4.3.1. Cubierta invariable con el tiempo

En aquellos sistemas en los que las condiciones de la cubierta vegetal no cambien considerablemente a lo largo de un año como en pastos extensivos, matorrales o terrenos forestales, los cálculos se simplifican respecto a cubiertas agrícolas ya que los subfactores pueden ser calculados como promedios anuales; de esta manera el factor C se obtiene mediante la multiplicación directa de estos (Renard *et al.*, 1997). Consecuentemente el factor C equivale a los SLR en este tipo de parcelas.

En este estudio el cálculo del factor C como cubierta invariable se aplica en las parcelas arboladas (bosque natural, bosque degradado, árboles frutales en estado maduro) y en las parcelas de pasto (pasto de corta o pasto de siega y potrero o pasto de diente) y se considera igual al SLR en capacidad de campo (SLR_1), ya que $SM=1$ y es lo que recomienda Renard *et al.* (1997) para el cálculo del factor C en general, excepto en unas determinadas condiciones y zona de EEUU como se ha expuesto en el apartado 4.3.4.1.5. *Subfactor humedad del suelo.*

4.3.4.3.2. Cubierta variable con el tiempo

Cuando la cubierta vegetal varía considerablemente durante el año, como en cultivos, u operaciones en el terreno que afectan a los residuos de plantas o al suelo, el factor C se expresa como una media anual de los ratios de pérdida de suelo comparado con las condiciones estándar (SLR) para cada intervalo de tiempo, ponderado con la erosividad acumulada del citado período (EI_i) según la expresión (Renard *et al.*, 1997):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} SLR_i \cdot EI_i}{EI_t}, \text{ donde}$$

C: valor anual promedio del factor C

SLR_i : valores del ratio de pérdida de suelos para el período i

EI_i : porcentaje de erosividad anual que ocurre durante este período

n: número de períodos considerados

EI_t : erosividad total anual (R)

En esta opción el factor C se calcula en base a la información sobre localidad, que determina la distribución mensual de la erosividad de lluvia, cultivo y labores que se encuentra en la aplicación informática del modelo RUSLE. La combinación de información de estas tres fuentes determina los cambios en la masa de raíces y cubierta aérea del cultivo; en la rugosidad y consolidación del suelo; y en los residuos superficiales y subsuperficiales y su descomposición. En este estudio se ha diseñado una hoja en Microsoft Excel para calcular el factor C considerando cuatro estados del cultivo, explicados en el apartado 4.1. *Selección de parcelas*, en los cuales se caracterizan la cubierta aérea del cultivo; la rugosidad; y los residuos superficiales en cada estado.

Este cálculo se ha aplicado a las parcelas agrícolas; el período *i* es variable según el sistema de rotación. En la cuenca de estudio las rotaciones más representativas son (comunicación personal de Beatriz Molina, 2007):

- zona alta de la cuenca (>2500m.s.n.m): patata- brócoli; patata – zanahoria; con un mes de descanso entre ambos cultivos, correspondiente a junio y diciembre. La siembra se realiza en enero y julio
- zona baja de la cuenca: papa-zanahoria-papa; papa-papa-brócoli; papa-zanahoria-brócoli; sin meses de descanso. La siembra se realiza en enero, mayo y septiembre.

Estas rotaciones se han calculado según las aplicaciones actuales y según alternativas propuestas en el futuro. Estas rotaciones que en el futuro mantienen los tipos de cultivos, añaden un mes de descanso en la zona alta de la cuenca y varían el orden de los cultivos, son de posible implementación en la práctica (comunicación personal con Beatriz Molina, 2007).

Los meses en los que los productores estarían dispuestos a dejar en descanso sus tierras son (comunicación personal con Beatriz Molina, 2007):

- zona alta de la cuenca: mayo y junio. La siembra sería en julio y diciembre.
- zona baja de la cuenca: septiembre. La siembra sería en enero, mayo y octubre.

En las rotaciones a futuro los periodos de descanso coinciden con los meses de mayor erosividad de la lluvia (Anexo VII.5), por ello la variación en el orden de los cultivos se hace en base a los resultados obtenidos de SLR (*apartado 5.2.2. Ratios de pérdida de suelo*) para tener los estados del cultivo más protectores, con menor SLR, en esos meses de descanso. Esos resultados (Tabla 5.7 y Figura 5.9) muestran que la mayor protección se da tras la cosecha de zanahoria y brócoli. La elección de los otros cultivos en ese mismo año se hace de igual manera.

La Tabla 4.16. muestra las rotaciones actuales más representativas, y las propuestas en el futuro.

Rotación papa- brócoli												
Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Actual	Papa					Brócoli						
	1	2	3		4	D	1	2	3		4	D
Futuro	Brócoli					Papa						
	2	3		4	D	1	2	3		4	1	
Rotación papa- zanahoria												
Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Actual	Papa					Zanahoria						
	1	2	3		4	Ds	1	2	3		4	Ds
Futuro	Zanahoria					Papa						
	2	3		4	Ds	1	2	3		4	1	
Rotación papa- zanahoria-papa												
Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Actual	Papa				Zanahoria				Papa			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Futuro	Papa				Zanahoria				Papa			
	4;1	2	3	4	1	2	3	4	Ds	1	2	3
Rotación papa- papa-brócoli												
Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Actual	Papa				Papa				Brócoli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Futuro	Papa				Brócoli				Papa			
	4;1	2	3	4	1	2	3	4	Ds	1	2	3
Rotación papa- zanahoria-brócoli												
Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Actual	Papa				Zanahoria				Brócoli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Futuro	Z;P	Papa (P)			Brócoli				Zanahoria (Z)			
	4;1	2	3	4	1	2	3	4	Ds	1	2	3

Tabla 4.16. Rotaciones de los cultivos actuales y propuestas en un futuro de la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. Situaciones de crecimiento de la cobertura del cultivo: 1: recién sembrado o plantado; 2: tras el aporcado; 3: plena cobertura; 4: tras el arranque; Ds: descanso (Elaboración propia).

Para el cálculo del factor C ya se han obtenido los SLR mensuales de cada tipo de parcela agrícola (apartado 4.3.4.2. *Cálculo de los ratios de pérdida de suelo*) como muestra el Anexo VII.4., en caso de ser el periodo i menor a un mes se considera un valor proporcional.

Adicionalmente, es necesario conocer EI_i información facilitada por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), gracias a los cálculos realizados por Gómez (2007). Se dispone de los datos de las erosividades de lluvia mensuales para el período 1999 – 2006 en dos estaciones meteorológicas de la zona de estudio, en el Sanatorio Durán, zona alta, y en el embalse de Cachí, zona baja (Anexo VII.5.). Hubiera sido necesario al menos tener la información de todos los meses para la serie de diez años, lo que en los datos facilitados no se cumple, aplicándose no obstante los datos disponibles.

Así para cada tipo de rotación se calcula el factor C (Anexo VII.6.) según se muestra a modo de ejemplo en la Tabla 4.17. para la rotación actual de papa- brócoli:

Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Factor C: rotación papa- brócoli	
Pp-Br	Pp1	Pp2	Pp3	Pp3	Pp4	D	Br1	Br2	Br3	Br3	Br4	D		
SLR_i	0,731	0,270	0,094	0,062	0,388	0,522	0,735	0,171	0,034	0,034	0,015	0,015		
EI_i	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3		
$SLR_i * EI_i$	0,878	0,909	0,080	0,061	8,370	8,658	4,635	1,019	0,483	0,506	0,166	0,046	0,258	

Tabla 4.17. Tabla tipo (ejemplo: rotación papa-brócoli, zona alta de la cuenca) para el cálculo del factor C de una rotación de cultivo anual en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007. Pp: papa o patata; Br: brócoli. Situaciones de crecimiento de la cobertura del cultivo: 1: recién sembrado o plantado; 2: tras el aporcado; 3: plena cobertura; 4: tras el arranque; D: descanso (Elaboración propia).

5. RESULTADOS

5.1. Uso actual y capacidad de uso de la tierra

En la Tabla 5.1. para cada parcela se muestra: el tipo de cobertura según la denominación usada en los estadillos de campo y el tipo de uso actual, su respectiva clase de capacidad de uso, la unidad de manejo, su uso potencial y la clasificación del uso actual, según la metodología de MAG y MIRENEM, 1995.

Tipo de cobertura de la parcela			Tipo de uso actual	Clase	Udunidad de manejo	Tipo de uso potencial	Clasificación del uso actual		
según metodología (MAG y MIRENEM. 1995)									
Arbolado	12	aguacate joven	cultivo permanente	VI	VI $e_{12}s_{23}d_1c_{134}$	Cultivos permanentes	Adecuado		
	14	aguacate maduro	cultivo permanente		VI $e_{12}s_{23}c_{134}$		Adecuado		
Pasto	4	pasto de corta	cultivo semi-permanente		VI $e_{12}s_3c_{134}$		Adecuado		
	18	potrero carga normal	pasto	V $e_{12}c_{13}$	Pastoreo	Adecuado			
	1	potrero degradado	pasto	VI	VI $e_{12}s_{123}d_1c_{134}$	Cultivos permanentes	Inadecuado sobreuso		
	19	potrero muy degradado	pasto		VI $e_{12}s_2d_1c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
	Cultivo (1)	17	papa 1	cultivo anual	V	V $e_{12}s_2c_{134}$	Pastoreo	Inadecuado sobreuso	
16		papa 2	cultivo anual	VI	VI $e_{12}s_{23}d_1c_{134}$	Cultivos permanentes	Inadecuado sobreuso		
9		papa 3	cultivo anual		VI $e_{12}s_3c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
11		papa 4	cultivo anual		VI $e_{12}s_{23}d_1c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
10		zanahoria 1	cultivo anual		VI $e_{12}s_{23}d_1c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
13		zanahoria 2	cultivo anual	V	V $e_{12}s_{123}d_1c_{134}$	Pastoreo	Inadecuado sobreuso		
15		zanahoria 3	cultivo anual	VI	VI $e_{12}s_3c_{134}$	Cultivos permanentes	Inadecuado sobreuso		
8		zanahoria 4	cultivo anual		VI $e_{12}c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
5		brócoli 1	cultivo anual		VI $e_{12}s_2d_1c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
3		brócoli 2	cultivo anual		VI $e_{12}s_{23}d_1c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
6		brócoli 3	cultivo anual		VI $e_{12}s_2c_{134}$		Inadecuado sobreuso		
7		brócoli 4	cultivo anual		V		V $e_{12}c_{134}$	Pastoreo	Inadecuado sobreuso

Tabla 5.1. Tipo de uso actual, clase de capacidad de uso, unidad de manejo, uso potencial y clasificación del uso actual según MAG y MIRENEM, 1995 para cada tipo de parcela muestreada en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. Parámetros de la unidad de manejo: e_1 : pendiente; e_2 : erosión sufrida; s_1 : profundidad efectiva; s_2 : textura suelo y subsuelo; s_3 : pedregosidad; d_1 : drenaje; d_2 : riesgo de inundación; c_1 : zona de vida; c_2 : periodo seco; c_3 : neblina; c_4 : viento. (1) Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

Las parcelas medidas se encuentran bajo un uso de cultivo permanente, pasto y cultivo anual repartidas en un 16%, 21% y 63% respectivamente (Figura 5.1), en contraste con el uso potencial de las parcelas que debería ser cultivo permanente y pastoreo, repartido en un 79% y un 21%, por pertenecer las parcelas a la clase VI y V de capacidad de uso de la tierra respectivamente (Figura 5.2).

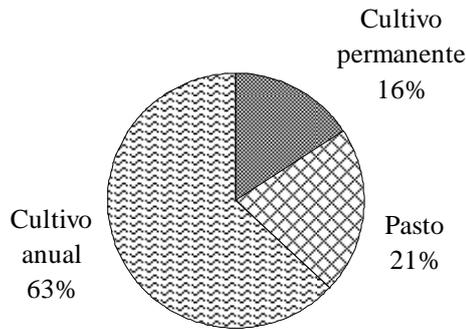


Figura 5.1. Tipo de uso actual de las parcelas

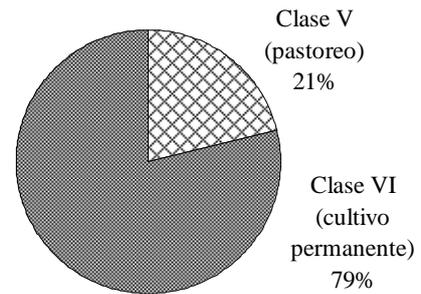


Figura 5.2. Clase de capacidad de uso (uso potencial) del terreno en el que se ubican las parcelas

Analizando los tipos de unidades de manejo de cada parcela (ver Tabla 5.1) en el 90% de las parcelas el factor de mayor limitación es la pendiente (indicado por e_1), mientras que a menor escala la erosión (e_2) y la conjugación de los factores de pendiente y pedregosidad (s_3) son limitantes, como muestra la Figura 5.3. Este resultado es fácilmente observable al recorrer la cuenca de estudio, como se muestra parcialmente en el registro fotográfico (Anexo I: fotos 1-8, 13 y 21).

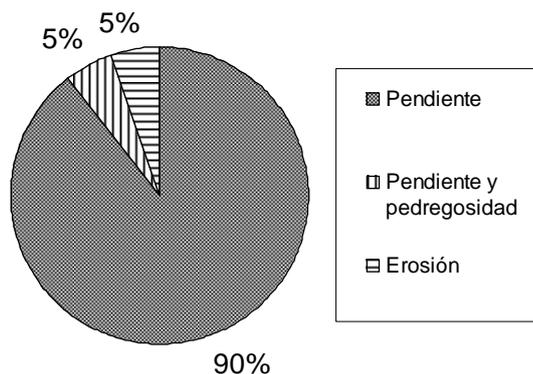


Figura 5.3. Factores más limitantes que define la unidad de manejo de cada parcela

Observando los resultados en la Tabla 5.1 de la clasificación del uso actual se observa el conflicto entre el tipo de uso actual de la tierra comparándolo con su tipo de uso potencial, según se explica en la metodología. Así, el 79% de las parcelas se encuentran en

sobreuso, encontrando sólo un 21% de parcelas bajo un uso adecuado (Figura 5.4). Para las parcelas con uso inadecuado la Figura 5.4. detalla el uso potencial que deberían tener frente al que tienen actualmente, y los factores más limitantes.

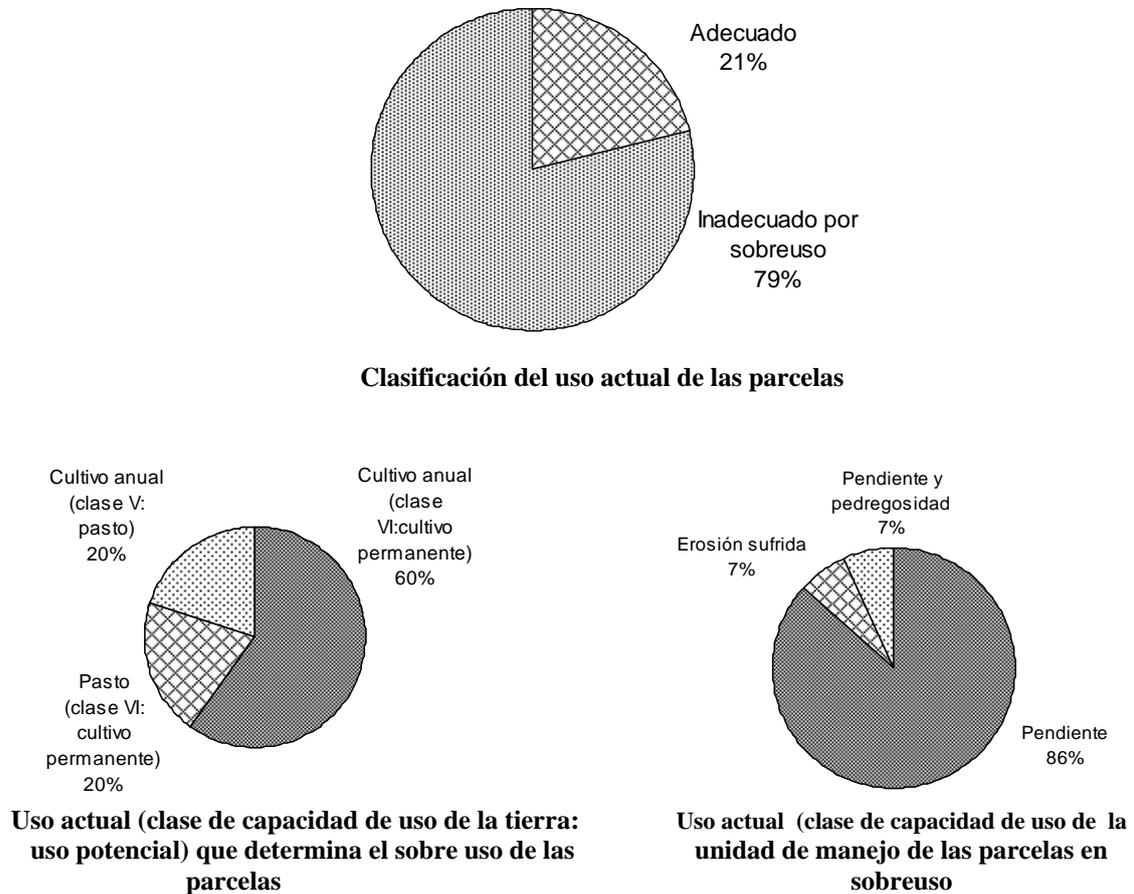


Figura 5.4. Clasificación del uso actual de las parcelas; uso actual (clase de capacidad de uso de la tierra: uso potencial) y factores más limitantes de las parcelas en sobreuso.

5.2. Cobertura del suelo: el factor C según el modelo RUSLE

5.2.1. Subfactores de los ratios de pérdida de suelo

En este apartado para cada subfactor se presentan los valores de las variables de los que es función y su valor calculado según la fórmula expuesta en el apartado de metodología; excepto para el subfactor uso previo de la tierra que se usan los valores expuestos en el apartado de metodología 4.3.4.1.1. *Subfactor uso previo de la tierra*. En el Anexo VII.4. para cada parcela se agrupa esta información (variables de las que dependen los subfactores, subfactores, ratios de pérdidas de suelo y fotografía general del tipo de cubierta).

5.2.1.1. Subfactor cubierta aérea

La Tabla 5.2. muestra para cada parcela las variables necesarias para el cálculo del subfactor cubierta aérea (CC) y su resultado. Para una mejor visualización de estos resultados se representan en la Figura 5.5.

Tipo de cobertura y código de la parcela		F _c	H		Subfactor CC	
			H(m)	H(pies)		
Arbolado	2	bosque natural	0,95	2,70	8,86	0,607
	20	bosque degradado	0,33	3,94	12,93	0,910
	12	aguacate joven	0,11	0,56	1,84	0,912
	14	aguacate maduro	0,85	2,93	9,62	0,677
Pasto	4	pasto de corta	0,81	0,42	1,39	0,295
	18	potrero carga normal	1,00	0,17	0,56	0,054
	1	potrero degradado	1,00	0,16	0,52	0,051
	19	potrero muy degradado	0,80	0,19	0,62	0,252
Cultivo (1)	17	papa 1	0,00	0,00	0,00	1,000
	16	papa 2	0,71	0,24	0,79	0,346
	9	papa 3	1,00	0,60	1,96	0,178
	11	papa 4	0,00	0,00	0,00	1,000
	10	zanahoria 1	0,00	0,00	0,00	1,000
	13	zanahoria 2	0,73	0,21	0,68	0,320
	15	zanahoria 3	0,98	0,53	1,75	0,180
	8	zanahoria 4	0,00	0,00	0,00	1,000
	5	brócoli 1	0,00	0,00	0,00	1,000
	3	brócoli 2	0,82	0,36	1,17	0,267
	6	brócoli 3	1,00	0,59	1,92	0,175
	7	brócoli 4	0,02	0,35	1,15	0,979

Tabla 5.2. Fracción de la cubierta aérea, F_c, altura efectiva de caída, H, y subfactor cubierta aérea, CC, de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. (1) Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

Se observa que, entre las parcelas medidas, el subfactor CC oscila entre el mínimo 0,051 y 1,0000, el máximo valor alcanzable. Las parcelas que tienen los menores valores del subfactor CC, son las de potrero en carga normal y potrero degradado, ya que ese dosel aéreo, con una fracción de cabida cubierta completa, 100%, es el de menor altura de todas las parcelas medidas, menor a 0,17m. Los valores máximos se alcanzan para las parcelas en las que hay ausencia de dosel aéreo, cultivos en estado recién sembrado o plantado (estado1) y tras su cosecha (estado 4).

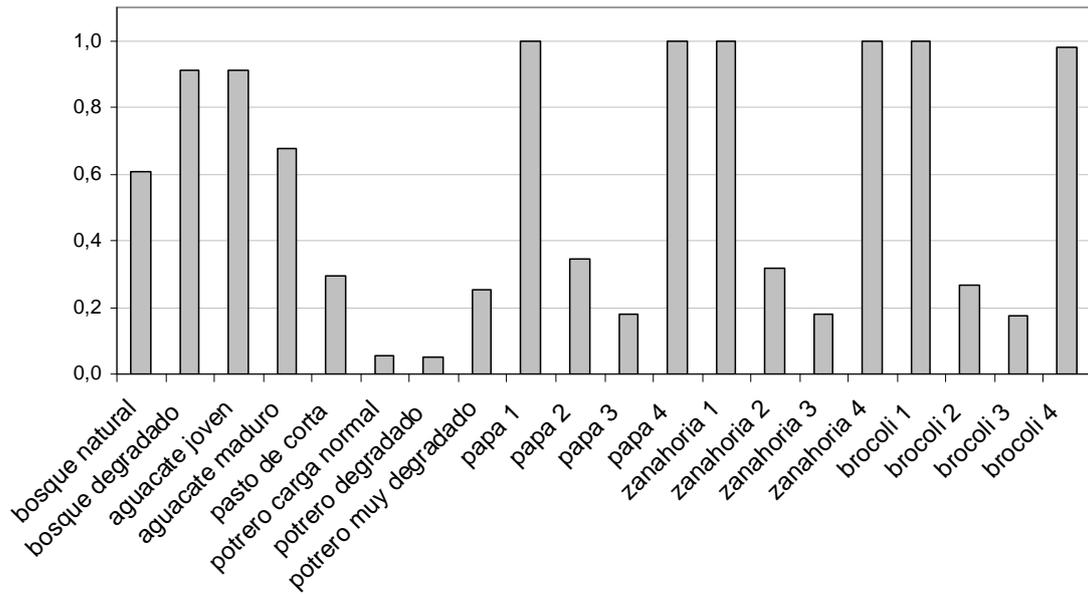


Figura 5.5. Subfactor cubierta aérea (CC) de cada parcela. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

Observando la Figura 5.5. las parcelas entre los valores mínimos y máximos se pueden agrupar en coberturas con valores del subfactor CC mínimo, intermedio y máximo según muestra la Tabla 5.3.

Parcela	Subfactor CC	Fcc (%)	H(m)
Potrero normal y degradado.	Mínimo	0,05	<0,20
Cultivos en plena cobertura		0,18	<0,60
Cultivos tras el aporcado. Potrero muy degradado. Pasto de corta	Intermedios	0,25-0,35	0,20-0,40
Arbóreas como principales		0,6-0,7	<3
Arbóreas como dosel complementario	Máximo	0,9	0,5-4
Brócoli tras el arranque		0,98	<2
Cultivos recién sembrados o plantados. Papa y zanahoria tras el arranque		1	0

Tabla 5.3. Agrupaciones de las parcelas según el valor del factor de cubierta aérea (CC), fracción de cubierta aérea (Fc) y altura efectiva de caída (H).

5.2.1. 3. Subfactor cubierta del suelo

La Tabla 5.4. muestra las variables necesarias para el cálculo del subfactor cubierta del suelo (SC) y su resultado para las parcelas medidas. Su representación gráfica se puede observar en la Figura 5.6. El subfactor de cubierta aérea en las parcelas medidas varía entre 0,0212 y 1,0000. Se observa la influencia de la presencia o no de cubierta del suelo,

así en las parcelas que carecen de ella el factor SC toma valores de 1,00, y a medida que aumenta la superficie cubierta del suelo disminuye el subfactor. Además el subfactor SC es función del coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión y de la rugosidad de la superficie.

Tipo de cobertura y código de la parcela		b	S _p (%)	R _t (pulgadas)	Subfactor SC
Arbolado	2	bosque natural	100	0,30	0,086
	20	bosque degradado	100	0,25	0,083
	12	aguacate joven	86	0,45	0,130
	14	aguacate maduro	100	0,25	0,083
Pasto	4	pasto de corta	100	0,25	0,083
	18	potrero carga normal	100	0,36	0,089
	1	potrero degradado	100	0,55	0,096
	19	potrero muy degradado	80	0,50	0,153
Cultivo ⁽¹⁾	17	papa 1	0	0,70	1,000
	16	papa 2	0	0,60	1,000
	9	papa 3	0	0,80	1,000
	11	papa 4	12	0,35	0,567
	10	zanahoria 1	0	0,25	1,000
	13	zanahoria 2	0	0,25	1,000
	15	zanahoria 3	25	0,25	0,288
	8	zanahoria 4	50	0,25	0,083
	5	brócoli 1	4	0,40	0,825
	3	brócoli 2	0	0,90	1,000
	6	brócoli 3	25	1,00	0,328
	7	brócoli 4	84	0,75	0,021

Tabla 5.4. Coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión, b, cubierta del suelo, S_p, rugosidad aleatoria de la superficie, R_t, y subfactor cubierta del suelo, SC, de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007. (1) Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

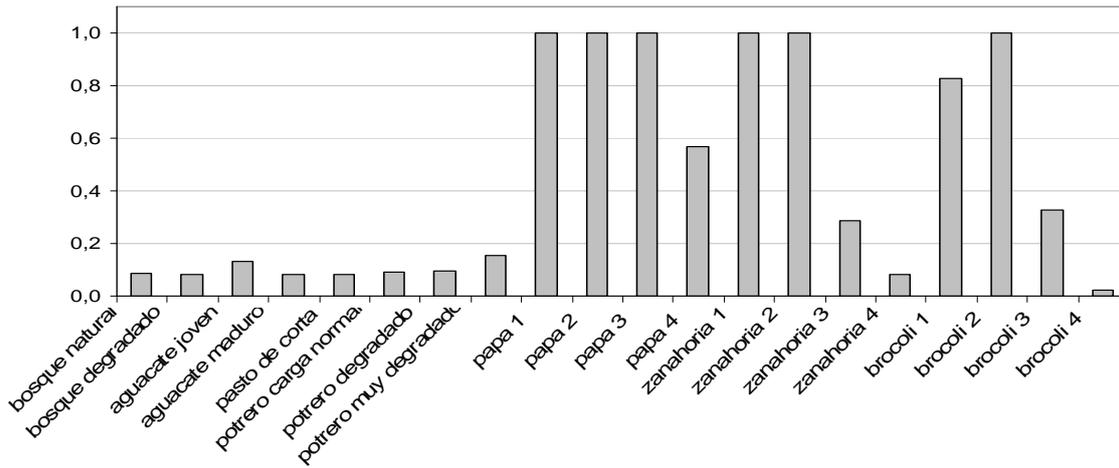


Figura 5.6. Subfactor cubierta del suelo (SC) de cada parcela. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

5.2.1. 4. Subfactor rugosidad de la superficie

La Tabla 5.5. muestra la variable rugosidad de la superficie necesaria para el cálculo del subfactor rugosidad de la superficie (SR) y su resultado para cada parcela. Para una mejor visualización de estos resultados se representan en la Figura 5.4.

Tipo de cobertura y código de la parcela		R _t (pulgadas)	Subfactor SR	
Arbolado	2	bosque natural	0,30	0,961
	20	bosque degradado	0,25	0,993
	12	aguacate joven	0,45	0,871
	14	aguacate maduro	0,25	0,993
Pasto	4	pasto de corta	0,25	0,993
	18	potrero carga normal	0,36	0,924
	1	potrero degradado	0,55	0,815
	19	potrero muy degradado	0,50	0,842
Cultivo ⁽¹⁾	17	papa 1	0,70	0,738
	16	papa 2	0,60	0,789
	9	papa 3	0,80	0,691
	11	papa 4	0,35	0,930
	10	zanahoria 1	0,25	0,993
	13	zanahoria 2	0,25	0,993
	15	zanahoria 3	0,25	0,993
	8	zanahoria 4	0,25	0,993
	5	brócoli 1	0,40	0,900
	3	brócoli 2	0,90	0,647
	6	brócoli 3	1,00	0,606
	7	brócoli 4	0,75	0,714

Tabla 5.5. Rugosidad aleatoria de la superficie (R_t) y subfactor rugosidad de la superficie (SR) de cada parcela (tipo de cobertura y código). (1) Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

Se observa que en las parcelas medidas el subfactor SR oscila entre 0,6056 y 0,993. El menor valor corresponde a la parcela de brócoli en plena cobertura. La mayoría de las parcelas, todas menos seis, tienen un subfactor SR mayor a 0,8000.

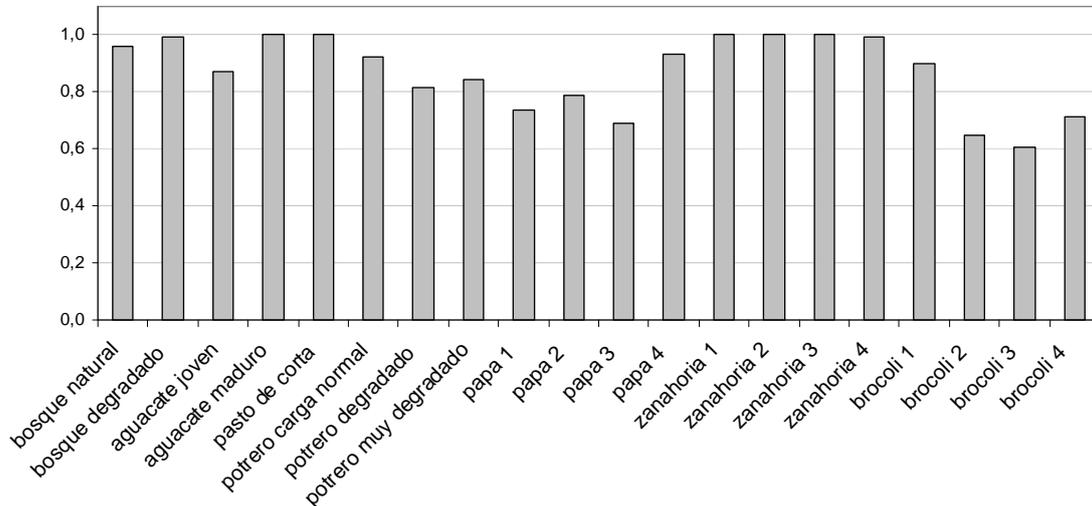


Figura 5.7. Subfactor rugosidad de la superficie (SR) de cada parcela. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

5.2.1. 5. Subfactor humedad del suelo

En la Tabla 5.6. aparecen los resultados del subfactor humedad del suelo para las cada parcela que se agrupan en cuatro situaciones (a, b, c, d) según lo expuesto en metodología.. En el Anexo VII.2. se muestran todas las variables necesarias para el cálculo del subfactor humedad del suelo (SM) y su resultado para las cuatro situaciones descritas. Su representación gráfica aparece en la Figura 5.8.

Tipo de cobertura de la parcela		Estación meteorológica	Calicata	Subfactor SM	Mes					
					En	Feb	Mr	Abr	May	Jn-Dic
Arbolado	bosque natural	Volcán Irazú	Guarumos	SM(d)	0,994	0,868	0,515	0,322	0,681	1
	bosque degradado		Llano Grande	SM(c)	0,995	0,893	0,608	0,452	0,742	1
Pasto (excepto potrero muy degradado)		Pacayas	Buena vista	SM(b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1
Cultivo (excepto brócoli 2)			Llano Grande	SM(a)	1	1	0,863	0,711	0,849	1
Pasto: potrero muy degradado										
Cultivo: brócoli 2										

Tabla 5.6. Estación meteorológica y calicata seleccionada y subfactor de humedad de suelo (SM) para cada mes para las cuatro situaciones presentes (a, b, c, d) en las parcelas muestreadas en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

En la representación gráfica de las cuatro situaciones presentes del subfactor C (Figura 5.8.) se observa el efecto del periodo seco en los meses entorno a abril. En estos meses el suelo no se encuentra en capacidad de campo por lo que al llover infiltra parte de la lluvia antes de comenzar la escorrentía, frente a los demás meses, en los que el suelo está en capacidad de campo o saturado.

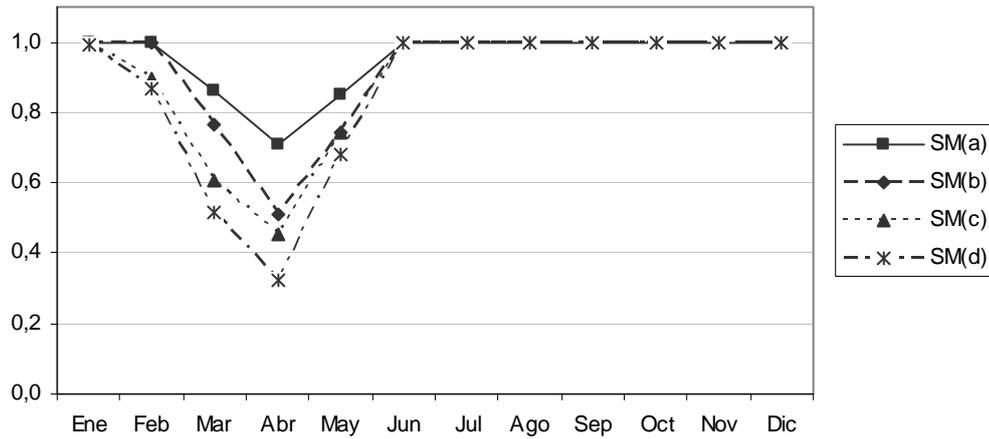


Figura 5. 8. Subfactor humedad del suelo (SM) para cada mes en las cuatro situaciones presentes en las parcelas.

5.2.2. Ratios de pérdida de suelo

Una vez expuestos los resultados de cada uno de los subfactores en el apartado anterior, 5.2.1. *Subfactores de los ratios de pérdida de suelo*, en la Tabla 5.7. se presentan los ratios de pérdida de suelo en capacidad de campo (SLR_1) y en época seca (SLR_2) según lo expuesto en metodología. La Figura 5.9. representa los valores SLR_1 y entre paréntesis aparece SLR_2 .

Tipo de cobertura y código de la parcela		SLR ₁	SLR ₂	
Arbolado	2	bosque natural	0,003	0,002
	20	bosque degradado	0,037	0,028
	12	aguacate joven	0,051	0,035
	14	aguacate maduro	0,003	0,002
Pasto	4	pasto de corta	0,012	0,008
	18	potrero carga normal	0,002	0,002
	1	potrero degradado	0,002	0,001
	19	potrero muy degradado	0,016	0,013
Cultivo ⁽¹⁾	17	papa 1	0,731	0,493
	16	papa 2	0,270	0,182
	9	papa 3	0,122	0,082
	11	papa 4	0,522	0,352
	10	zanahoria 1	0,990	0,668
	13	zanahoria 2	0,316	0,213
	15	zanahoria 3	0,051	0,035
	8	zanahoria 4	0,081	0,055
	5	brócoli 1	0,735	0,496
	3	brócoli 2	0,171	0,138
	6	brócoli 3	0,034	0,023
	7	brócoli 4	0,015	0,010

Tabla 5.7. Ratios de pérdida de suelo en capacidad de campo, SLR₁, y en época seca, SLR₂, de cada parcela (tipo de cobertura y código) muestreada en la cuenca del río Berrís, Costa Rica, 2007. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

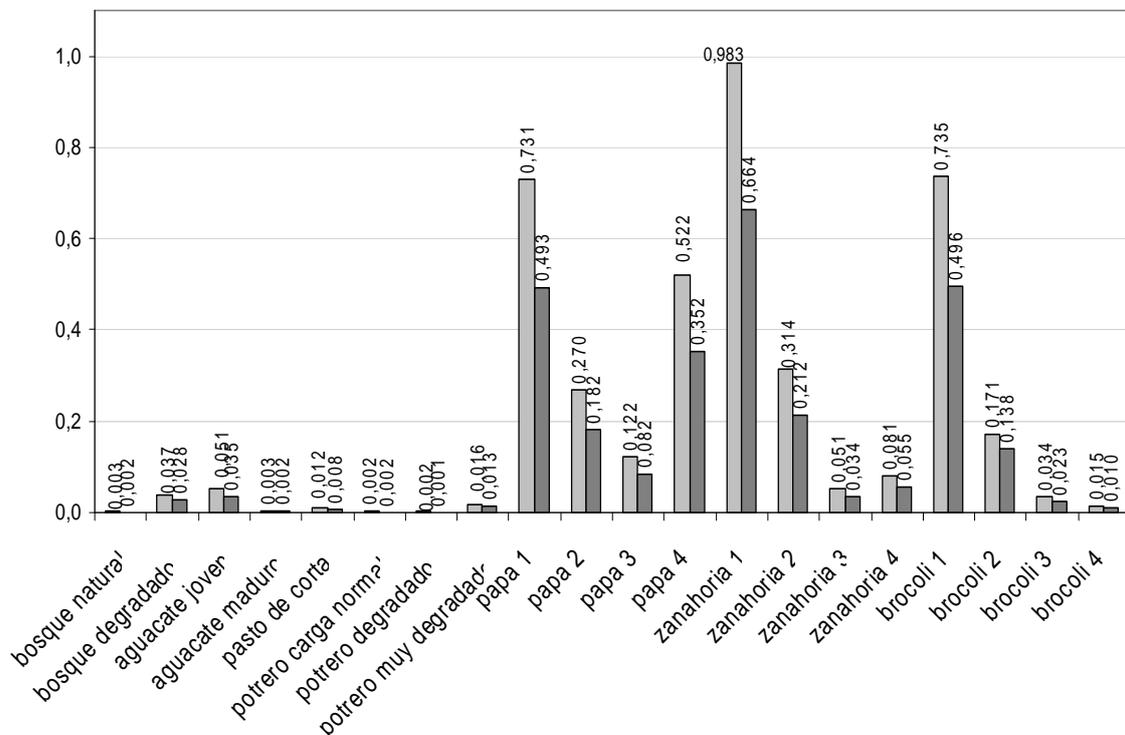


Figura 5.9. Ratios de pérdida de suelo en capacidad de campo, SLR₁ (primera barra), de pérdida de suelo cuando el suelo no está en capacidad de campo, SLR₂ (segunda barra), de cada parcela. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

En el Anexo VII.3. se presentan los SLR mensuales de cada parcela donde se observa que en todas las parcelas existe una disminución, más o menos pronunciada, de los valores de los ratios de pérdida de suelo en los primeros meses del año, coincidiendo con la época seca de precipitaciones, lo que refleja la influencia de la humedad del suelo o subfactor SM. En la Figura 5.10. se representan los ratios de pérdidas de suelo en las parcelas medidas.

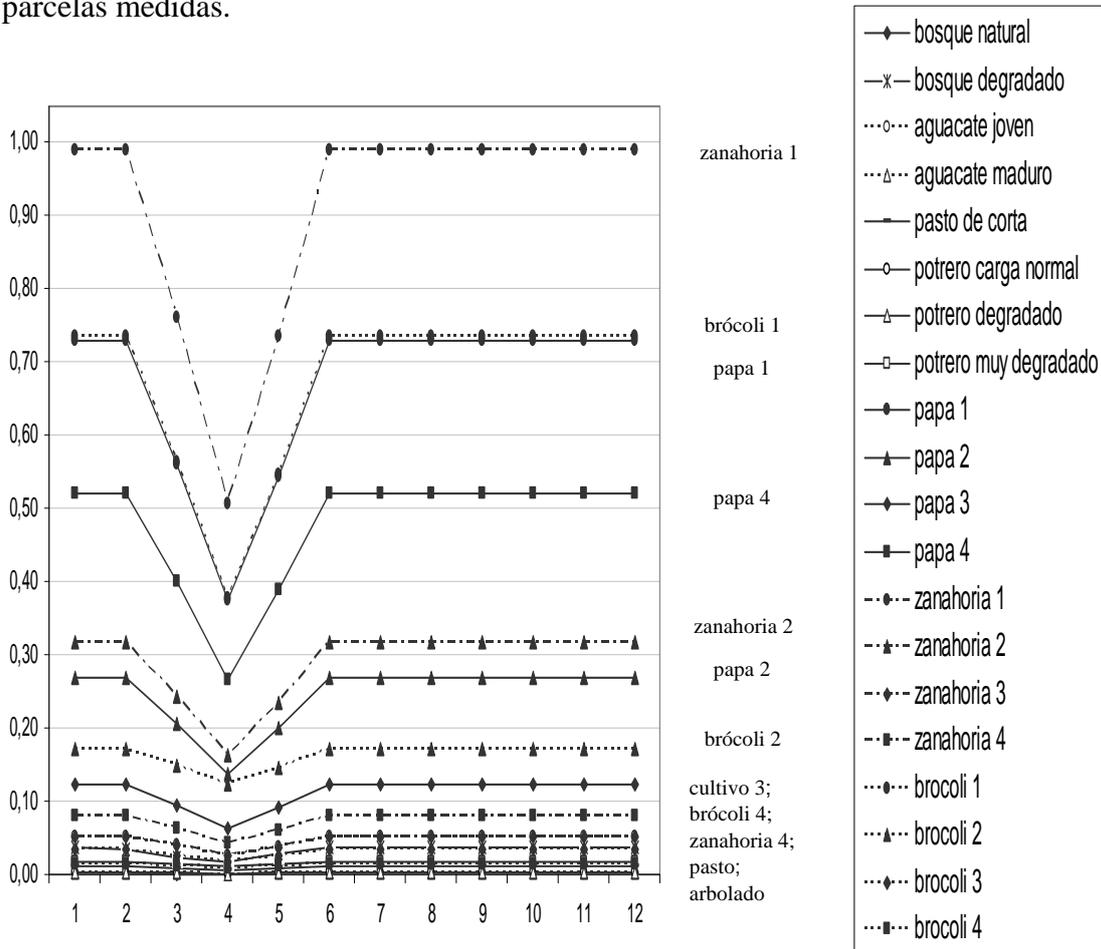


Figura 5.10. Ratios de pérdida de suelo de para cada mes (SLR_{mensual}) de cada parcela. Estados del crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras el arranque.

En la Figura 5.10. se observan tres agrupaciones de los valores de ratios de pérdidas de suelo según los tipos de cobertura de las parcelas:

1. Los *cultivos anuales recién sembrados o plantados* (estado 1) cuando la cobertura aérea y del suelo es nula con los valores de SLR mayores, entre 1 y 0,376; junto con el cultivo *de patata tras la cosecha* (estado 4), sin cobertura aérea y con restos en el suelo, con valores promedio algo superiores a 0,50.
2. Los cultivos anuales en crecimiento, aumentando su cobertura con valores de SLR entre 0,3164 y 0,1218, correspondientes a las parcelas de *cultivos tras el aporcado* (estado 2)

3. Las coberturas con valores de SLR inferiores a 0,1219: cultivo con plena cobertura (estado 3) y tras la cosecha con abundantes restos vegetales (estado 4 de zanahoria y brócoli); pasto; y arbóreas. Se añade la Figura 5.10. y 5.11. en la que se puede observar mejor la representación de los ratios de pérdidas de suelo para estas parcelas y las diferencias entre los valores de SLR de cada parcelas. Destacar que los valores menores de SLR son los de potrero en carga normal y potrero degradado, con 0,002, algo menor que el bosque natural y el aguacate maduro con 0,003.

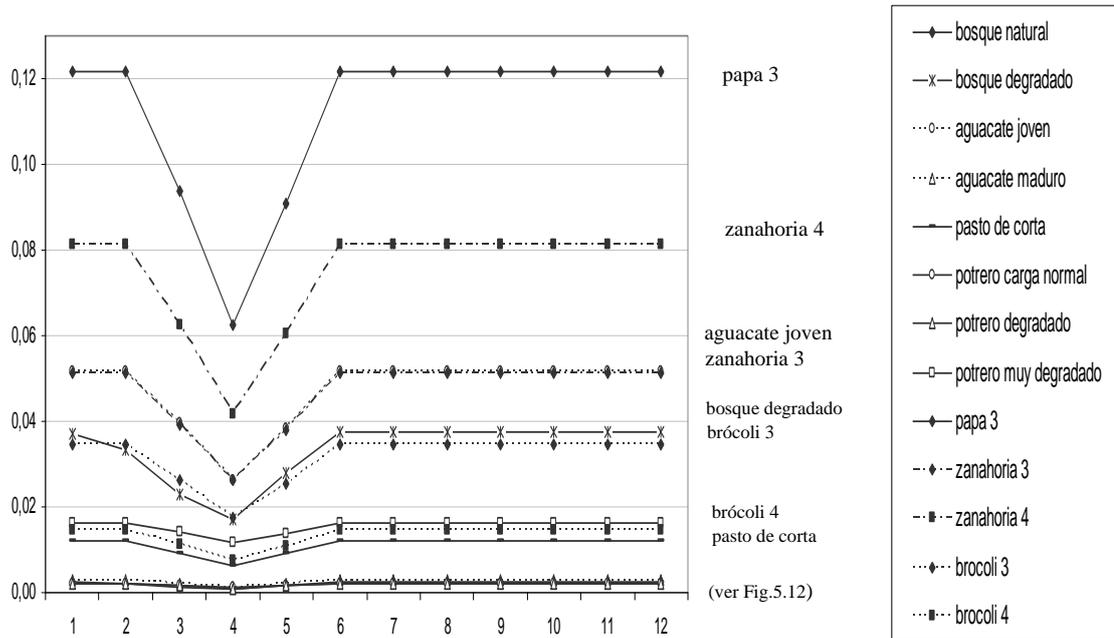


Figura 5.11. Ratios de pérdida de suelo de para cada mes (SLR_i) de las parcela de cobertura arbórea, pascícola y cultivos en plena cobertura (tipo 3) o tras la cosecha (tipo 4).

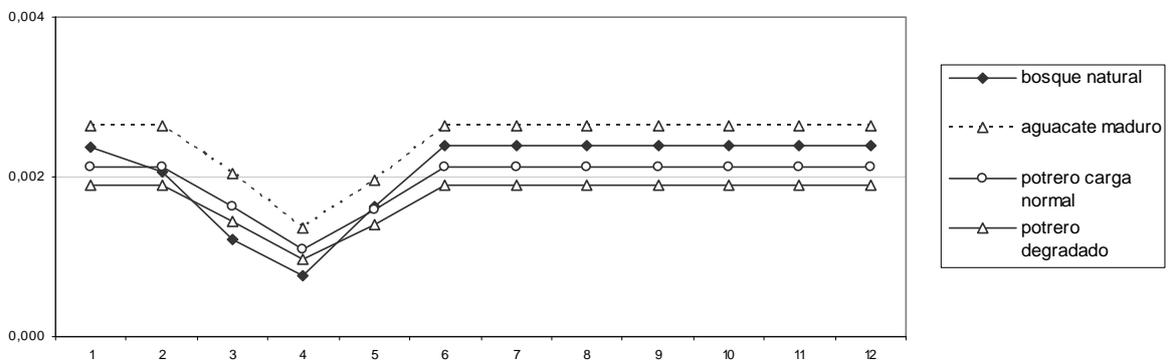


Figura 5.12. Ratios de pérdida de suelo de para cada mes (SLR_i) de las parcela de cobertura arbórea como dosel principal y potreros en carga normal y degradados.

5.2.3. Factores C

5.2.3.1. Cubierta invariable con el tiempo

Los factores vegetación, factores C, calculados para los tipos de uso o tipos de cubiertas invariable con el tiempo a lo largo de un año en la cuenca de estudio oscilan entre 0,003 y 0,037 (ver Tabla 5.8, complementada por la Figura 5.13). Las coberturas de bosque natural y árboles frutales tienen los factores C menores; el mayor valor lo alcanza el bosque degradado. Cabe destacar que el valor del factor C del pasto en carga normal y C del pasto degradado del mismo orden de magnitud que el factor C de bosque natural y de los árboles frutales.

Tipo de cobertura	Factor C
Bosque natural	0,003
Bosque degradado	0,037
Pasto de corta o pasto de siega	0,012
Potrero en carga normal	0,002
Potrero degradado	0,002
Potrero muy degradado	0,016
Árboles frutales	0,003

Tabla 5.8. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta invariable con el tiempo (arboladas; con pastos) en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

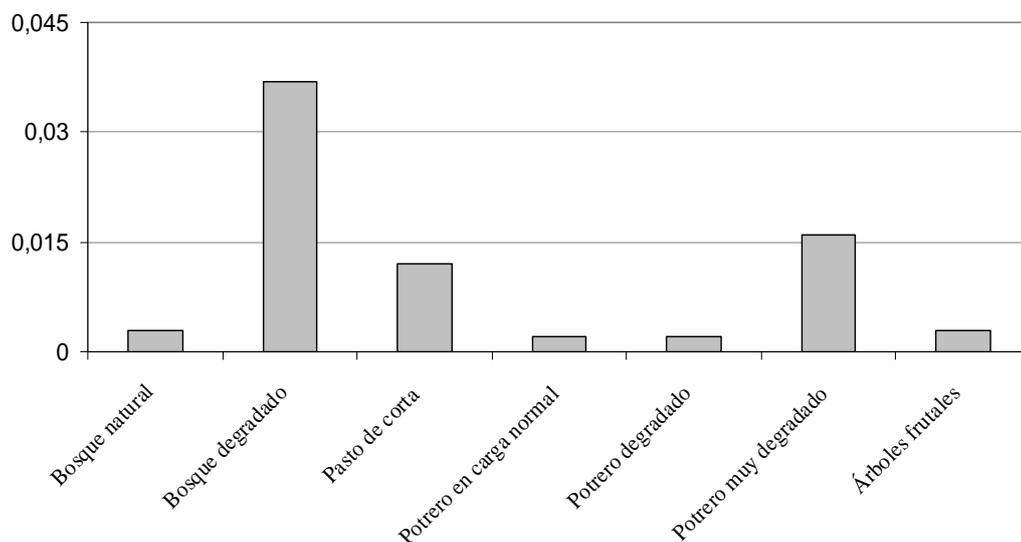


Figura 5.13. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta invariable con el tiempo (arboladas; con pastos) en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

Un valor del factor C de potrero o pasto de diente genérico, siguiendo la metodología usada en FAO (1989), se calcula ponderado los valores del factor C de los diferentes subtipos de potrero por la superficie que ocupan en la cuenca. Los porcentajes que ocupan los estados de carga normal, degradado y muy degradado en la cuenca de estudio son: 5%, 20% y 75% respectivamente (comunicación personal de Beatriz Molina, 2007). Así:

$$C_{\text{potrero}} = 5\% C_{\text{carga normal}} + 20\% C_{\text{degradado}} + 75\% C_{\text{muy degradado}} = 0,013$$

5.2.3.2. Cubierta variable con el tiempo

Los factores vegetación, factores C, de cada tipo de cubierta variable con el tiempo a lo largo de un año en la cuenca de estudio y las rotaciones propuestas en un futuro, según lo explicado en la metodología se presentan en la Tabla 5.9. que se complementa con la Figura 5.14. Se puede consultar más información sobre cada rotación en el apartado *Cálculo del factor C para cada cobertura: 4.3.4.3.2. Cobertura variable con el tiempo y el cálculo detallado en el Anexo VII.6.* Se observa que las rotaciones en la zona alta de la cuenca presentan menores valores en el factor C. Los factores C de las rotaciones futuras, variando los momentos de siembra de los cultivos según se ha explicado en el apartado de cálculo del factor C para cada cobertura: *4.3.4.3.2. Cubierta variable con el tiempo*, en todos los casos disminuyen con respecto a las rotaciones actuales.

Cultivo anual: tipo de rotación		Factor C actual	Factor C futuro
Zona alta de la cuenca	Papa - brócoli	0,26	0,19
	Papa - zanahoria	0,30	0,22
Zona baja de la cuenca	Papa - zanahoria - papa	0,39	0,31
	Papa - papa - brócoli	0,39	0,23
	Papa - zanahoria - brócoli	0,36	0,27

Tabla 5.9. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta variable con el tiempo (cultivos anuales en diferentes rotaciones) en la cuenca del río Berrís, comparando las rotaciones actuales con las alternativas futuras.

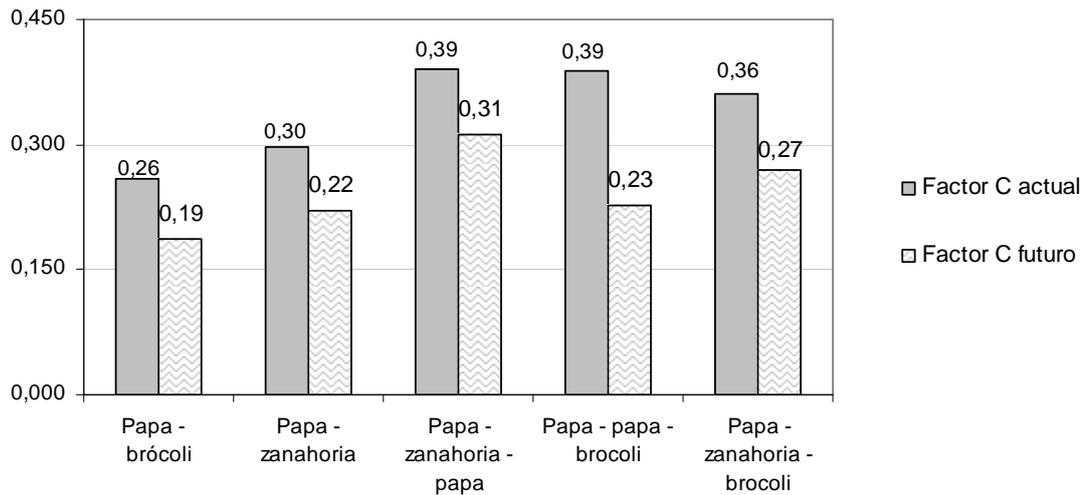


Figura 5.14. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta variable con el tiempo (cultivos anuales en diferentes rotaciones) en la cuenca del río Birrís, comparando las rotaciones actuales con las alternativas futuras.

Los resultados del factor C en todos los tipos de coberturas caracterizados se muestran en la Tabla 5.10, complementando así la Tabla 2.10 y 2.11 sobre los factores C utilizados en diferentes estudios en la cuenca de estudio.

Cobertura		Factor C
Bosque	Bosque natural	0,003
	Bosque degradado	0,037
Pastos	Pasto de corta o pasto de siega	0,012
	Potrero carga normal	0,002
	Potrero degradado	0,002
	Potrero muy degradado	0,016
	Potrero o pasto de diente	0,013
Cultivos permanentes	Árboles frutales	0,003
Cultivos anuales	Papa- brócoli	0,260
	Papa-zanahoria	0,300
	Papa-zanahoria-papa	0,390
	Papa-papa-brócoli	0,390
	Papa-zanahoria-brócoli	0,360

Tabla 5.10. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta caracterizados en la cuenca del río Birrís, Costa Rica, 2007.

6. DISCUSIÓN

El análisis del conflicto de uso en la cuenca del río BIRRÍS (Tabla 5.1) refleja que el desarrollo de la población se basa en una intensa producción agrícola y pascícola, como así lo muestra que el porcentaje de la superficie de la cuenca destinado a estos usos ronde el 68% (Marchamalo, 2004; ICE, 1999). Así mismo en el mapa de usos de la tierra en la cuenca del río BIRRÍS (Anexo II.5.) se aprecia la expansión de los cultivos y de los pastos. Cabe resaltar la importancia económica de la cuenca del río BIRRÍS para el país ya que genera el 60% de la producción de patata, alcanzando con sus sistemas agropecuarios una productividad financiera de 1.780US\$ ha/año, siendo la primera productividad de la cuenca del Río Reventazón (ICE, 1999).

En el mapa citado anteriormente también se observa que el bosque sólo se encuentra en aquellas áreas donde el uso agropecuario es inviable: en la parte alta de la cuenca, que coincide con el Parque Nacional del Volcán Irazú y Reserva Forestal de la Cordillera Volcánica Central, por ser espacio protegido; y en las franjas de ribera donde la pendiente imposibilita el cultivo y el acceso del ganado (Anexo I: foto 2). A pesar de la reducida extensión del bosque en la cuenca es de gran importancia conservarlo por su papel en la estabilización y protección del terreno. Así el estado de saturación de los suelos en la franja de ribera los hace más vulnerables frente a los eventos de precipitación, siendo más susceptibles de sufrir movimientos en masa (Marchamalo, 2004).

En el 90% de las parcelas medidas el factor que define la clase de capacidad de uso, y por tanto, el uso potencial, es la pendiente (Figura 5.3). El grado de la pendiente y su longitud influye de forma directamente proporcional en la velocidad y en el volumen de agua de escorrentía, así como en su poder erosivo (Cubero, 1996). Los otros factores limitantes son la pedregosidad y la erosión con menor relevancia (Figura 5.3). La pedregosidad de algunas parcelas indica que hay un alto contenido de piedras y rocas que interfieren en las labores de cultivo, en el crecimiento de raíces y en el movimiento del agua. La erosión se refiere a un alto daño causado a los suelos por la erosión acelerada o inducida, observable en campo mediante la observación de: pedestales (Anexo I: foto 10), raíces desnudas (Anexo I: foto 11), existencia de canales, terrazas, surcos, cárcavas (Anexo I: foto 12), movimientos en masa (Anexo I: foto 13 y 14) y la acumulación de sedimentos en el pie de pendientes y vías de desagüe (MAG y MIRENEM, 1995).

Debido a los factores limitantes expuestos anteriormente, la capacidad de uso de la tierra de las parcelas estudiadas es: V y VI, en un 21% y 79% respectivamente (Figura 5.2). Según describe MAG y MIRENEM (1995) las tierras bajo clase de capacidad de uso V presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes o plantaciones forestales, por lo cual su uso se debe restringir al pastoreo o al bosque natural. Las tierras ubicadas en la clase VI pueden ser utilizadas para la producción forestal o cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas. Sin embargo, algunas especies forestales como la Teca (*Tectona grandis* L.) y Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en plantaciones puras no son adecuadas para las pendientes de esta clase debido a que aceleran los procesos de erosión de suelos, por lo que se recomienda este tipo de uso sólo en relieves de moderadamente ondulados a ondulados (entre el 8 y el 30% de pendiente).

Del total de las parcelas el uso actual más abundante es el de cultivo anual, 63% (Figura 5.1), aunque según su capacidad de uso de la tierra el 79% del total de las parcelas debería ser cultivo permanente (Figura 5.2).

La situación actual en la cuenca da lugar a que, según la metodología usada, el 79% de las parcelas se encuentra bajo un uso actual inadecuado por sobreexplotación (Figura 5.4). Las parcelas tienen estos problemas de sobreexplotación por: la existencia de cultivos anuales en terrenos donde debería haber pastos o cultivos permanentes (Figura 5.4); y por la presencia de pasto en tierras donde debería haber cultivos permanentes. El factor limitante principal en el 86 % de las parcelas es la pendiente, y en el resto es la erosión sufrida y la combinación de la pendiente y la pedregosidad (Figura 5.4).

Es necesario prestar atención al sobreuso de las tierras ya que genera importantes problemas ambientales, sociales y económicos, al implicar en muchas ocasiones procesos degradativos irreversibles (Maldonado y Rodríguez, 1997, en Marchamalo, 2004). La sobreexplotación de las tierras se debe a que el uso de la tierra no se ha fundamentado en base a las limitaciones físicas y climáticas del terreno, o sea, basado en la capacidad de uso para producir en forma sostenida cultivos, pastos y bosque sin deterioro del suelo y por períodos prolongados de tiempo (Cubero, 1996). No obstante, la capacidad de uso no debe ser el único criterio de ordenamiento territorial, sino que también se deben considerar

aspectos económicos, ambientales y sociales (Maldonado y Rodríguez, 1997, en Marchamalo, 2004); así, debe tenderse a sistemas agrarios ambientalmente aceptables, económicamente viables y socialmente compatibles con la población local y la política nacional (Marchamalo, 2004).

La importancia de la cuenca del río Birrís a nivel estatal reside tanto en su producción agrícola y ganadera como en la producción de hidroelectricidad (CATIE, 2007). Simultáneamente presenta el problema de alta erosión y el transporte de sedimentos que afecta a ambas producciones. La tasa de erosión ha sido estimada por varios estudios, presentando en todos los casos valores promedio elevados, próximos a 50t/ha/año (ICE, 1999; Marchamalo, 2004; CATIE, 2003; Marchamalo, 2004; Marchamalo, 2007). Ante la necesidad evidente de medidas para la reducción de pérdidas de suelo se han realizado diferentes estudios para la estimación de las mismas, hasta el momento aplicando la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) como se detalla en el apartado 2.3.4. *Estudios de cobertura vegetal para estimar la erosión en Costa Rica.*

En el presente estudio el cálculo del factor C se realiza con la aplicación de la RUSLE en base a la formulación original, extraída de Renard *et al.* (1996), realizando la toma de datos en campo para el cálculo de C utilizando Microsoft Excel. Esto permite el análisis de cada subfactor previo al análisis del factor C en sí mismo. En otros estudios que han utilizado el modelo RUSLE junto con su aplicación informática (Antezana, 2001; Roldán, 2003; Chicharro, 2007) para la estimación de las pérdidas de suelo, muestran los factores C obtenidos del programa, pero no se visualizan las expresiones de cálculo de cada uno de los subfactores, pudiendo sólo consultarse sus valores en pantalla.

Los resultados del subfactor cubierta aérea, CC (Tabla 5.2 y Figura 5.5), muestran la influencia de la altura de caída de la gota de lluvia respecto a una misma fracción de cubierta cubierta. Según Morgan (1997), la altura de la vegetación es importante porque las gotas de agua que caen desde aproximadamente 7m pueden alcanzar más del 90 por ciento de su velocidad terminal, pudiendo aumentar su capacidad erosiva si aumentan de tamaño por coalescencia.

Observando los resultados para coberturas completas, entre el 85 y el 100%, cuando la altura de caída es baja (potreros: 0,2m) el valor de CC es de 0,05, mientras que para

alturas de caída altas (bosque natural o frutales: hasta 3m; aunque es menor que el límite indicado de 7m) CC es de 0,6 (Tabla 5.2). Esto indica que es más efectiva la cobertura más próxima al suelo para reducir la energía de la lluvia que golpea la superficie del mismo. Como se analiza más adelante, esto es la razón por la que el valor final del factor C en las coberturas de potrero es más bajo.

Los valores del subfactor cubierta del suelo, SC, demuestran que la cubierta vegetal en contacto con el suelo en las parcelas arbóreas o pascícolas es más eficiente en la protección del suelo que la de las parcelas agrícolas (Tabla 5.4 y Figura 5.6), disipando la energía del agua en movimiento y, en consecuencia, reduciendo su velocidad (Morgan, 1997). Además dichos valores (Tabla 5.4) son congruentes con que una cubierta de arbustos y árboles, una capa de hojas muertas o en descomposición, o una alfombra de pasto, son los agentes encargados de proteger el suelo, disipando el impacto de las gotas o el viento (Keller, 1983, citado en Gómez , 2002).

Excepcionalmente, los residuos de los cultivos que se dejan en el suelo tras la cosecha (Anexo VII.4.: ficha 12, 16 y 20) tienen más peso en la reducción relativa de SC que en las coberturas arbóreas o pascícolas (Tabla 5.4 y Figura 5.6). Esto se debe principalmente a que la efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión, que está caracterizada por el coeficiente b, es mayor en los cultivos que en el resto de las coberturas. Esto se entiende bien si se imaginan dos laderas de iguales características cuyas coberturas son: una forestal y otra agrícola. En la primera, al existir una cubierta vegetal en contacto con el suelo, el efecto de la cobertura del suelo en la reducción del valor de SC es menor comparativamente que este efecto en parcelas agrícolas. En la parcela agrícola, al no existir una cubierta previa, los restos de la cosecha influirán proporcionalmente más en la reducción de SC. Los restos que se dejan tras la cosecha tienen un efecto protector neto a pesar de que no tienen anclaje de raíz al suelo y son fácilmente movilizables por fuertes lluvias.

Las parcelas medidas presentan valores de rugosidad variables (Tabla 5.5) aunque el factor de rugosidad, SR, presenta poca variabilidad y valores altos en todos los casos (Tabla 5.5 y Figura 5.7). Observando los datos medidos en campo de rugosidad en todas las parcelas (Anexo VII.1.) no se puede deducir para este estudio que el nivel de rugosidad de las diferentes formaciones vegetales dependa, sobre todo, de la morfología y densidad

de las plantas, así como de su altura en relación con el calado del flujo (Morgan, 1997). Los cultivos de zanahoria (Anexo VII.1.) muestran una rugosidad homogénea en toda la duración de la rotación, sin embargo para los cultivos de patata y brócoli en los estados de plena cobertura la rugosidad es la menor.

La influencia de la humedad precedente en el suelo en el factor C es mayor en las parcelas localizadas en la parte alta de la cuenca donde el período en que el suelo se encuentra en capacidad de campo es menor, así será mayor el período en el que el suelo infiltre y consecuentemente disminuya la escorrentía y por lo tanto la erosión. Esto demuestra la variabilidad dentro de una misma cuenca de pequeñas dimensiones, 4800 ha, y, como cita Renard *et al.* (1997), la necesidad de ajustar para cada tipo de suelo el subfactor humedad de suelo.

Los resultados obtenidos de SLR mensuales de los diferentes estados de cultivo (Figura 5.9) demuestran cómo la pérdida potencial de suelo en los cultivos agrícolas varía según su estado de desarrollo y el porcentaje de suelo desnudo expuesto a la acción erosiva (Morgan, 1997).

En el desarrollo del cultivo, desde el estado de la siembra o la plantación hasta llegar al crecimiento máximo, su cobertura aumenta disminuyendo los ratios de pérdida de suelo, SLR (Tabla 5.7 y Figura 5.9). Consecuentemente, los cultivos muestran tener una función protectora estacional, lo que justifica la ordenación temporal de los usos agrícolas, denominado en la cuenca de estudio como calendarización de los cultivos, como son el ejemplo de las rotaciones propuestas para el futuro (Tabla 4. 16; Tabla 5.9 y Figura 5.15)

Los resultados obtenidos de SLR tras la cosecha muestran la influencia del modo en que ésta se realiza (Tabla 5.7 y Figura 5.9) y el porcentaje de cubierta de suelo restante (Tabla 5.4). El cultivo de brócoli presenta el menor valor de SLR, seguido de la zanahoria y la patata. En los dos primeros cultivos se deja un alto porcentaje de restos tras la cosecha (Anexo VII.4.: ficha 16 y 20), 84% y 50% respectivamente. En el caso de la patata antes de la cosecha se aplica un herbicida que actúa sobre la cobertura aérea dejando los tallos secos y con aspecto pajizo (Anexo VII.4.: ficha 12), por lo que tras la cosecha el porcentaje de restos en el suelo es mucho menor que en los otros cultivos (12%), lo que redundará en el

valor más elevado de SLR. En consecuencia se recomienda la aplicación de medidas que sustituyan el uso de los herbicidas en la fase de arranque.

Por otro lado, la perturbación en el terreno es menor en el brócoli porque en la cosecha se cortan las plantas en vez de arrancarlas, como ocurre en la zanahoria y en la patata. Esto se considera en el subfactor de uso previo de la tierra, subfactor PLU, que además, está influenciado por la cantidad de restos superficiales y subsuperficiales y por la cantidad de raíces muertas y vivas (Renard *et al.*, 1997).

Las fases de siembra y plantación, tras la preparación del suelo o labranza, son las más vulnerables en el ciclo de cultivo (Tabla 5.7, Figura 5.9 y Figura 5.10). En este sentido el ICE (1999) afirma que la pérdida de suelo por erosión hídrica en esta cuenca radica, principalmente, en el sistema de labranza. Éste consiste, generalmente, en el uso del arado de discos seguido del rotavator lo que destruye la estructura del suelo, con la pulverización excesiva de la capa arable y la compactación de la capa subyacente. Con el fin de reemplazar el arado de discos y el rotavator en la zona, se recomienda el uso del arado de cincel o el palín mecánico, que son instrumentos de labranza vertical que alteran menos el suelo y favorecen la infiltración, disminuyendo la escorrentía.

Los factores C calculados en este estudio son, hasta la fecha, los únicos basados en datos recogidos en campo para aplicar la RUSLE en Costa Rica. En estudios anteriores desarrollados en esta misma cuenca (FAO, 1989; ICE, 1999; Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003; Marchamalo, 2004; Marchamalo 2007) se utilizaron tablas adaptadas a partir de las de USLE (Wischmeier y Smith, 1978).

El modelo USLE está calibrado a partir de la información recogida en campo durante los años 1930-1950 en cuarenta y siete localidades en veinticuatro estados de EEUU, en condiciones climáticas, edafológicas y topográficas diferentes a las de Costa Rica. Por ello, Sotcking (1987) citado en Marchamalo (2004), indica que la USLE no puede ser empleada para estimaciones precisas en el trópico. Las tasas de erosión estimadas en Costa Rica empleando la USLE están sobreestimadas en varios estudios (Varhrson y Cervantes, 1991 en Marchamalo, 2004).

En relación con el párrafo anterior, en los resultados del factor C agrícola las rotaciones actuales de los cultivos anuales en la cuenca de estudio presentan valores del factor C, máximos de 0,4 (Tabla 5.9), menores que los considerados en otros estudios (FAO, 1989; Saborío, 2002; Marchamalo, 2004). En la rotación de papa-zanahoria C es menor que la mitad del valor usado en FAO, 1989. Así se refleja que las actividades agrícolas son importantes en la producción de pérdidas de suelo pero puede que se sobreestime con el uso de elevados factores C asignados en estudios anteriores. Ramírez (2007) concluye que en la cuenca de su estudio la erosión que proviene de las actividades agrícolas no es la principal causa de erosión; otros factores a considerar son los mamíferos excavadores, como las taltuzas, la inadecuada planificación de carreteras, los movimientos en masa naturales y las explotaciones de áridos.

El factor C varía de forma importante entre los terrenos con cubierta agrícola y el resto de coberturas vegetales (Tabla 5.10). Los cultivos son los que presentan los valores más altos, y dentro de ellos, la rotación de patata-zanahoria-patata y patata-patata-brócoli con valores de 0,39. Para la vegetación forestal o con pastos, el valor más alto se obtiene en bosque degradado donde alcanza un valor de 0,037. Se deduce de esto, que las coberturas más efectivas en el control de la erosión y la sedimentación en la cuenca del río Birrís son las arbóreas y pascícolas con un adecuado aprovechamiento. Así, desde el punto de vista de la protección contra la erosión, se recomienda favorecer la sustitución de usos agrícolas por usos forestales y pascícolas en la medida de lo posible.

Los pastos de diente o potreros proporcionan una protección eficiente del suelo cuando son utilizados con una carga adecuada de ganado (Tabla 5.8). El factor C calculado para los potreros muy degradados (Tabla 5.7) coincide con los valores de otros estudios basados en la USLE (FAO, 1989; ICE, 1999; Saborío, 2002; Marchamalo, 2004. Tabla 2.10 y 2.11). Sin embargo, el factor C calculado para los potreros en carga normal y los degradados (Tabla 5.7) está muy por debajo de los valores de los estudios mencionados y es del mismo orden de magnitud que el bosque natural. El factor C hallado para bosque natural es 0,003 y coincidente con los estudios mencionados. Este resultado verifica lo citado por Morgan (1997) sobre que la cubierta forestal con sotobosque o con materia orgánica es la más efectiva en el control de la erosión pero una densa cubierta herbácea puede tener casi la misma eficiencia y se obtiene más rápidamente. No obstante, la cobertura arbórea, más que la herbácea, contribuye a incrementar la infiltración en el suelo

con lo que disminuye la escorrentía superficial con la consecuente disminución del potencial de erosión hídrica (Ríos, 2007). En las cubiertas forestales el incremento de la infiltración puede ayudar a mejorar la recarga de los acuíferos y al mantenimiento del caudal base de los ríos, sobre todo en la época de estiaje (Marchamalo, 2004). Además, la cobertura arbórea provee distintos servicios ambientales entre los cuales se destacan la protección de la cuenca y la regulación del ciclo hidrológico (CATIE, 2007). En conjunto se verifica la importancia del bosque tanto por la protección del suelo contra las pérdidas de suelo como por su respuesta hidrológica.

Al analizar los subfactores de C de la parcelas de bosque y de potrero, se observa que los valores del subfactor de cubierta en contacto con el suelo, SC, son muy bajos (Tabla 5.4). Esto es lo que más influye en que ambas coberturas tomen valores del factor C tan bajos (Tabla 5.8). Este hecho, verifica que el subfactor de cubierta del suelo, SC, sea el más importante para la determinación de los valores SLR y, por consiguiente, del factor C (Renard *et al.*, 1997).

Los factores C para el pasto de corta y el pasto de diente o potrero toman valores aproximadamente iguales (Tabla 5.8). No obstante el pasto de corta proporciona importantes servicios hidrológicos, como son su efecto favorable global sobre las variables hidrológicas reduciendo la escorrentía en un 73 % y la erosión en un 57% respecto del potrero tradicional (Marchamalo, 2004) y favoreciendo las condiciones hidrológicas de los suelos dándoles mayor capacidad de infiltración (ICE, 1999). En base a esta información, se recomienda la utilización de forrajes de corta.

Los árboles frutales presentan un factor C bajo (Tabla 5.8) aunque es un uso poco extendido entre los cultivos permanentes en la cuenca de estudio a pesar de su promoción por parte de las instituciones oficiales (comunicación personal de Beatriz Molina, 2007). Además, según resultados de Marchamalo (2004) los frutales de altura permiten la reducción de la erosión por salpicadura con respecto al cultivo hortícola, con periodos de suelo descubierto, en un 97% y la escorrentía en un 21%, ya que cesan los impactos debidos a la mecanización agrícola y aumenta y mejora la estabilidad de la cobertura, pudiendo llegar a revertir el proceso de degradación. Por todo esto, se recomienda extender el uso de árboles frutales en la cuenca.

Las propuestas de nuevas rotaciones de cultivo resultan mejores que los regímenes actuales (Tabla 5.9 y Figura 5.15). En las propuestas a futuro en los meses de mayor erosividad pluvial la cubierta vegetal del cultivo es la de mayor protección, correspondiente al menor SLR (Tabla 5.7 y Figura 5.9), es decir, cultivos en descanso que tras la cosecha se deja gran porcentaje superficie cubierta de restos en contacto con el suelo. Cabe destacar que estos meses de descanso son los que los productores estarían dispuestos a adoptar (comunicación personal de Beatriz Molina, 2007). Estas propuestas a futuro muestran la importancia de una adecuada ordenación temporal o calendarización de las prácticas agrícolas para la disminución del impacto erosivo de los períodos críticos del año, coincidiendo con las recomendaciones de varios autores (Goujon *et al.*, 1968, en Marchamalo, 2004)).

Estas rotaciones permiten una ordenación del territorio sin cambio de uso, sino con ciertas limitaciones temporales y con la aplicación de nuevas tecnologías de cultivo conservacionistas. Los cambios en los sistemas de producción deben ser financiados, para lo cual se va a aplicar un esquema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la cuenca del río Birrís. Estos fondos, provenientes de una tarifa ambiental del agua y de la hidroelectricidad, permitirán compensar a los agricultores que conserven el suelo y agua. Las alternativas tecnológicas para la reducción de la erosión ya están siendo aplicadas en zonas de la cuenca gracias al esfuerzo conjunto de la UMCRE-MAG-JASEC, como se explica en el apartado 3.2.2.3. *Sistemas de producción.*

7. CONCLUSIONES

La cuenca del río Birrís se encuentra muy alterada por el desarrollo de actividades agropecuarias con gran relevancia socioeconómica, aunque este desarrollo carece de una planificación del uso de la tierra de acuerdo con su capacidad de uso.

El papel de los bosques existentes en la cuenca, reducidos a los márgenes quebrados de los ríos y a las áreas protegidas, es fundamental y de ahí la importancia de su conservación y el fomento de la superficie forestal arbolada.

La metodología oficial de Costa Rica para la determinación de la capacidad de uso de la tierra sigue siendo vigente pero se recomienda su modificación para integrar aspectos ambientales sobre la conservación de suelos y aguas y que a la vez sean compatibles social y económicamente.

El trabajo desarrollado en base al modelo RUSLE, con la toma de datos en campo, es una novedad para el cálculo de los subfactores y del factor vegetación, C en Costa Rica.

Este estudio permite disponer de valores del factor C, más precisos que los obtenidos en estudios anteriores aplicando la USLE, para evaluar el papel de la cobertura vegetal en los procesos de erosión.

Debido a los múltiples problemas que genera la erosión en la cuenca de estudio, deben implementarse planes de manejo integrado que contribuyan a controlar este fenómeno mediante prácticas tecnológicas agrarias sostenibles.

Se ha evaluado la vulnerabilidad de las distintas fases en el ciclo de los cultivos, lo que hace posible identificar los momentos críticos para una ordenación temporal o calendarización de los usos agrarios de la cuenca. Esta información permitirá con una asignación eficiente de fondos bajo un esquema de PSA.

Los valores de factor C calculados permiten la simulación con mayor precisión del efecto de los escenarios de los usos del suelo futuros en los procesos de erosión y sedimentación, así como su uso en modelos de cambio climático para adoptar estrategias de gestión.

Los planes de manejo que se deriven de la aplicación de PSA deben incluir las siguientes propuestas respecto a las cubiertas vegetales, cuyos valores de C se han discutido en el apartado 6. *Discusión*:

- Sustituir cultivos anuales por usos forestales y pascícolas en aquellas zonas donde no sean compatibles con su capacidad de uso de la tierra.
- Favorecer los usos correspondientes a las capacidades de uso de la tierra V y VI son respectivamente: pastos o bosque natural; y cultivos permanentes o plantaciones forestales.
- Favorecer los pastos de corta frente a los de diente.
- En cultivos permanentes bajo cuya cubierta no exista vegetación, favorecer la instalación de especies vegetales de menor porte en contacto con el suelo.
- En cultivos agrícolas, aumentar la cubierta en contacto con el suelo en las etapas críticas de la fase de cultivo, procurando que la cobertura sea completa en la época de máxima erosividad de lluvia.
- En relación con lo anterior, evitar el uso de herbicidas que reduzcan la cubierta vegetal antes de la cosecha de la patata.
- Ordenar temporalmente los cultivos agrícolas, de manera que en los momentos de mayor erosividad pluvial la cubierta en contacto con el suelo sea máxima.

Estas propuestas deberán ser avaladas con un estudio socioeconómico y con un estudio de áreas prioritarias según su producción de erosión y sedimentación, donde se indicaría qué zonas deberían ser las primeras en llevar a cabo las propuestas.

Para la mejora futura de los valores del factor C sería de interés realizar investigaciones sobre la determinación del subfactor uso previo de la tierra, la rugosidad de la superficie y el coeficiente de efectividad de la cubierta del suelo para reducir la erosión. Además es importante el seguimiento continuo de las precipitaciones para la determinación de la erosividad de la lluvia, analizando los posibles efectos en los fenómenos de erosión y sedimentación de las cuencas tropicales.

ANEXOS

Anexo I. Registro fotográfico.....	111
Anexo II. Mapas.....	122
Anexo III. Encuesta sobre coberturas.....	127
Anexo IV. Datos generales de las parcelas.....	128
Anexo V. Localización de las parcelas	
V. 1. Datos de localización de las parcelas.....	130
V. 2. Mapa de localización de las parcelas en la cuenca del río Birrís.....	131
Anexo VI. Capacidad de uso de la tierra de las parcelas muestreadas	
VI.1. Cuadro para la evaluación de la capacidad de uso de la tierra.....	138
VI.2. Datos y determinación de la capacidad de uso de la tierra.....	139
Anexo VII. Cobertura de las parcelas muestreadas	
VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas.....	142
VII.2. Subfactor de humedad de suelo (SM)	147
VII.3. Ratios de pérdida de suelo mensuales (SLR).....	148
VII.4. Ficha de cada parcela: datos, subfactores, SLR, vista general	
Ficha 1: Bosque natural.....	149
Ficha 2: Bosque degradado.....	150
Ficha 3: Aguacate joven.....	151
Ficha 4: Aguacate maduro.....	152
Ficha 5: Pasto de corta.....	153
Ficha 6: Potrero carga normal.....	154
Ficha 7: Potrero degradado.....	155
Ficha 8: Potrero muy degradado.....	156
Ficha 9: Papa 1: recién sembrada.....	157
Ficha 10: Papa 2: tras el aporcado.....	158
Ficha 11: Papa 3: plena cobertura.....	159
Ficha 12: Papa 4: tras la cosecha.....	160
Ficha 13: Zanahoria 1: recién sembrada.....	161
Ficha 14: Zanahoria 2: tras el aporcado.....	162
Ficha 15: Zanahoria 3: plena cobertura.....	163
Ficha 16: Zanahoria 4: tras la cosecha.....	164
Ficha 17: Brócoli 1: recién plantado.....	165
Ficha 18: Brócoli 2: tras el aporcado.....	166
Ficha 19: Brócoli 3: plena cobertura.....	167
Ficha 20: Brócoli 4: tras la cosecha.....	168
VII.5. Erosividades de la lluvia.....	169
VII.6. Factor C en las rotaciones.....	170

NOTA: Todas las fotografías que aparecen en los anexos del presente trabajo han sido tomadas por la autora.

ANEXO I: Registro fotográfico

Todas las fotografías que aparecen en el presente trabajo han sido tomadas por la autora.



Foto 1: Bosque, potreros o pastos de diente y cultivos anuales en la zona alta de la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buena Vista.



Foto 2: Bosque confinado a la franja de ribera en el río Birrís en la comunidad de Buena Vista.



Foto 3: Potrero con formaciones de escalonamientos característico por sobrepastoreo en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buena Vista (parcela n°1: potrero degradado).



Foto 4: Ganado vacuno pastando. Formaciones de escalonamiento en la zona alta de la cuenca del río Birrís.



Foto 5: Cultivos anuales en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Guadalupe (al fondo a la derecha parcela n° 3: brócoli tras el aporcado).



Foto 6: Cultivo anual en pendiente muy elevada en la cuenca del río Birrís.



Foto 7: Cultivo anual en una parcela de tamaño muy reducido en la cuenca del río Birrís.



Foto 8: Cultivos anuales en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buena Vista (a la izquierda la parcela n° 10: zanahoria recién sembrada; en frente parcela n° 11: papa tras la cosecha).



Foto 9: Indicadores de erosión: desaparición de horizontes superficiales (parcela nº10: zanahoria recién sembrada)



Foto 9a y 9b: Suelo oscuro sin lavado (izquierda) y aparición de suelo anaranjado por lavado de partículas (derecha).



Foto 9c Perfil reconstruido con las muestras extraídas con el barreno helicoidal. Se observa el espesor del horizonte superficial de color más oscuro.



Foto 10: Indicadores de erosión: pedestales formados en cultivo de papa en la zona alta de la cuenca del río Birrís.



Foto 11: Indicadores de erosión: árboles con raíces expuestas en cultivo de papa en la zona alta de la cuenca del río Birrís.



Foto 12: Indicadores de erosión: principio de cárcava en cultivo de brócoli en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buenos Aires (parcela n° 6: brócoli recién sembrado).



Foto13: Deslizamiento en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Pacayas.



Foto 14: Deslizamiento en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buena Vista.



Foto 15: Finca MONCAL en la cuenca del río Birrís, en la comunidad de Buena Vista. Finca modelo conservacionista con: cultivos, biodigestor, lombricultura, pastos de corta, ganado semiestabulado y reciclaje de residuos.



Foto 16: Instalación de un biodigestor en la cuenca del río Birrís.



Foto 17: Lombricultura en la finca MONCAL.



Foto 18: Pasto de corta en la Finca MONCAL (parcela n° 4: pasto de corta).



Foto 19: Trituración del pasto de corta previa a la alimentación del ganado semiestabulado en la finca MONCAL.



Foto 20: Ganado semiestabulado en la finca MONCAL.

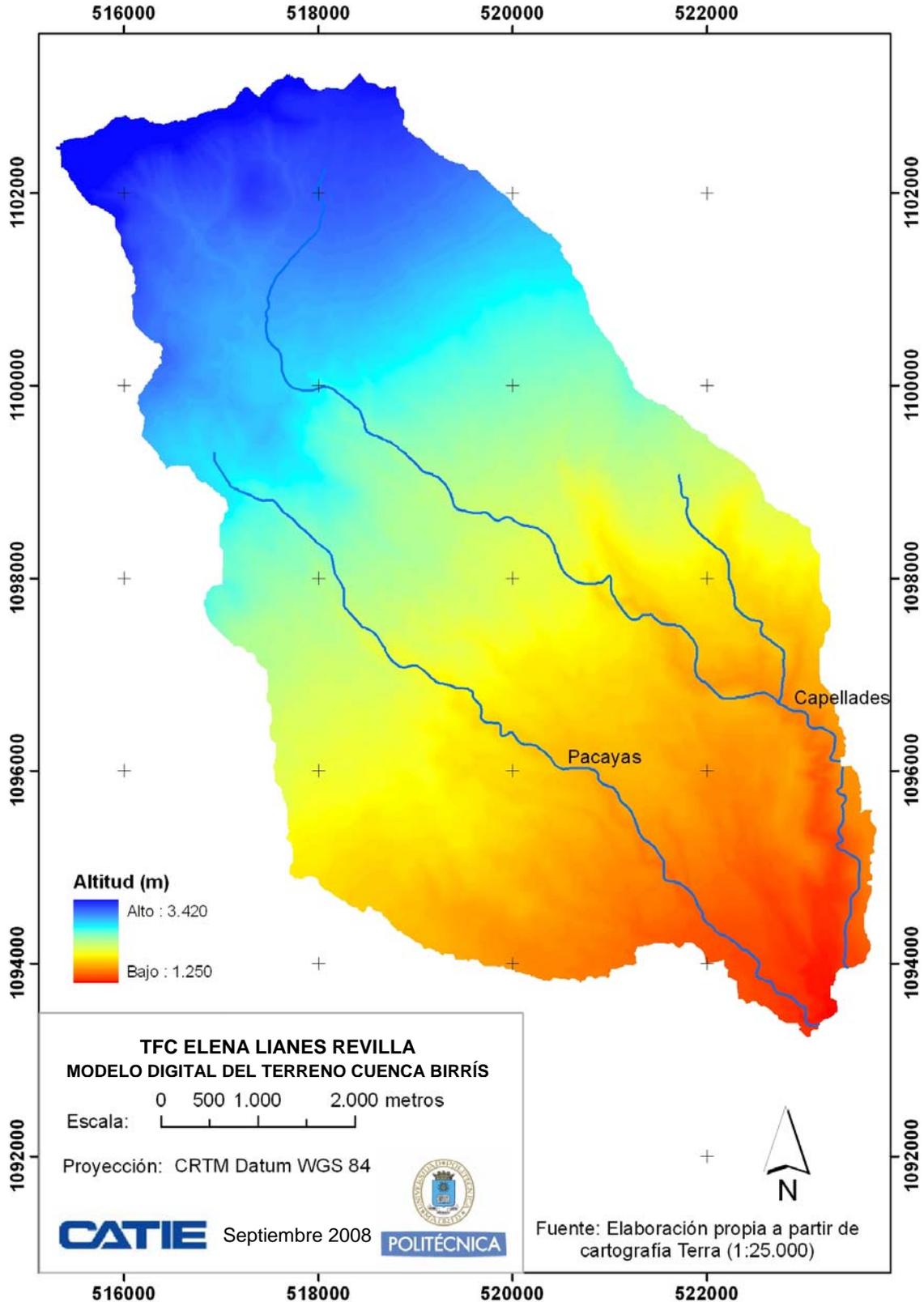


Foto 21: Arado de cincel prestado por el ICE a los agricultores de la cuenca del río Birrís.

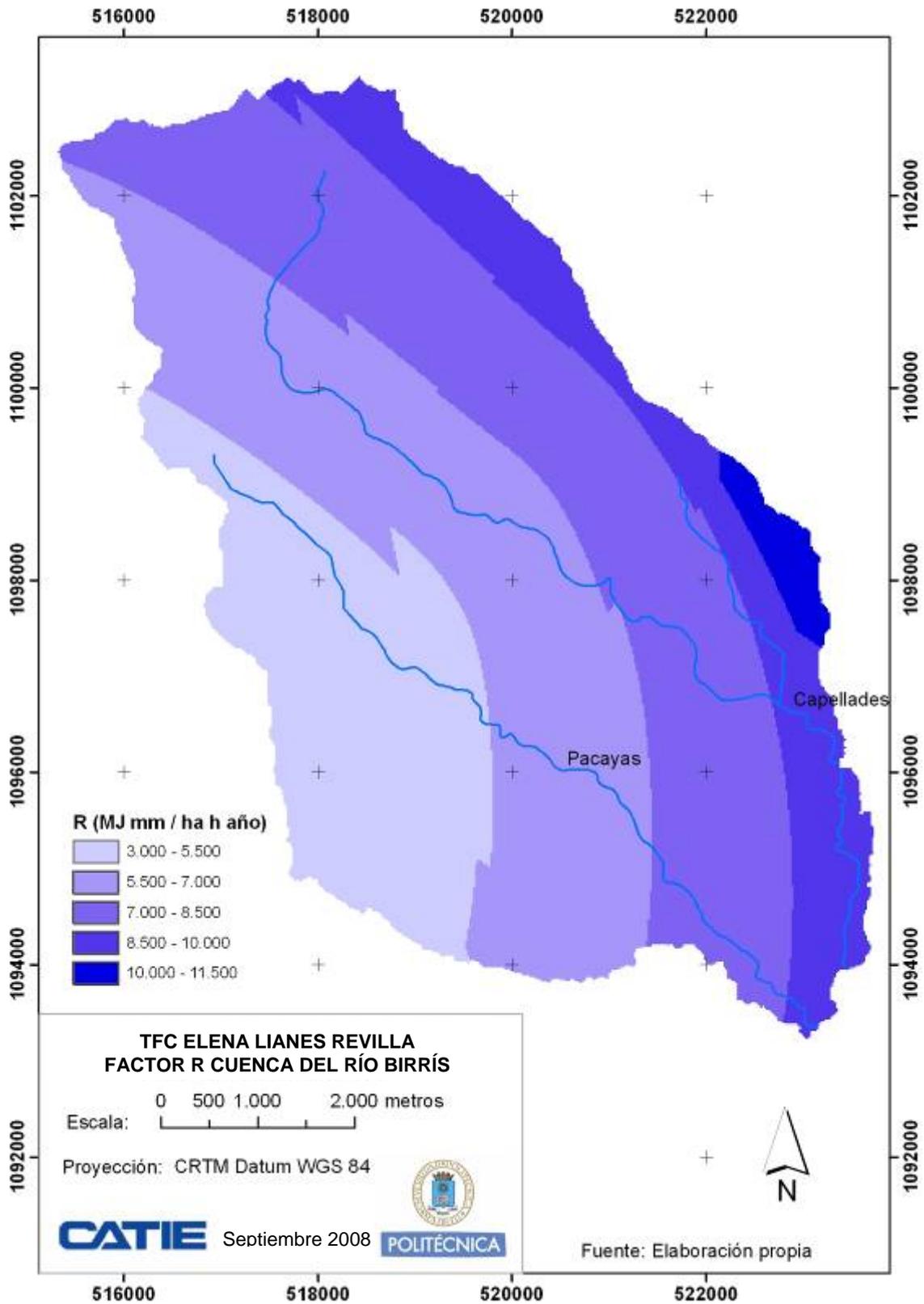
ANEXO II. MAPAS

Los mapas del presente anexo han sido elaborados en el marco del proyecto CATIE-UPM *Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio de caso de la cuenca del río Birrís.*

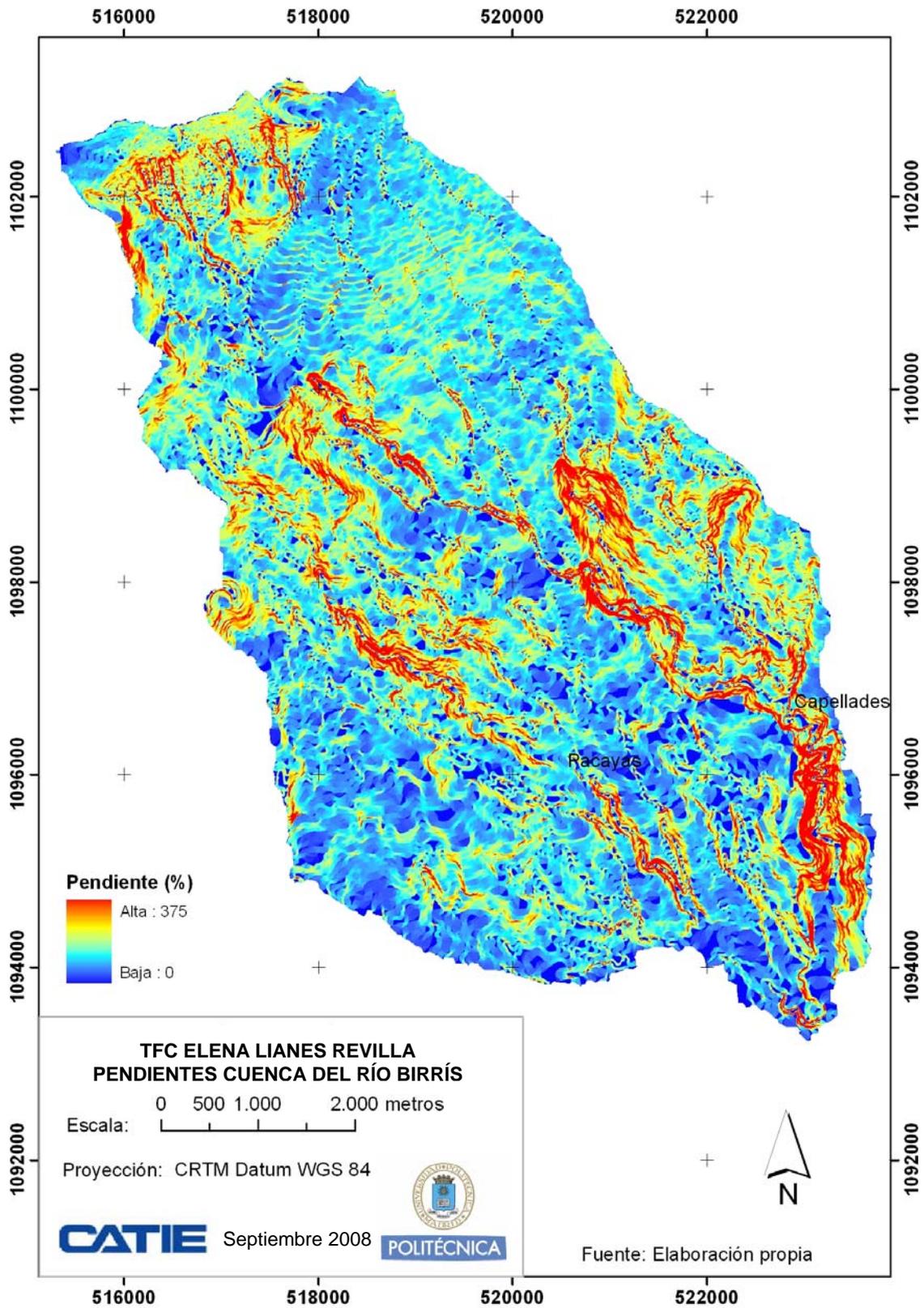
Anexo II. 1. Mapa de altitudes



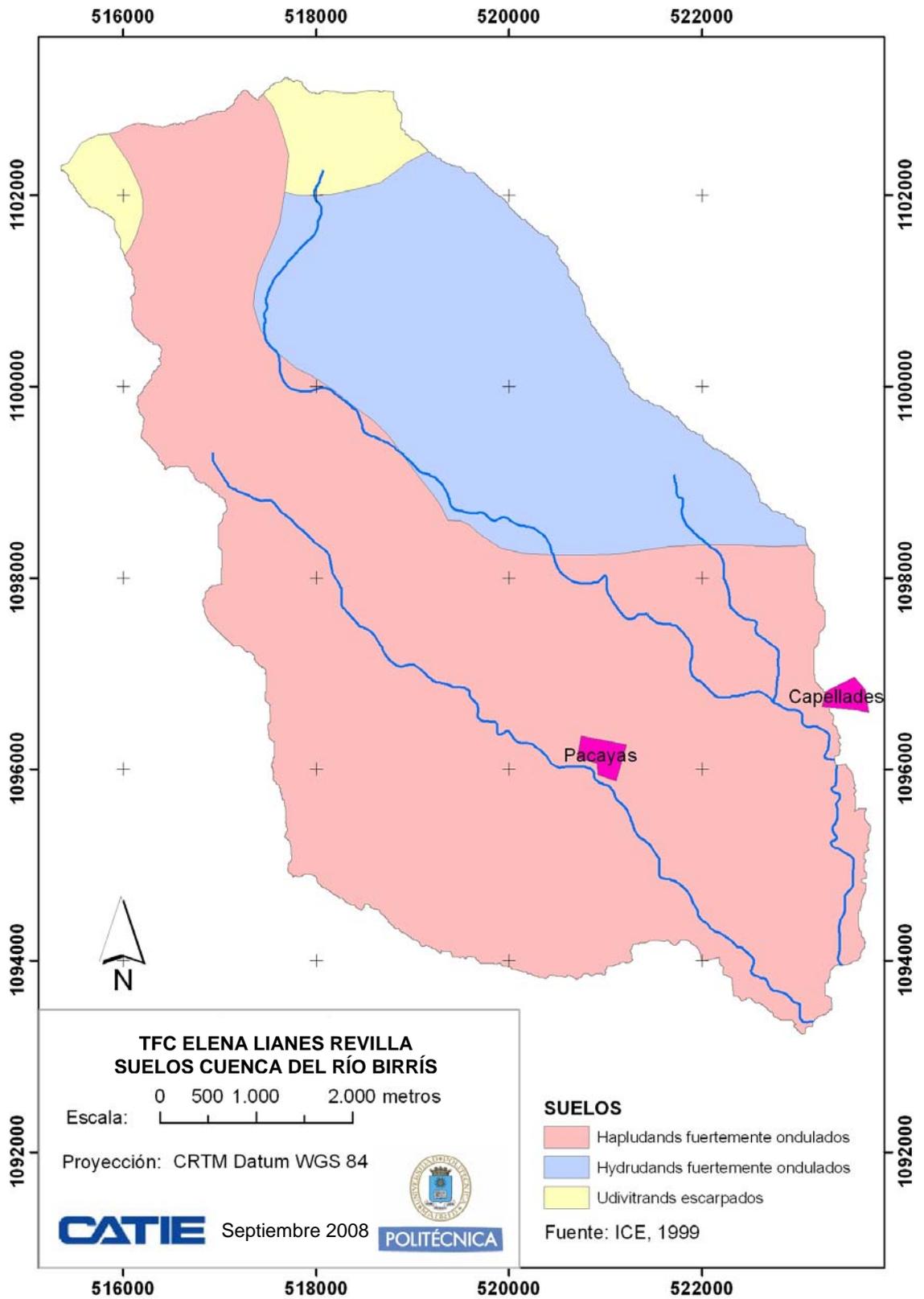
Anexo II.2. Mapa de erosividad de la lluvia



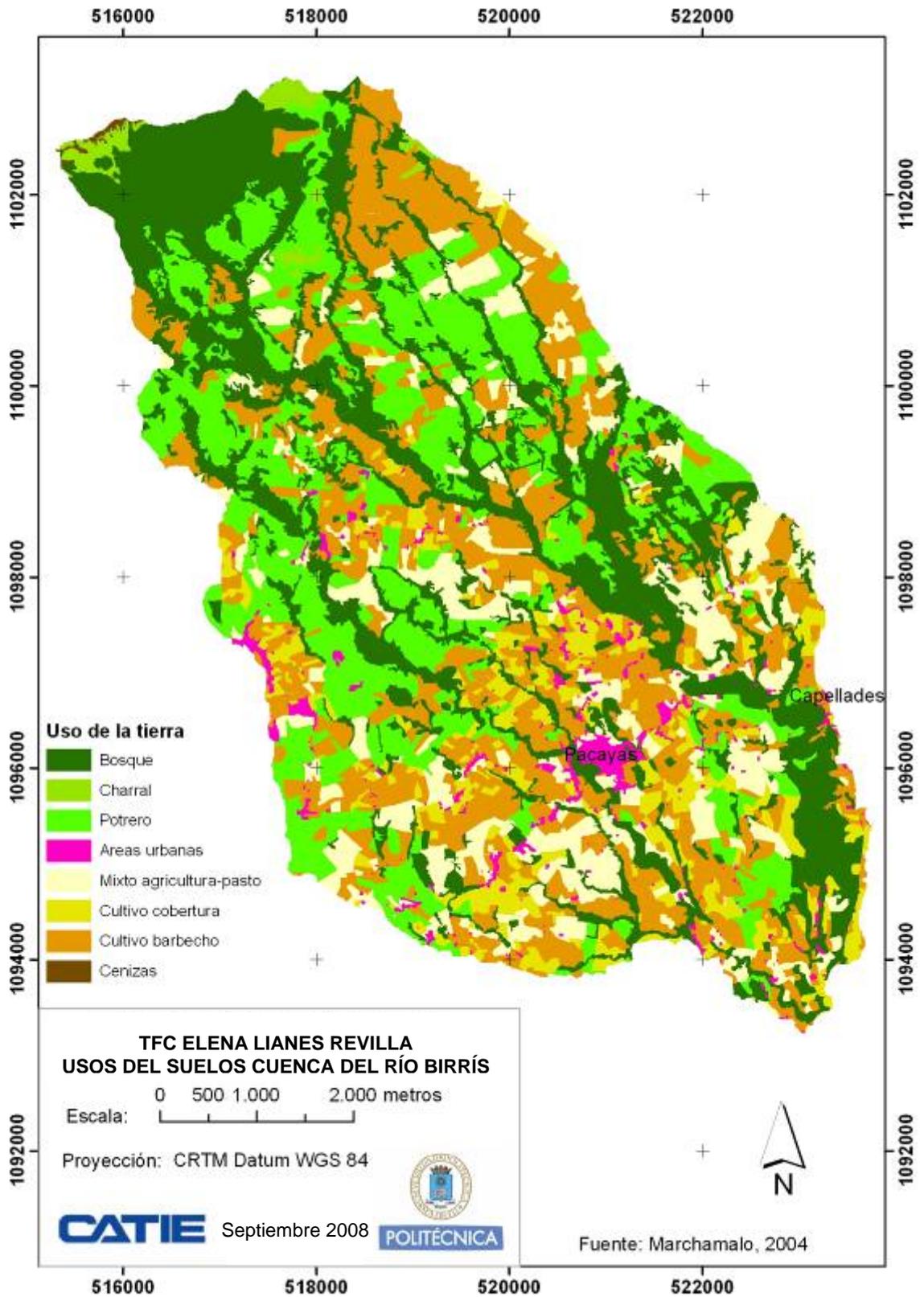
Anexo II.3. Mapa de pendientes



Anexo II.4. Mapa de suelos



ANEXO II.5. Mapa de usos de la tierra



ANEXO III. ENCUESTA SOBRE COBERTURAS

ENCUESTA SOBRE COBERTURAS

Nº: ___/___

Uso:

Municipio:

Dueño:

Tf:

Encuestado:

Ocupación:

Tf:

-Cultivador: dueño/alquilador

-Ocupación anterior finca:

-Otras fincas del dueño: si/no

¿dónde?

¿uso?

1-. LOCALIZACIÓN

Ubicación (GPS)	
Altitud	

2- CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

Profundidad suelo(cm) (=s1)				
Horizontes(cm)				

Erosión		Profundidad efectiva	Textura		Pedregosidad	Fertilidad	Toxicidad Salinidad
Pendiente (%)	Erosión sufrida		Suelo (0-30 cm)	Subsuelo (> 30 cm)			
e1	e2	s1	s2	s2	s3	s4	s5,s6

Drenaje		Zona de vida	Per. Seco	Neblina	Viento	Clase capacidad de uso
Drenaje	Riesgo inundación					
d1	d2	c1	c2	c3	c4	

3- COBERTURA

F _c (tanto por 1)					
H(m)					
S _p (%)					
Penetrómetro					
Rugosidad(cm)					

CROQUIS LOCALIZACION PARCELA (por detrás)

REGISTRO DE FOTOS:

ANEXO IV. DATOS GENERALES DE LAS PARCELAS (parcela 1 a la 10)

Nº	Fecha (1)	Uso (2)	Municipio	Dueño	Tf	Encuestado	Ocupación	Tf	Cultivador	Uso anterior (3)	Otras fincas	Municipio'	Uso'
1	30_7	Potrero d	Buena Vista	Daniel Montero	x	x	x	x	x	X	x	x	x
2	3_8	Bosque natural	Prusia	Minae	x	x	x	x	x	X	x	x	x
3	14_8	Brócoli 2	Guadalupe	Evelio Gómez	5367647	Evelio Gómez	Dueño y cultivador	5367647	Dueño y empleados	Potrero (30)	si	San Pablo	Agricultura
3_a	14_8		Guadalupe	Guido Masis	5366402/7903	Guido Masis	Dueño y cultivador	5366402/7903	Dueño y empleados	Potrero y agricultura	si	Oreamuno	Potrero
3_b	14_8		Llano Grande	Pablo Gómez	8583399	Pablo Gómez	Dueño y cultivador	8583399	Dueño y empleados	X	no		
4	14_8	Pasto de corta	Buena Vista	Ricardo Moreno	3521026	Uvaldo y R. Moreno	Dueño y cultivador	3521026	Uvaldo y R. Moreno	papa muy degradado (7)	no		
5	15_8	Brócoli 1	Buenos Aires	Vermón Martín	x	Isidro Bermúdez	Cultivador	x	Isidro Bermúdez	Agricultur a	si	Charcalillos, Guadalupe	Ganadería, agricultura
6	15_8	Brócoli 3	Buenos Aires	Vermón Martín	x	Isidro Bermúdez	Cultivador	x	Isidro Bermúdez	Agricultur a	si	Charcalillos, Guadalupe	Ganadería, agricultura
7	15_8	Brócoli 4	Buenos Aires	Vermón Martín	x	Isidro Bermúdez	Cultivador	x	Isidro Bermúdez	Agricultur a	si	Charcalillos, Guadalupe	Ganadería, agricultura
8	15_8	Zanahoria 4	Buenos Aires	Juan Morales	5344947	Minor Morales	Hijo y cultivador	5344815	Dueño y empleados	potrero(40)	no		
9	16_8	Papa 3	Buena Vista	Edison Serrano	x	x	x	x	x	X	x	x	x
10	16_8	Zanahoria 1	Buena Vista	Javier Montenegro	x	Juan	Cultivador	x	Dueño y empleados	Potrero	Si	Buena Vista	Potrero, agricultura

(1) Fecha: indica el día y mes del año 2007 en que se tomaron los datos de campo

(2) Uso: potrero: n: carga normal; d:degradado;md: muy degradado; cultivos 1: recién sembrado o plantado; 2: tras el aporcado; 3: plena cobertura; 4.: tras el arranque.

(3) Los números entre paréntesis se refieren a los años que hace que se cambio de uso

ANEXO IV. DATOS GENERALES DE LAS PARCELAS (parcela 11 a la 20)

Nº	Fecha (1)	Uso (2)	Municipio	Dueño	Tf	Encuestado	Ocupación	Tf	Cultivador	Uso anterior (3)	Otras fincas	Municipio'	Uso'
11	16_8	Papa 4	Buena Vista	Papa 4	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	16_8	Aguacate, zapallo	Buena Vista	Luis Quiros Chacón	x	Luis Quiros Chacón	Dueño y cultivador	x	Dueño y empleados	Potrero	si	Buena Vista	Potrero, agricultura
13	16_8	Zanahoria 2	Buena Vista	Carlo Magno Gutiérrez	x	Javier Montenegro (padre)	Vecino	x	Empleado	x	x	x	x
14	16_8	Aguacate 2	Buena Vista	Enrique Loaisa Brenes	x	Dueño	No	x	Dueño	x	no		
15	17_8	Zanahoria 3	Buena Vista	Mario Quiros Chacón	x	Luis	Cultivador	x	Empleados	Potrero	no		
16	17_8	Papa 2	Buena Vista	Javier Montenegro	x	x	x	x	Dueño y empleados	x	si	Buena Vista	Potrero, agricultura
17	17_8	Papa 1	Buena Vista	Roger	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	11_9	Potrero n	Buenos Aires	Minor Aguilar	5344293/3692818	Minor Aguilar	Dueño y ganadero	5344293/3692818	Dueño	Agricultura (10).	no		
19	11_9	Potrero md	Guadalupe	Martín Montero	x	Dueño	Dueño, ganadero y cultivador	x	Dueño	Rotación brócoli-coliflor/potrero	si	Buenos Aires, Guaramos	Ganadería, agricultura
20	13_9	Bosque degradado	Finca Pozo Amarillo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

(1) Fecha: indica el día y mes del año 2007 en que se tomaron los datos de campo

(2) Uso: potrero: n: carga normal; d:degradado;md: muy degradado; cultivos 1: recién sembrado o plantado; 2: tras el aporcado; 3: plena cobertura; 4.: tras el arranque.

(3) Los números entre paréntesis se refieren a los años que hace que se cambio de uso

ANEXO V. LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS

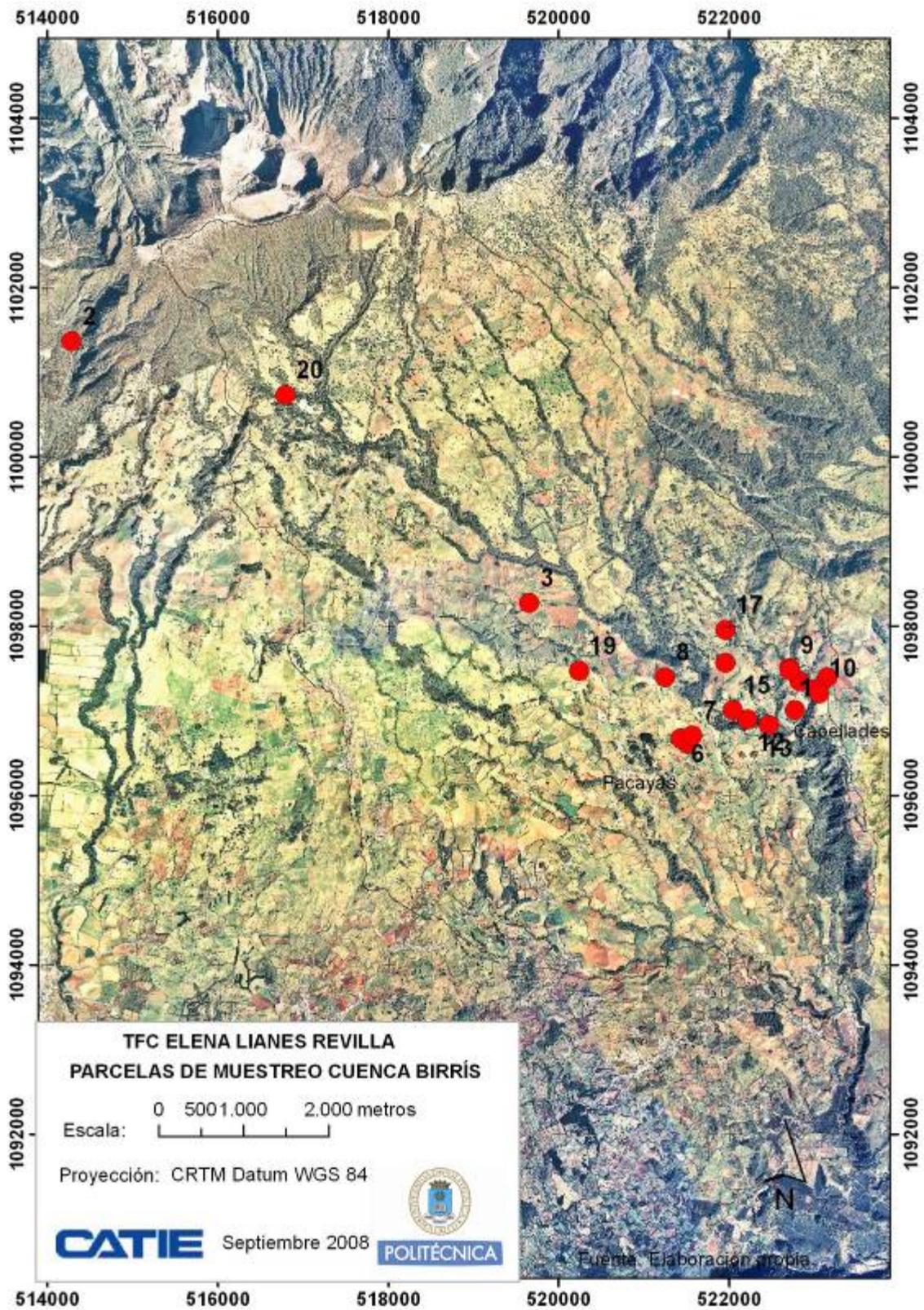
Anexo V.1. Datos de localización de las parcelas

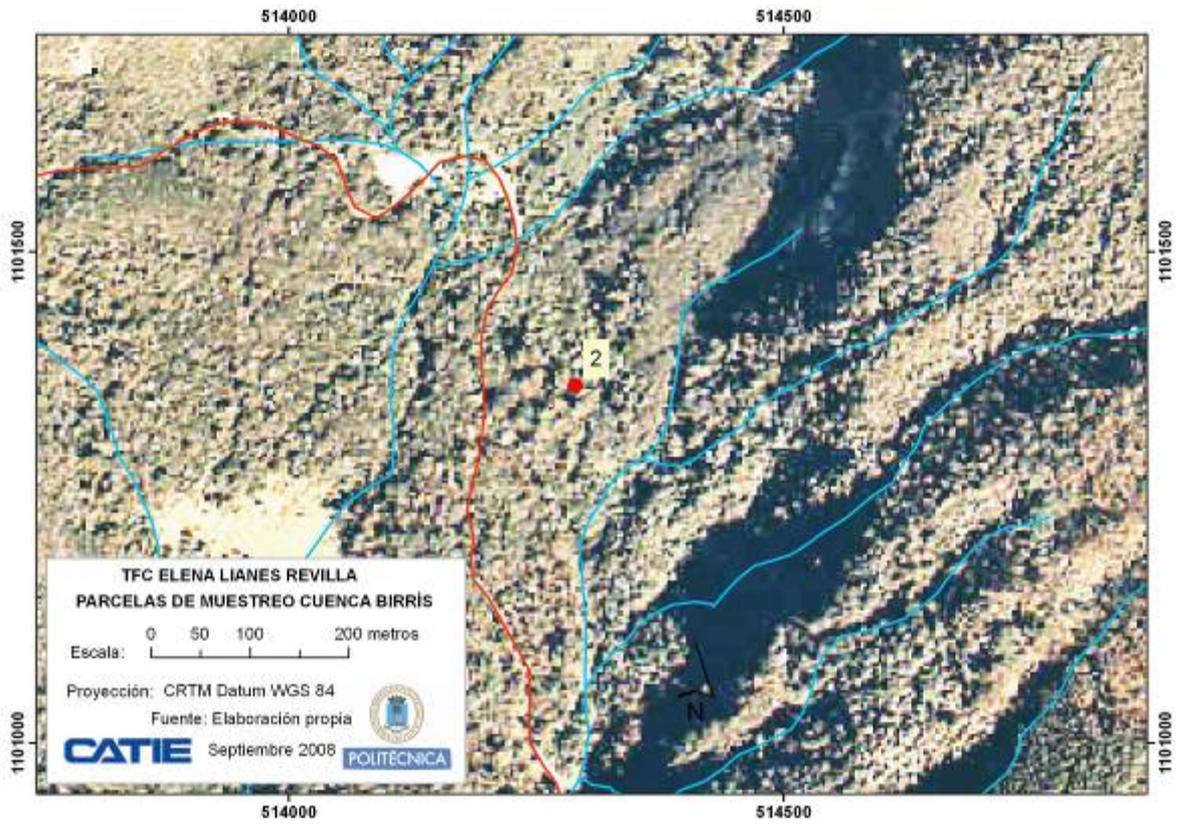
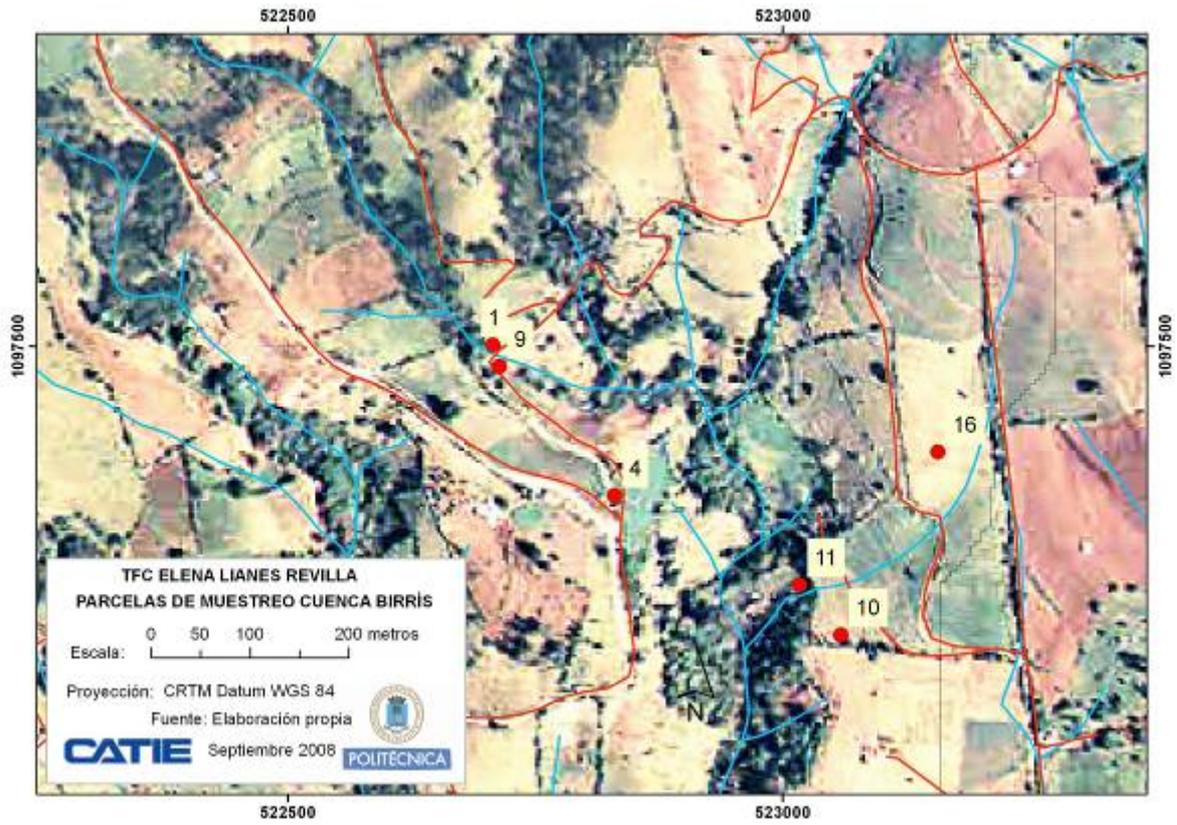
Parcelas muestreadas en la cuenca del río Berrís, Costa Rica: cobertura (tipo y código o número de estadillo), altitud y coordenadas geográficas medidas en campo y transformadas a coordenadas CRTM 98

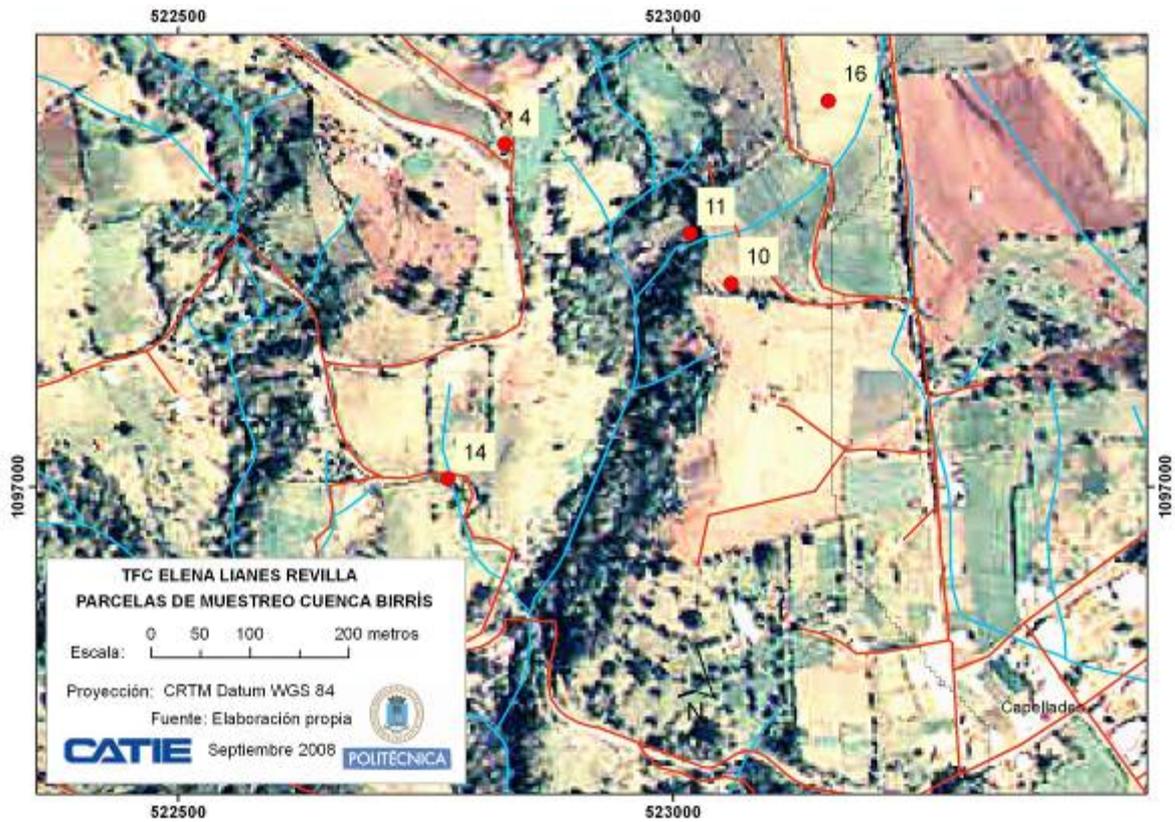
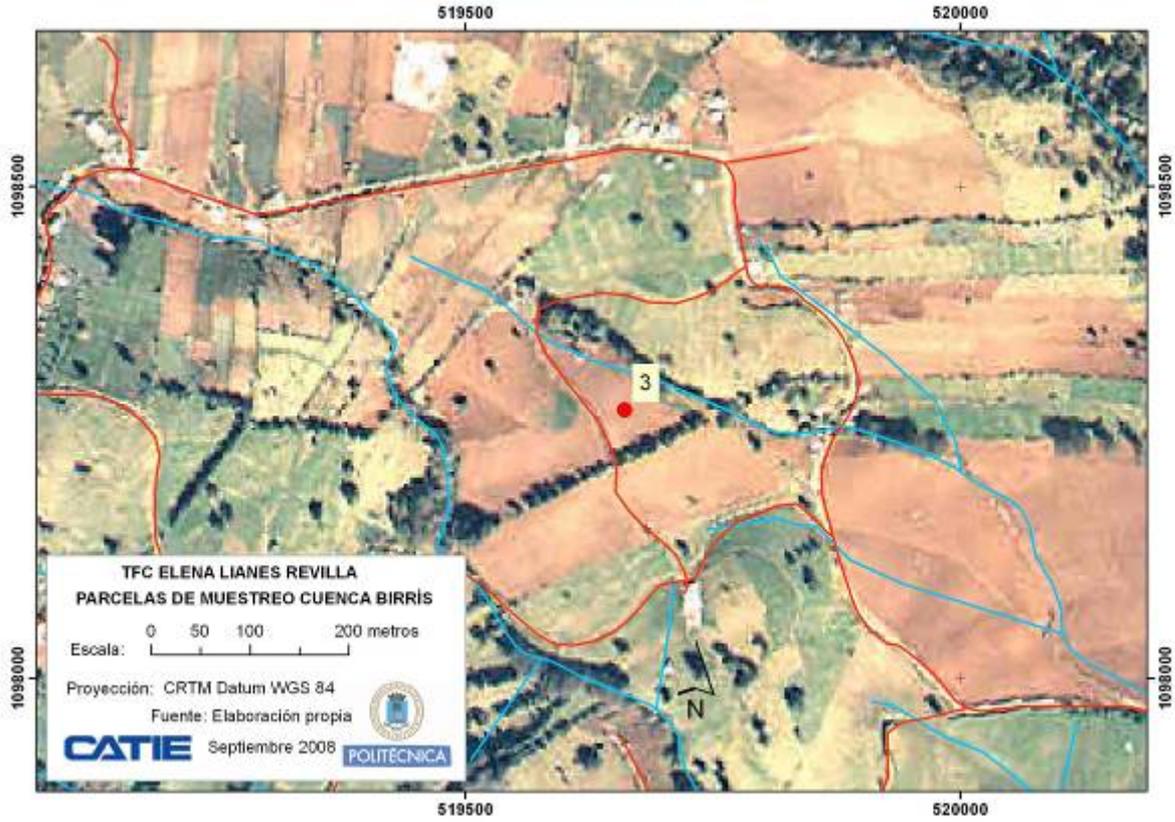
Cobertura		Altitud (m)	Coord. Geográficas		Coord. CRTM 98		
			N	O	N	E	
Arbolado	2	bosque natural	2800	9,96477	83,8716	1101364	514290
	20	bosque degradado	2974	9,95905	83,8487	1100732	516799
	12	aguacate joven	1719	9,92431	83,7993	1096895	522214
	14	aguacate maduro	1680	9,92533	83,7942	1097008	522773
Pasto	4	pasto de corta	1772	9,92842	83,7937	1097349	522830
	18	potrero carga normal	2006	9,93037	83,812	1097564	521959
	1	potrero degradado	1797	9,92978	83,7948	1097502	522707
	19	potrero muy degradado	2077	9,9295	83,8173	1097467	520242
Cultivo (*)	17	papa 1	1974	9,93387	83,8016	1097951	521959
	16	papa 2	1768	9,92881	83,7907	1097393	523157
	9	papa 3	1792	9,9296	83,7947	1097480	522714
	11	papa 4	1755	9,92759	83,792	1097258	523017
	10	zanahoria 1	1760	9,92713	83,7916	1097207	523059
	13	zanahoria 2	1687	9,92371	83,797	1096828	522470
	15	zanahoria 3	1725	9,92531	83,8008	1097005	522048
	8	zanahoria 4	1921	9,92882	83,8081	1097393	521252
	5	brócoli 1	1803	9,92172	83,8057	1096608	521518
	3	brócoli 2	2239	9,93679	83,8226	1098273	519661
	6	brócoli 3	1799	9,9223	83,8064	1096672	521434
7	brócoli 4	1803	9,92261	83,8052	1096706	521572	

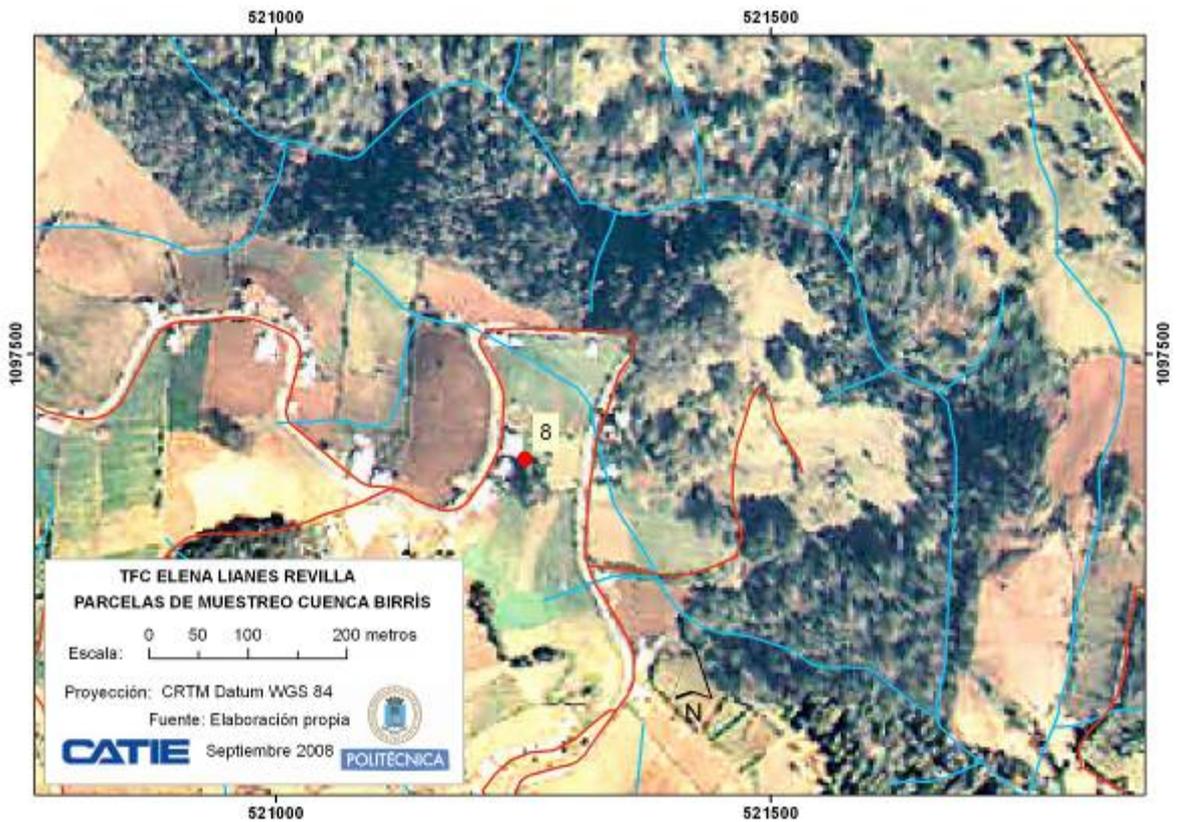
(*) En las parcelas de cultivo se consideran cuatro situaciones de crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras la cosecha

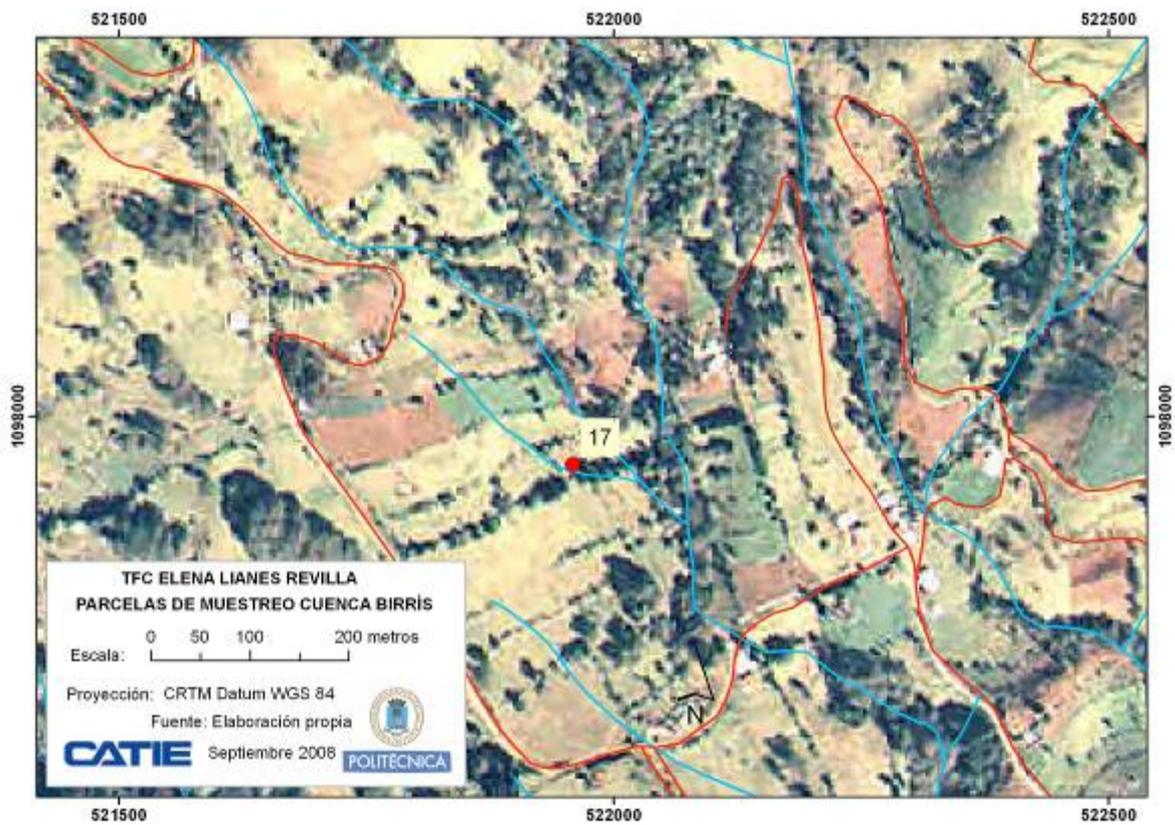
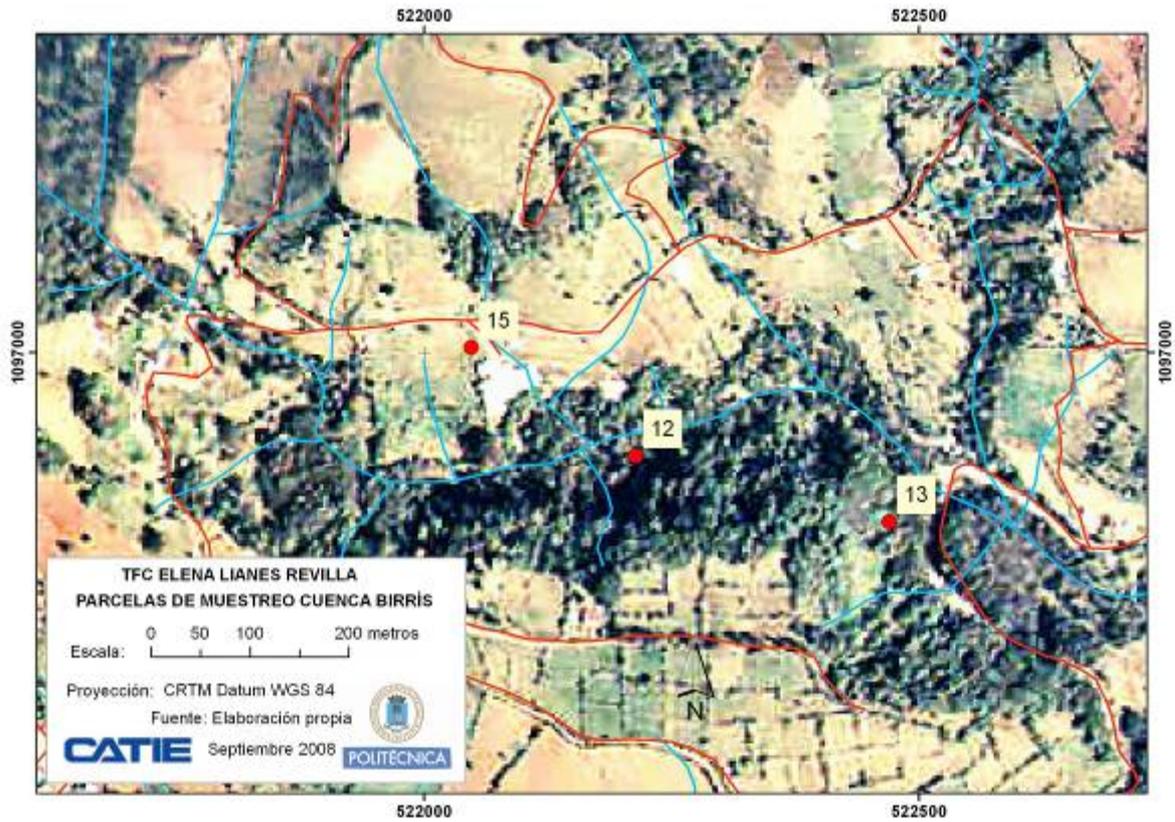
Anexo V.2. Mapas de localización de las parcelas

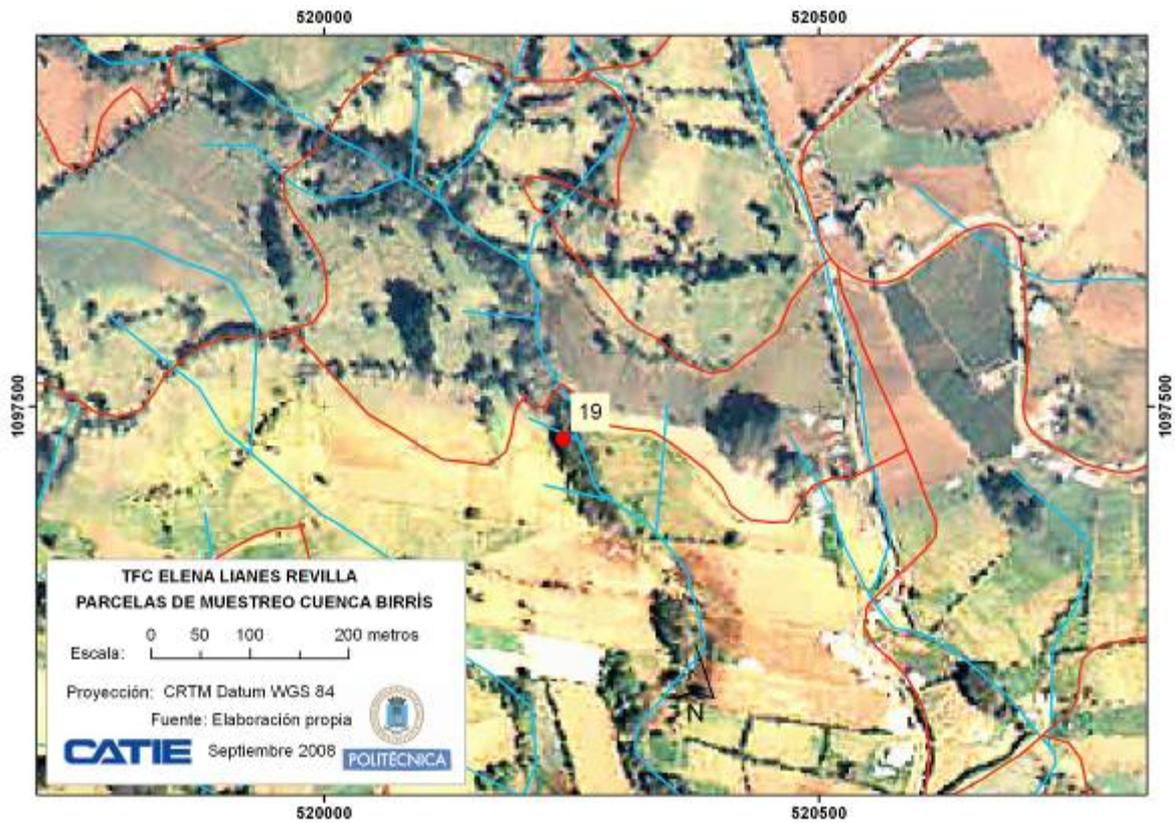
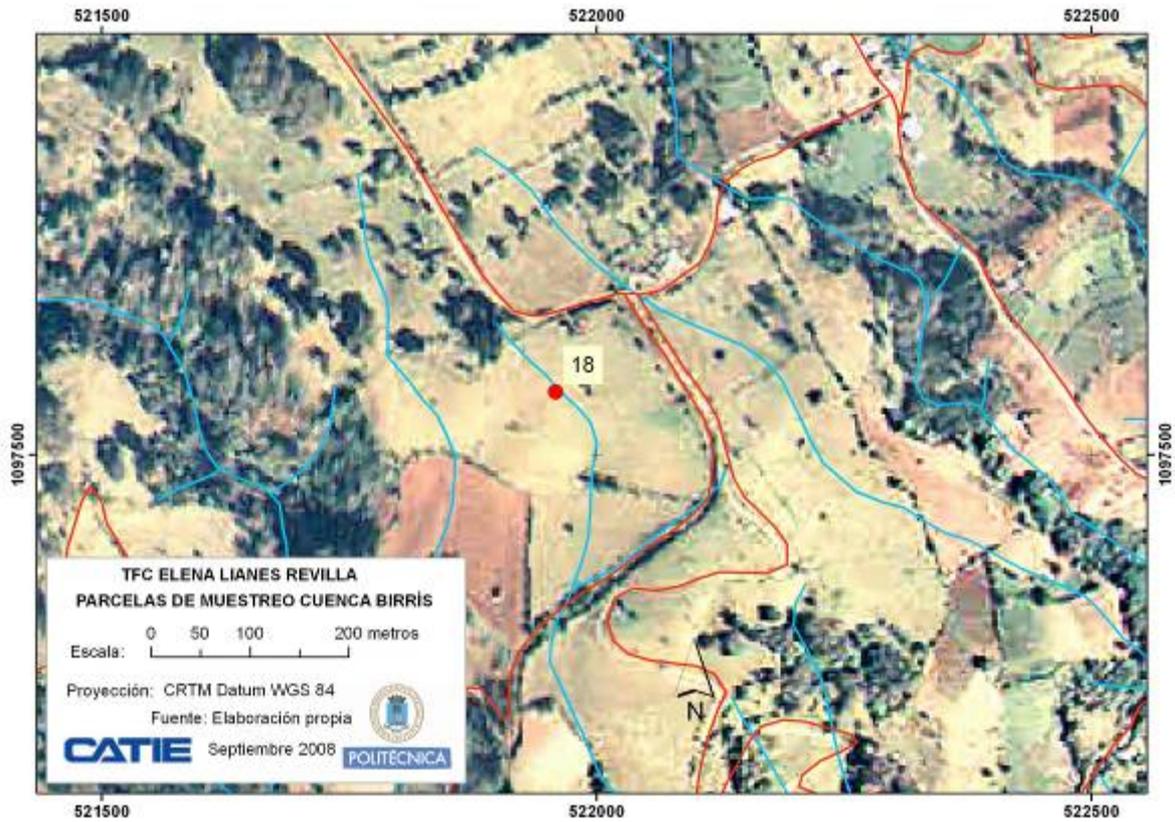


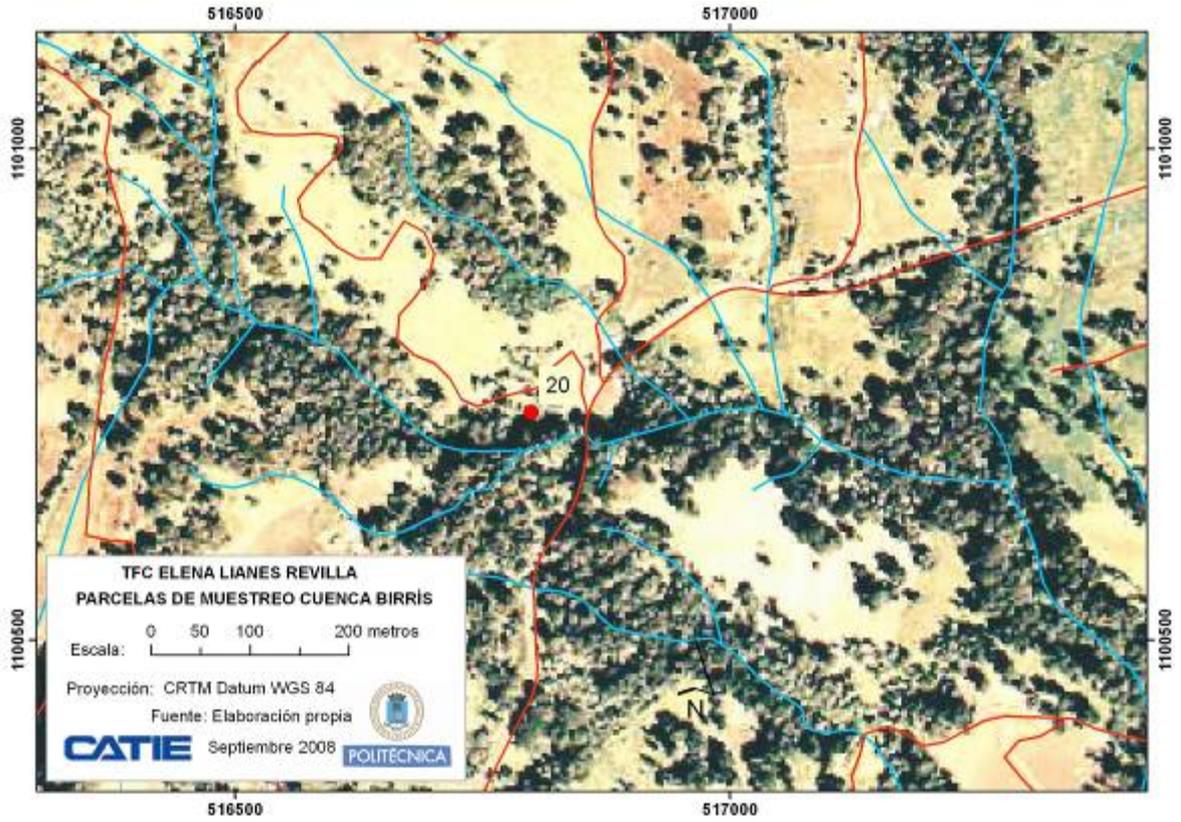












ANEXO VI. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA DE LAS PARCELAS MUESTREADAS

Anexo VI.1. Cuadro para la evaluación de la capacidad de uso de la tierra (MAG y MIRENEM. 1995)

CLASE	EROSION		SUELOS						DRENAJE		CLIMA			
	PENDIENTE (%)	EROSION SUFRIDA	PROFUNDIDAD EFECTIVA	TEXTURA s2		PEDREGOSIDAD	FERTILIDAD	TOXICIDAD s5 SALINIDAD s6	DRENAJE	RIESGO DE INUNDACION	ZONA DE VIDA	PERIODO SECO	NEBLINA	VIENTO
				SUELO 0,30cm	SUBSUELO <30cm									
e1	e2	s1			s3	s4		d1	d2	c1	c2	c3	c4	
I	<3	Nula	<120	Media	Mod. gruesas a Mod. finas	Sin piedra	Alta	Toxic. leve Salin. leve	Bueno	Nulo	bh-P bh-T bh-MB	Moderado	Ausente	Ausente
II	<6	Nula a Leve	<90	Mod. Finas a Mod. gruesas	Finas a Mod. gruesas	Sin piedra a ligeramente pedregoso	Media a alta	Toxic. leve Salin. leve	Mod. exces. a Mod. lento	Nulo a leve	Todas excepto pluviales y bmh	Cualquiera	Ausente a Moderada	Ausente a Moderado
III	<3	Nula a Leve	<90	Finas a muy finas	Finas a muy finas	Sin piedra a ligeramente Pedregosos	Alta	Toxic. leve Salin. leve	Mod. lento a lento	Nulo a Moderado	bs-T bh-T bh-T	Fuerte	Ausente	Ausente a Moderado
	<15	Nula a Moderada	<60	Finas a Mod. gruesas	Finas a Mod. gruesas	Sin piedra a Mod. Pedreg.	Media a Alta	Toxic. Mod Salin. leve	Mod. exces. a Mod. lento	Nulo a Moderado	Todas excepto pluviales	Cualquiera	Ausente a Moderada	Ausente a Moderado
IV*	<30	Nula a Moderada	<60	Muy finas a Mod. gruesas	Muy finas a Mod. gruesas	Sin piedra a pedregoso	Media a alta	Toxic. Mod. Salin. leve	Mod. lento a Mod. exces.	Nulo a Moderado	Todas excepto Páramo, bnh-M y bp-M	Cualquiera	Ausente a Moderada	Ausente a Moderado
V**	<15	Nula a Moderada	<30	Cualquiera	Cualquiera	Sin piedra a fuert. pedreg.	Cualquiera	Toxic. fuerte Salin. Mod.	Muy lento a excesivo	Nulo a severo	Todas excepto Páramo	Cualquiera	Ausente a Fuerte	Ausente a Fuerte
	<30	Nula a Moderada	<30	Mod. gruesas a finas	Cualquiera	Sin piedra a fuert. pedreg.	Cualquiera	Toxic. fuerte Salin. Mod.	Muy lento a excesivo	Nulo a severo	Todas excepto pluviales y bmh-T	Cualquiera	Ausente a Fuerte	Ausente a Fuerte
VI	<50	Nula a Severa	<60	Cualquiera	Cualquiera excepto gruesas	Sin piedra a fuert. pedreg.	Cualquiera	Toxic. fuerte Salin. Mod.	Mod. exces. a Mod. lento	Nulo a Moderado	Todas excepto Páramo	Cualquiera	Ausente a Moderada	Ausente a Moderado
VII	<75	Nula a Severa	<30	Cualquiera	Cualquiera	Sin piedra a fuert. pedreg.	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Todas excepto Páramo	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

* Climas pluviales no permiten cultivos anuales en esta clase.

** Esta clase acepta cultivos permanentes solo cuando la profundidad efectiva sea mayor de 60cm. y no se presenten problemas de viento y neblina fuertes.

*** Textura arenosa a través de todo el perfil (ejemplo Psamments), se clasificará como clase VIII.

Anexo VI.2. Datos y determinación de la capacidad de uso de la tierra
(parcelas arboladas y pasto)

Nº	Uso	Erosión		Suelos (1)				Drenaje		Clima				Clase Subclase Ud.manejo											
		Pte(%)	Erosión	Profundidad efectiva	Textura (1) (suelo <30cm)	Textura (1) (suelo >30cm)	Pedregosidad	Drenaje	Riesgo inundación	Zona de vida	Periodo seco	Neblina	Viento												
		e1	e2	s1	s2	s2	s3	d1	D2	c1	c2	c3	c4												
2	Bosque natural	48<50	VI	nula	I	<120	(0-15:15-95:95-110)	I	a= gruesa	V	ligera	II	bueno	I	nulo	I	bmh-M	III	mod	I	mod	II	mod	II	VI VI esc VI e ₁ s ₂₃ c ₁₃₄
20	Bosque degradado	30<50	VI	nula	I	<120	(0-40:40-110)	I	af=mod.gruesa	III	lig.pedregoso	II	mod.excesivo	II	nulo	I	bmh-M	III	mod	I	fuerte	V	mod	II	VI VI esdc VI e ₁ s ₂₃ d ₁ c ₁₃₄
12	Aguacate joven	32<50	VI	leve	II	<120	(0-40:40-110)	I	fa= media	I	mod	III	mod.excesivo	II	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	mod	II	VI VI esdc VI e ₁ s ₂₃ d ₁ c ₁₃₄
14	Aguacate maduro	34<50	VI	leve	II	<120	(0-35:35-110)	I	fa= media	I	ligera	II	bueno	I	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	mod	II	VI VI esc VI e ₁ s ₂₃ c ₁₃₄
4	Pasto de corta	32<50	VI	nula	I	<120	(0-15:15-55:55-110)	I	fa= media	I	ligera	II	bueno	I	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	fuerte	V	mod	II	VI VI esc VI e ₁ s ₃ c ₁₃₄
18	Potrero carga normal	25<30	V	leve	II	<120	(0-20:20-70:70-95:95-110)	I	fa= media	I	nula	I	bueno	I	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	ausente	I	V V ec V e ₁ c ₁₃
1	Potrero degradado	48<50	VI	mod	III	<90	(0-20:20-50:50-80)	II	aa= fina	III	ligera	II	mod.excesivo	II	nulo	I	bmh-MB	III	mod.	I	fuerte	V	mod	II	VI VI esdc VI e ₁ s ₁₂₃ d ₁ c ₁₃₄
19	Potrero muy degradado	30<30	V	severa	VI	90 <120	(0-25:15-60:60-110)	I	fa= media	I	nula	I	excesivo	V	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	fuerte	V	VI VI esdc VI e ₁ s ₂ d ₁ c ₁₃₄

(1)Textura: a: arenosa; aa: arcillo arenosa; af: arenosa franco; fa:franco arenosa.

Anexo VI.2. Datos y determinación de la capacidad de uso de la tierra
(parcelas de cultivo: patata y zanahoria)

N°	Uso	Erosión		Suelos				Drenaje		Clima				Clase Subclase Ud.manejo	
		Pte(%)	Erosión	Profundidad efectiva	Textura ⁽¹⁾ (suelo <30cm)	Textura ⁽¹⁾ (suelo >30cm)	Pedregosidad	Drenaje	Riesgo inundación	Zona de vida	Periodo seco	Neblina	Viento		
		e1	e2	s1	s2	s2	s3	d1	d2	c1	c2	c3	c4		
17	Papa 1	28<30 V	leve II	<120 (0-30;30-60;60-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>aa</i> = fina II	lig.pedregoso II	bueno I	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esc Ve ₁₂ S ₂₃ C ₁₃₄
16	Papa 2	43<50 VI	mod III	<120 (0-55;55-90;90-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>aa</i> = fina II	pedregoso III	mod.excesivo II	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esdc VIe ₁₂ S ₂₃ d ₁ C ₁₃₄
9	Papa 3	38<50 VI	mod III	<120 (0-20;20-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>fa</i> = media I	pedregoso III	bueno I	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esc VI e ₁₂ S ₃ C ₁₃₄
11	Papa 4	40<50 VI	mod III	<120 (0-30;30-55;55-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>aa</i> = fina II	pedregoso III	excesivo V	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esdc VIe ₁₂ S ₂₃ d ₁ C ₁₃₄
10	Zanahoria 1	40<50 VI	mod III	<120 (0-10;10-40;40-110)	I	<i>aa</i> = fina III	<i>aa</i> = fina II	pedregoso III	mod.excesivo II	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esdc VIe ₁₂ S ₂₃ d ₁ C ₁₃₄
13	Zanahoria 2	30<30 V	leve II	<90 (0-15;15-55;55-90)	II	<i>aa</i> = fina III	<i>aa</i> = fina II	muy pedregoso V	mod.excesivo II	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	V V esdc Ve ₁₂ S ₁₂₃ d ₁ C ₁₃₄
15	Zanahoria 3	34<50 VI	leve II	<120 (0-30;30-50;50-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>fa</i> = media I	lig.pedregoso II	bueno I	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI esc VI e ₁₂ S ₃ C ₁₃₄
8	Zanahoria 4	35<50 VI	leve II	<120 (0-25;25-110)	I	<i>fa</i> = media I	<i>fa</i> = media I	nula I	bueno I	nulo I	bmh-MB III	mod I	mod II	mod II	VI VI ec VI e ₁₂ C ₁₃₄

(1)Textura: *a*: arenosa; *aa*: arcillo arenosa; *af*: arenosa franco; *fa*:franco arenosa.

Anexo VI.2. Datos y determinación de la capacidad de uso de la tierra
(parcelas de cultivo: brócoli)

N°	Uso	Erosión		Suelos				Drenaje		Clima				Clase Subclase Ud.manejo													
		Pte(%)	Erosión	Profundidad efectiva	Textura ⁽¹⁾ (suelo <30cm)	Textura ⁽¹⁾ (suelo >30cm)	Pedregosidad	Drenaje	Riesgo inundación	Zona de vida	Periodo seco	Neblina	Viento														
		e1	e2	s1	s2	s2	s3	d1	d2	c1	c2	c3	c4														
5	Brócoli 1	45<50	VI	mod	III	<120	(0-10;10-60;60-110)	I	<i>fa</i> = media	I	<i>aa</i> = fina	II	nula	I	mod.excesivo	II	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	VI VI esdc VI e ₁₂ s ₂ d ₁ c ₁₃₄		
3	Brócoli 2	40<50	VI	leve(mod)	III	<120	(0-20;20-85;85-110)	I	<i>fa</i> = media	I	<i>aa</i> = fina	II	lig.mod	II	mod.excesivo	II	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	fuerte	V	mod	II	VI VI esdc VI e ₁₂ s ₂₃ d ₁ c ₁₃₄
6	Brócoli 3	35<50	VI	leve(mod)	III	<120	(0-50;50-75;75-110)	I	<i>fa</i> = media	I	<i>aa</i> = fina	II	nula	I	bueno	I	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	mod	II	VI VI esc VI e ₁₂ s ₂ c ₁₃₄
7	Brócoli 4	30<30	V	mod	III	<120	(0-70;170-110)	I	<i>fa</i> = media	I	<i>fa</i> = media	I	nula	I	bueno	I	nulo	I	bmh-MB	III	mod	I	mod	II	mod	II	V V ec V e ₁₂ c ₁₃₄

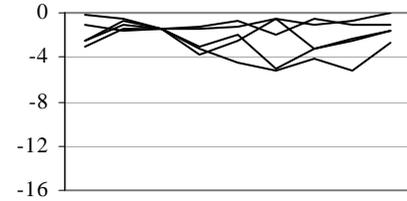
(1)Textura: *a*: arenosa; *aa*: arcillo arenosa; *af*: arenosa franco; *fa*:franco arenosa.

ANEXO VII. COBERTURA DE LAS PARCELAS MUESTREADAS

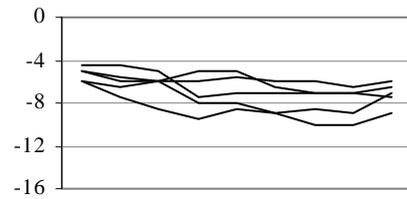
Anexo VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas (parcelas arboladas)

Nº: 2	Uso: Bosque natural									
F_c (fracción)	0,94	0,95	0,95	0,97	0,96	0,95				
H(m)	2,5	3,0	2,0	2,5	3,5	2,7	H(pies)	8,9		
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetrómetro	0,25	0,75	1,5	0,60	0,25	0,67				
Rugosidad (cm)	2,6	0,7	1,5	1,5	1,3	0,5	1,0	0,8	0,0	
	3,0	1,5	1,5	1,3	0,7	2,0	0,5	1,0	1,0	
	0,2	0,5	1,5	3,0	2,0	5,0	3,2	2,4	1,7	
	1,0	1,6	1,5	3,2	4,5	5,2	4,2	5,2	2,7	
	2,5	1,0	1,5	3,7	2,5	0,5	3,2	2,5	1,7	
	Mm	0,4	MM	3,9	D(in)	1,4	Rt(in)	0,3		
Nº: 20	Uso: Bosque degradado									
F_c (fracción)	0,38	0,33	0,13	0,70	0,10	0,33				
H(m)	3,2	3,0	5,0	4,0	4,5	3,9	H(pies)	12,9		
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetrómetro	2,25	3,50	4,50	2,75	3,25	3,25				
Rugosidad (cm)	6,0	7,5	8,5	9,5	8,5	9,0	10	10	9,0	
	5,0	5,5	6,0	6,0	5,5	6,0	6,0	6,5	6,0	
	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,5	7,0	7,0	7,5	
	4,5	4,5	5,0	7,5	7,0	7,0	7,0	7,0	6,5	
	6,0	6,5	6,0	8,0	8,0	9,0	8,5	9,0	7,0	
	Mm	4,8	MM	7,9	D(in)	1,23	Rt(in)	0,25		
Nº: 12	Uso: Aguacate joven									
F_c (fracción)	0,07	0,12	0,12	0,15	0,07	0,11				
H(m)	0,50	0,70	0,30	0,45	0,85	0,6	H(pies)	1,8		
S_p(%)	83	84	90	85	87	86				
Penetrómetro	1,5	1	1,5	1	1,8	1,35				
Rugosidad (cm)	4,0	6,5	7,0	8,5	5,0	4,0	3,5	5,0	5,5	
	1,0	2,5	6,0	9,0	5,0	1,0	3,0	1,0	2,0	
	5,0	7,0	6,0	4,5	3,0	5,0	5,0	6,0	7,0	
	8,5	6,0	3,5	3,0	5,0	4,0	5,5	3,0	2,5	
	5,0	5,0	5,0	4,0	6,0	6,5	3,0	4,0	4,5	
	Mm	2,6	MM	7,9	D(in)	2,09	Rt(in)	0,5		
Nº: 14	Uso: Aguacate maduro									
F_c (fracción)	0,91	0,80	0,89	0,78	0,85	0,85				
H(m)	2,7	3	3,3	2,3	3,3	2,9	H(pies)	9,6		
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetrómetro	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,10				
Rugosidad (cm)	3	2	3	2	1,5	2,5	1,5	0	1	
	1	2	2	2,5	1	2	2	1	1	
	1	1,5	3	3	2	3	1,5	2	3	
	3	3	2	2	2,5	2	2	2	1	
	2	2,5	1	0,5	0,5	1	3	2	2,5	
	Mm	0,7	MM	2,9	D(in)	0,9	Rt(in)^(*)	0,2		

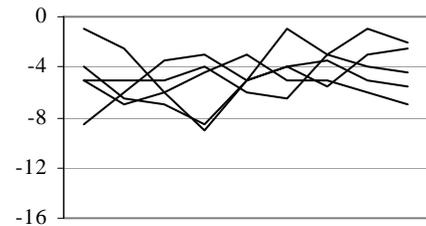
Rugosidad(cm):bosque natural



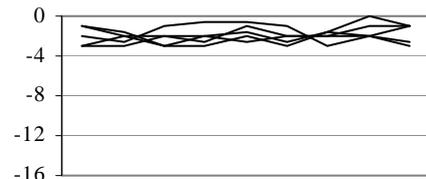
Rugosidad(cm): bosque degradado



Rugosidad(cm):aguacate joven



Rugosidad(cm): aguacate maduro

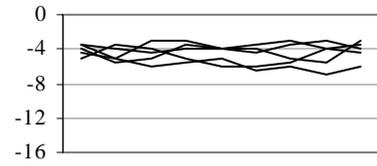


F_c(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. S_p(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM. ^(*) Rt(in)= 0,25 si el Rt medido en campo <0,24.

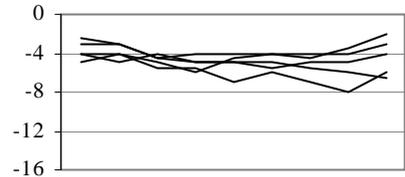
Anexo VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas (parcelas con pastos)

Nº: 4	Uso: Pasto de corta									
F_c (fracción)	0,90	0,85	0,80	0,80	0,70	0,81				
H(m)	0,39	0,40	0,50	0,44	0,39	0,4	H(pies)		1,4	
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetró- metro	1,50	1,25	1,00	1,75	1,25	1,35				
Rugosidad (cm)	3,5	4,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	4,0	4,5	
	5,0	3,5	4,0	5,0	6,0	6,0	5,5	4,0	3,5	
	4,0	5,5	5,0	3,5	4,0	4,0	5,0	5,5	3,0	
	3,5	5,0	3,0	3,0	4,0	4,5	3,5	3,0	4,0	
	4,5	5,0	6,0	5,5	5,0	6,5	6,0	7,0	6,0	
	Mm	3,4	MM	5,6	D(in)	0,9	Rt(in)^(*)		0,2	
Nº: 18	Uso: Potrero carga normal									
F_c (fracción)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
H(m)	0,14	0,18	0,16	0,13	0,24	0,2	H(pies)		0,6	
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetró- metro	2,00	3,50	2,50	3,00	2,75	2,75				
Rugosidad (cm)	4,0	4,0	5,0	6,0	4,5	4,0	4,5	3,5	2,0	
	2,5	3,0	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	
	5,0	4,0	5,5	5,5	7,0	6,0	7,0	8,0	6,0	
	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,5	6,0	6,5	
	3,0	3,0	4,5	5,0	5,0	5,5	5,0	5,0	4,0	
	Mm	2,7	MM	6,6	D(in)	1,54	Rt(in)		0,4	
Nº: 1	Uso: Potrero degradado									
F_c (fracción)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
H(m)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	H(pies)		0,5	
S_p(%)	100	100	100	100	100	100				
Penetró- metro	4,9	4	3,5	3,8	2,8	3,78				
Rugosidad (cm)	1,5	0,7	1,7	6	8	6	4,5	1,2	0,5	
	0,6	1,5	2	5,5	9	6	5,5	4,5	3	
	6,5	4,5	4	2,5	2	2,5	4	2	2	
	5,5	12	10	10	7	4,5	5	4	3	
	5	4	2	3	4	3,5	4,5	5	6,5	
	Mm	1,6	MM	8,3	D(in)	2,63	Rt(in)		0,55	
Nº: 19	Uso: Potrero muy degradado									
F_c (fracción)	0,88	0,86	0,80	0,72	0,72	0,80				
H(m)	0,12	0,14	0,20	0,28	0,20	0,2	H(pies)		0,6	
S_p(%)	88	86	80	72	72	80				
Penetró- metro	1,25	0,75	2,00	1,50	0,75	1,25				
Rugosidad (cm)	3,0	3,0	4,0	2,0	10,0	7,0	8,0	5,0	9,5	
	6,0	4,0	6,0	7,0	6,0	9,0	7,0	10	8,0	
	5,5	9,0	11,0	9,0	11,5	8,0	8,0	6,0	5,5	
	8,0	9,0	8,0	9,0	10,0	10,0	8,0	7,0	3,0	
	4,0	3,0	5,0	7,0	4,0	6,0	8,0	7,5	7,0	
	Mm	3,6	MM	9,2	D(in)	2,2	Rt(in)		0,5	

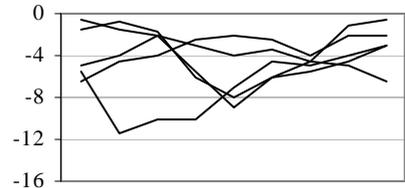
Rugosidad(cm): pasto de corta



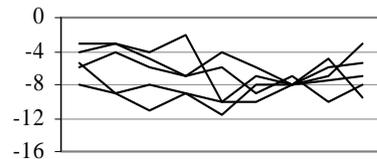
Rugosidad(cm): potrero carga normal



Rugosidad(cm): potrero degradado



Rugosidad(cm):potrero muy degradado



F_c(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. S_p(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM. ^(*) Rt(in)= 0,25 si el Rt medido en campo <0,24.

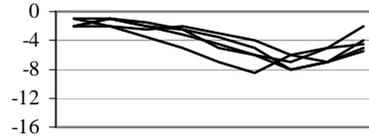
Anexo VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas (parcelas con cultivos:papa)

Nº: 17	Uso: Papa 1									
Fc (fracción)	0	0	0	0	0	0,00				
H(m)	0	0	0	0	0	0,0	H(pies)	0,0		
Sp(%)	0	0	0	0	0	0				
Penetró- metro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Rugosidad (cm)	2,0	3,0	3,5	4,5	6,0	5,0	0,0	6,5	8,5	
	3,5	1,0	2,0	4,5	5,5	5,0	8,0	3,5	2,0	
	2,0	5,5	7,5	8,5	5,0	2,5	0,0	5,0	2,0	
	6,5	8,0	9,0	4,0	0,0	1,0	4,0	9,5	7,5	
	3,0	1,0	5,0	6,0	6,0	9,0	8,0	0,0	5,0	
Mm	0,2	MM	8,7	D(in)	8,7	Rt(in)	0,7			
Nº: 16	Uso: Papa 2									
Fc (fracción)	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,71				
H(m)	0,30	0,24	0,18	0,21	0,27	0,2	H(pies)	0,8		
Sp(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0				
Penetró- metro	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,04				
Rugosidad (cm)	2,0	1,0	2,0	3,2	4,5	6,0	7,0	5,0	2,0	
	2,0	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	8,0	7,0	4,0	
	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	4,0	6,0	7,0	5,0	
	1,0	2,0	3,5	5,0	7,0	8,5	6,0	5,0	4,5	
	1,0	1,0	2,0	2,5	5,0	6,0	8,0	7,0	5,5	
Mm	1,2	MM	7,7	D(in)	2,6	Rt(in)	0,6			
Nº: 9	Uso: Papa 3									
Fc (fracción)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
H(m)	0,56	0,49	0,62	0,68	0,64	0,6	H(pies)	2,0		
Sp(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0				
Penetró- metro	0,25	0,75	0,60	0,75	1,50	0,77				
Rugosidad (cm)	1,0	1,5	0,5	1,0	7,0	10,0	0,5	1,0	2,0	
	2,0	1,5	1,0	1,0	2,5	11,0	14	8,5	3,0	
	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	6,0	8,0	4,0	
	4,0	2,5	3,0	11,0	11,0	9,0	3,0	1,0	2,5	
	3,0	2,0	2,5	4,0	6,0	9,0	8,0	5,0	3,0	
Mm	1,1	MM	10	D(in)	3,66	Rt(in)	0,8			
Nº: 11	Uso: Papa 4									
Fc (fracción)	0	0	0	0	0	0,00				
H(m)	0	0	0	0	0	0,0	H(pies)	0,0		
Sp(%)	9	18	7,5	10	14	12				
Penetró- metro	0,50	1,00	0,50	0,75	0,25	0,60				
Rugosidad (cm)	0,5	2,0	2,5	2,0	2,0	4,0	1,5	4,0	2,0	
	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,5	2,0	1,0	4,5	
	2,0	3,0	1,5	2,5	5,0	4,0	3,5	2,5	3,0	
	4,0	0,5	4,5	4,0	1,5	4,0	4,0	3,0	3,0	
	1,5	2,5	3,0	4,5	3,0	5,0	4,0	3,5	2,5	
Mm	1	MM	4,6	D(in)	1,42	Rt(in)	0,35			

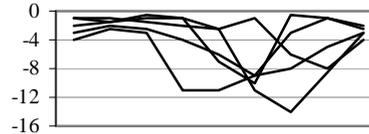
Rugosidad(cm): papa 1



Rugosidad(cm): papa 2



Rugosidad(cm): papa 3



Rugosidad(cm): papa 4



Fc(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. Sp(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM

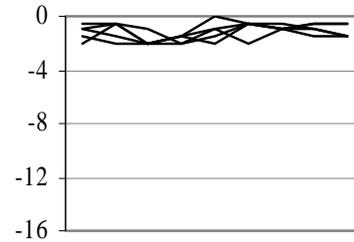
Anexo VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas (parcelas con cultivos: zanahoria)

Nº: 10	Uso: Zanahoria 1									
F_c (fracción)	0	0	0	0	0	0,00				
H(m)	0	0	0	0	0	0,0	H(pies)	0,0		
S_p(%)	0	0	0	0	0	0				
Penetró- metro	1,50	1,00	0,75	1,00	1,25	1,10				
Rugosidad (cm)	1,5	2,0	2,0	2,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	
	2,0	1,0	0,5	0,5	2,0	1,0	2,0	2,5	1,5	
	1,0	0,5	0,5	1,0	2,0	1,0	2,0	2,5	1,5	
	2,0	1,5	0,0	1,0	3,0	2,0	2,5	1,0	2,0	
	2,0	2,5	2,0	1,0	1,5	0,5	0,5	1,0	1,0	
	Mm	0,5	MM	3	D(in)	0,79	Rt(in)^(*)	0,19		
Nº: 13	Uso: Zanahoria 2									
F_c (fracción)	0,76	0,80	0,70	0,68	0,70	0,73				
H(m)	0,18	0,24	0,20	0,22	0,19	0,2	H(pies)	0,7		
S_p(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0				
Penetró- metro	0,25	0,50	0,25	0,10	0,25	0,28				
Rugosidad (cm)	2,0	0,5	2,0	1,5	2,0	0,5	0,5	1,0	1,5	
	1,0	1,5	2,0	2,0	1,5	0,5	1,0	0,5	0,5	
	0,5	0,5	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,5	
	1,0	0,5	2,0	1,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	
	1,5	2,0	2,0	1,5	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	
	Mm	0,4	MM	2	D(in)	0,63	Rt(in)^(*)	0,1		
Nº: 15	Uso: Zanahoria 3									
F_c (fracción)	1,00	0,96	0,92	1,00	1,00	0,98				
H(m)	0,52	0,59	0,46	0,48	0,61	0,53	H(pies)	1,75		
S_p(%)	25	25	25	25	25	25				
Penetró- metro	1,75	1,50	1,50	1,00	1,00	1,35				
Rugosidad (cm)	1,0	0,0	0,00	2,5	3,0	2,0	2,0	2,0	1,5	
	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	2,0	1,0	1,0	
	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	
	0,0	0,5	1,0	0,5	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	
	2,0	2,0	3,5	3,00	2,0	1,5	2,0	3,0	2,5	
	Mm	0,6	MM	2,5	D(in)	0,75	Rt(in)^(*)	0,2		
Nº: 8	Uso: Zanahoria 4									
F_c (fracción)	0	0	0	0	0	0,00				
H(m)	0	0	0	0	0	0,0	H(pies)	0,0		
S_p(%)	50	50	50	50,0	50	50				
Penetró- metro	0,00	0,25	0,60	0,50	0,25	0,32				
Rugosidad (cm)	1,0	1,5	1,0	1,0	0,5	1,5	2,5	3,0	3,5	
	3,0	1,0	3,0	1,5	0,0	3,0	3,0	2,0	3,0	
	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,0	1,5	2,0	3,0	
	0,0	1,5	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	3,0	
	4,0	1,0	1,0	0,5	1,5	1,0	0,5	1,0	2,5	
	Mm	0,2	MM	3,3	D(in)	1,22	Rt(in)	0,25		

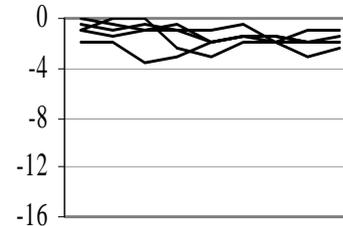
Rugosidad(cm): zanahoria 1



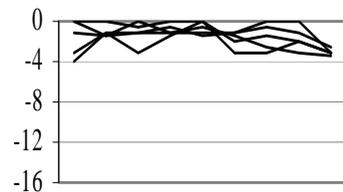
Rugosidad(cm): zanahoria 2



Rugosidad(cm): zanahoria 3



Rugosidad(cm): zanahoria 4

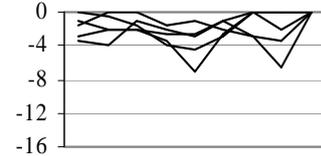


F_c(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. S_p(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM. ^(*) Rt(in)= 0,25 si el Rt medido en campo <0,24.

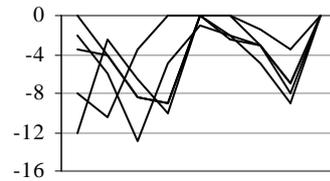
Anexo VII.1. Datos de la cobertura de las parcelas (parcelas con cultivos: brócoli)

Nº: 5	Uso: Brócoli 1									
F_c (fracción)	0	0	0	0	0	0,00				
H(m)	0	0	0	0	0	0,0	H(pies)	0,0		
S_p(%)	5,0	4,0	4,5	3,0	3,5	4				
Penetró- metro	0,00	0,25	0,10	0,00	0,00	0,07				
Rugosidad (cm)	2,0	3,5	4,0	1,0	2,0	3,0	1,0	3,0	6,5	
	3,0	1,0	2,0	2,0	3,5	7,0	2,5	0,0	0,0	
	2,5	0,0	0,5	1,5	4,0	4,5	3,0	0,0	0,0	
	3,5	1,5	0,0	0,0	1,5	1,0	2,0	3,0	3,5	
	2,5	3,0	2,0	2,0	2,5	2,5	1,0	0,0	2,0	
	Mm	0,3	MM	0,3	D(in)	1,83	Rt(in)	0,4		
Nº: 3	Uso: Brócoli 2									
F_c (fracción)	0,88	0,76	0,84	0,84	0,80	0,82				
H(m)	0,36	0,30	0,33	0,38	0,42	0,4	H(pies)	1,2		
S_p(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0				
Penetró- metro	1,50	1,50	0,50	1,25	1,00	1,15				
Rugosidad (cm)	0,0	2,0	6,0	13,0	5,0	1,0	2,0	3,0	7,0	
	4,0	8,0	10,5	3,5	0,0	0,0	2,5	3,0	8,0	
	0,0	12,0	2,5	6,5	10,0	0,0	0,0	3,0	7,0	
	3,0	3,5	4,0	8,5	9,0	0,0	2,0	5,0	9,0	
	0,0	0,0	4,0	8,5	9,0	0,0	0,0	1,5	3,5	
	Mm	0	MM	11	D(in)	4,21	Rt(in)	0,9		
Nº: 6	Uso: Brócoli 3									
F_c (fracción)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
H(m)	0,63	0,66	###	0,56	0,48	0,6	H(pies)	1,9		
S_p(%)	25	25	25	25	25	25				
Penetró- metro	0,50	0,50	1,25	0,75	0,50	0,70				
Rugosidad (cm)	8,5	16,0	11,5	7,0	0,0	4,0	3,0	3,0	3,0	
	0,5	5,0	12,0	10,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	
	2,0	10,0	9,0	3,0	1,0	3,0	0,0	4,0	7,0	
	0,5	2,5	8,0	8,5	3,5	2,5	0,0	0,0	4,0	
	3,0	4,0	3,0	0,0	5,0	10,0	9,5	3,0	3,0	
	Mm	0,1	MM	11,3	D(in)	4,41	Rt(in)	1,0		
Nº: 7	Uso: Brócoli 4									
F_c (fracción)	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02				
H(m)	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	H(pies)	1,1		
S_p(%)	86	76	94	80	86	84				
Penetró- metro	0,25	1,00	0,50	0,75	0,00	0,50				
Rugosidad (cm)	0,5	2,0	6,5	10,5	7,0	2,0	3,0	2,0	6,5	
	4,0	6,0	11,5	9,0	5,0	9,0	12	7,5	3,0	
	3,0	2,0	6,0	4,0	2,0	1,0	2,0	7,0	9,0	
	4,0	11,0	10,0	2,0	3,0	3,5	7,0	9,0	6,0	
	9,0	7,5	5,0	2,5	2,0	2,0	6,0	11	10,0	
	Mm	2	MM	11	D(in)	3,54	Rt(in)	0,75		

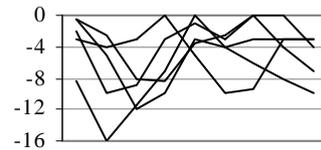
Rugosidad(cm): brócoli 1



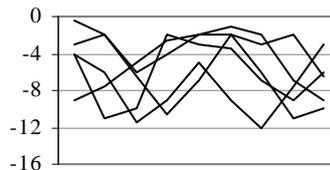
Rugosidad(cm): brócoli 2



Rugosidad(cm): brócoli 3



Rugosidad(cm): brócoli 4



F_c(fracción): fracción de cabida cubierta; H(m): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en metros. H(pies): altura efectiva de caída de las gotas de lluvia en pies. S_p(%): cubierta del suelo; Rugosidad: Mm(cm): media de los valores mínimos en cada punto; MM(cm): media de los valores máximos en cada punto; D (pulgadas): diferencia entre los valores de Mm y MM.

Anexo VII.2. Subfactor de humedad de suelo

Datos necesarios y cálculo del subfactor de humedad de suelo (SM) para cada mes para las cuatro situaciones presentes (a, b, c, d) en las parcelas medidas. Las situaciones a, b, c, d se describen en el apartado 4. 3.4.1.5. *Subfactor humedad del suelo* (Tabla 4.12.)

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
$W_{i1}(mm/mes)$	250,0	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$W_{i2}(mm/mes)$	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$H_i'(mm)$	250,00	250,00	230,09	208,11	228,01	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
$C'c(mm)$	250											
$H_{g0,33bar}(\%)$	62											
$H_{g15bar}(\%)$	26											
$D_{ap}(g/cm^3)$	0,62											
$Cc(\%)$	38,44											
$P_m(\%)$	16,12											
$H_i(\%)$	38,44	38,44	35,379	31,998	35,059	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44
SM(a)	1,0000	1,0000	0,8629	0,7114	0,8485	1,0000						
$W_{i1}(mm/mes)$	250,0	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$W_{i2}(mm/mes)$	250,0	250,0	210,2	206,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$H_i'(mm)$	250,00	250,00	230,09	208,11	228,01	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
$C'c(mm)$	250											
$H_{g0,33bar}(\%)$	99											
$H_{g15bar}(\%)$	65											
$D_{ap}(g/cm^3)$	0,63											
$Cc(\%)$	62,37											
$P_m(\%)$	40,95											
$H_i(\%)$	62,37	62,37	57,404	51,918	56,885	62,37	62,37	62,37	62,37	62,37	62,37	62,37
SM(b)	1,0000	1,0000	0,7681	0,5121	0,7439	1,0000						
$W_{i1}(mm/mes)$	250,0	248,7	220,3	165,8	175,1	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$W_{i2}(mm/mes)$	248,7	220,3	165,8	175,1	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$H_i'(mm)$	249,34	234,48	193,06	170,47	212,56	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
$C'c(mm)$	250											
$H_{g0,33bar}(\%)$	62											
$H_{g15bar}(\%)$	26											
$D_{ap}(g/cm^3)$	0,62											
$Cc(\%)$	38,44											
$P_m(\%)$	16,12											
$H_i(\%)$	38,338	36,054	29,684	26,211	32,683	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44	38,44
SM(c)	0,9954	0,8931	0,6077	0,4521	0,7421	1,0000						
$W_{i1}(mm/mes)$	250,0	248,7	220,3	165,8	175,1	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$W_{i2}(mm/mes)$	248,7	220,3	165,8	175,1	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
$H_i'(mm)$	249,34	234,48	193,06	170,47	212,56	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
$C'c(mm)$	250											
$H_{g0,33bar}(\%)$	49											
$H_{g15bar}(\%)$	26											
$D_{ap}(g/cm^3)$	0,92											
$Cc(\%)$	45,08											
$P_m(\%)$	23,92											
$H_i(\%)$	44,96	42,282	34,812	30,739	38,328	45,08	45,08	45,08	45,08	45,08	45,08	45,08
SM(d)	0,9943	0,8678	0,5147	0,3222	0,6809	1,0000						

W_{i1} : humedad inicial del suelo para el mes i; W_{i2} : humedad final del suelo para el mes i; H_i' : humedad del suelo para el mes i; $C'c$: capacidad de campo del suelo; $H_{g0,33}$: humedad gravimétrica a 0,33 bares de presión; H_{g15} : humedad gravimétrica a 15 bares de presión; D_{ap} : densidad aparente; $C_c(\%)$: capacidad de campo del suelo; P_m : punto de marchitez del suelo; H_i : humedad del suelo para el mes i

Anexo VII.3. Ratios de pérdida de suelo mensuales

Tipo de cobertura de la parcela		SLR ene	SLR feb	SLR mar	SLR abr	SLR may	SLR jun	SLR jul	SLR ago	SLR sep	SLR oct	SLR nov	SLR dic
Arbolado	bosque natural	0,0025	0,0022	0,0013	0,0008	0,0017	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
	bosque degradado	0,0372	0,0334	0,0227	0,0169	0,0277	0,0374	0,0374	0,0374	0,0374	0,0374	0,0374	0,0374
	aguacate joven	0,0515	0,0515	0,0395	0,0264	0,0383	0,0515	0,0515	0,0515	0,0515	0,0515	0,0515	0,0515
	aguacate maduro	0,0028	0,0028	0,0021	0,0014	0,0021	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028
Pasto	pasto de corta	0,0121	0,0121	0,0093	0,0062	0,0090	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121	0,0121
	potrero carga normal	0,0022	0,0022	0,0017	0,0011	0,0017	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
	potrero degradado	0,0020	0,0020	0,0015	0,0010	0,0015	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
	potrero muy degradado	0,0162	0,0162	0,0140	0,0115	0,0138	0,0162	0,0162	0,0162	0,0162	0,0162	0,0162	0,0162
Cultivo	papa 1	0,7382	0,7382	0,5670	0,3780	0,5491	0,7382	0,7382	0,7382	0,7382	0,7382	0,7382	0,7382
	papa 2	0,2725	0,2725	0,2093	0,1395	0,2027	0,2725	0,2725	0,2725	0,2725	0,2725	0,2725	0,2725
	papa 3	0,1231	0,1231	0,0946	0,0630	0,0916	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231	0,1231
	papa 4	0,5272	0,5272	0,4050	0,2699	0,3922	0,5272	0,5272	0,5272	0,5272	0,5272	0,5272	0,5272
	zanahoria 1	1,0000	1,0000	0,7681	0,5121	0,7439	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	zanahoria 2	0,3196	0,3196	0,2455	0,1636	0,2377	0,3196	0,3196	0,3196	0,3196	0,3196	0,3196	0,3196
	zanahoria 3	0,0517	0,0517	0,0397	0,0265	0,0384	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517
	zanahoria 4	0,0822	0,0822	0,0632	0,0421	0,0612	0,0822	0,0822	0,0822	0,0822	0,0822	0,0822	0,0822
	brócoli 1	0,7426	0,7426	0,5704	0,3803	0,5524	0,7426	0,7426	0,7426	0,7426	0,7426	0,7426	0,7426
	brócoli 2	0,1729	0,1729	0,1492	0,1230	0,1467	0,1729	0,1729	0,1729	0,1729	0,1729	0,1729	0,1729
	brócoli 3	0,0347	0,0347	0,0267	0,0178	0,0258	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347
	brócoli 4	0,0148	0,0148	0,0114	0,0076	0,0110	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148

En las parcelas de cultivo se consideran cuatro situaciones de crecimiento de la cobertura del cultivo: 1. Recién sembrado o plantado; 2. Tras el aporcado; 3. Plena cobertura; 4. Tras la cosecha

Anexo VII. 4. Ficha de cada parcela: datos, subfactores, SLR y vista general

Todas las fotografías que aparecen en el presente trabajo han sido tomadas por la autora.

Ficha 1: Bosque natural

Nº: 2	Uso: Bosque natural							CC	Fc(fracción)		0,95		
Municipio: Prusia		Altitud(m):2800			Pte(%):48			H(pies)		8,90	H(m) 2,70		
Coord.CRTM 98		N:1101364			E:514290			b		0,025			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		Área protegida						Sp(%)		100			
								SR		Ru(pulg)			0,30
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	
	CC	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	0,607	
	SC	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	
	SR	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	
	SM (d)	0,994	0,868	0,515	0,322	0,681	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
	SLR ₁	0,003											
	SLR ₂	0,002											

Vista general: bosque natural



Ficha 2: Bosque degradado

Nº: 20	Uso: Bosque degradado							CC	Fc(fracción)		0,33		
Municipio: Finca Pozo Amarillo			Altitud(m):2974		Pte(%):30			H(pies)		12,90	H(m)	3,90	
Coord.CRTM 98			N:1100732		E:516799			SC	b		0,025		
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente						SR	Sp(%)		100	
MES		E	F	M	A	My	J	Jl		Ag	S	O	N
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	CC	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910
	SC	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	SM (c)	0,995	0,893	0,608	0,452	0,742	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,037	0,033	0,023	0,017	0,028	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
	SLR ₁	0,037											
	SLR ₂	0,028											

Vista general: bosque degradado



Ficha 3: Aguacate joven

Nº: 12	Uso: Aguacate joven							CC	Fc(fracción)	0,11				
Municipio: Buena Vista			Altitud(m):1719		Pte(%):32			SC	H(pies)	1,80	H(m)	0,60		
Coord.CRTM 98			N:1096895		E:522214				b	0,025				
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SR	Sp(%)	86				
									Ru(pulg)	0,45				
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	
	SC	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	
	SR	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	0,871	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR	0,051	0,051	0,040	0,026	0,038	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	
	SLR ₁	0,051												
	SLR ₂	0,035												

Vista general: aguacate joven



Ficha 4: Aguacate maduro

Nº: 14	Uso: Aguacate maduro							CC	Fc(fracción)	0,85				
Municipio: Buena Vista			Altitud(m):1680		Pte(%):34		SC	H(pies)	9,60	H(m)	2,90			
Coord.CRTM 98			N:1097008		E:522773			b	0,025					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SR	Sp(%)	100				
									Ru(pulg)	0,25				
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050		
	CC	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677		
	SC	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083		
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993		
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003		
	SLR ₁	0,003												
	SLR ₂	0,002												

Vista general: aguacate maduro



Ficha 5: Pasto de corta

Nº: 4	Uso: Pasto de corta							CC	Fc(fracción)		0,81		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1772		Pte(%):32				H(pies)		1,40	H(m)		0,40
Coord.CRTM 98		N:1097349		E:522830				b		0,025			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						SC Sp(%)		100			
								SR Ru(pulg)		0,25			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	
	SC	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	SM(b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,012	0,012	0,009	0,006	0,009	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	
	SLR ₁	0,012											
	SLR ₂	0,008											

Vista general: pasto de corta



Ficha 6: Potrero carga normal

Nº:18	Uso: Potrero carga normal							CC	Fc(fracción)		1,00		
Municipio: Buena Aires		Altitud(m):2006		Pte(%):25				H(pies)		0,60	H(m)	0,20	
Coord.CRTM 98		N:1097564		E:521959				b		0,025			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		V: pasto						SC	Sp(%)		100		
								SR	Ru(pulg)		0,36		
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	
	SC	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	
	SR	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	
	SM(b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	SLR ₁	0,002											
	SLR ₂	0,002											

Vista general: potrero carga normal



Ficha 7: Potrero degradado

Nº: 1	Uso: Potrero degradado							CC	Fc(fracción)		1,00		
Municipio: Buena Vista			Altitud(m):1797		Pte(%):48		SC	H(pies)		0,52	H(m) 0,16		
Coord.CRTM 98			N:1097502		E:522707			b		0,025			
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente				SR	Sp(%)		100			
								Ru(pulg)		0,55			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	
	SC	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	
	SR	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	0,815	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	SLR ₁	0,002											
	SLR ₂	0,001											

Vista general: potrero degradado



Ficha 8: Potrero muy degradado

Nº:19	Uso: Potrero muy degradado							CC	Fc(fracción)		0,80		
Municipio: Guadalupe		Altitud(m):2077		Pte(%):30				H(pies)		0,60	H(m)	0,20	
Coord.CRTM 98		N:1097467		E:520242				b		0,025			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						Sp(%)		80			
								Ru(pulg)		0,50			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
	CC	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	
	SC	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	
	SR	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	0,842	
	SM (a)	1	1	0,863	0,711	0,849	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR	0,016	0,016	0,014	0,012	0,014	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	
	SLR ₁	0,016											
	SLR ₂	0,013											

Vista general: potrero muy degradado



Ficha 9: Papa 1

Nº:17	Uso: Papa 1 (recién sembrada)							CC	Fc(fracción)		0,00		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1974		Pte(%):28				H(pies)		0,00	H(m)		0,00
Coord.CRTM 98		N:1097951		E:521959				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		V: pasto						Sp(%)		0			
								Ru(pulg)		0,70			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SR	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR ^(*)	0,731	0,731	0,561	0,374	0,544	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	
	SLR ₁	0,731											
	SLR ₂	0,493											
Vista general: papa 1 (recién sembrada)													
													

(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 10: Papa 2

Nº:16	Uso: Papa 2 (tras el aporcado)							CC	Fc(fracción)		0,71		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1768		Pte(%):43				H(pies)		0,80	H(m)		0,20
Coord.CRTM 98		N:1097393		E:523157				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						Sp(%)		0			
								SR		Ru(pulg)			0,60
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SR	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	0,789	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR ^(*)	0,270	0,270	0,207	0,138	0,201	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	
	SLR ₁	0,270											
	SLR ₂	0,182											

Vista general: papa 2 (tras el aporcado)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 11: Papa 3

Nº:9	Uso: Papa 3 (plena cobertura)							CC	Fc(fracción)	1,00				
Municipio: Buena Vista			Altitud(m):1792		Pte(%):38		SC	H(pies)	2,00	H(m)	0,60			
Coord.CRTM 98			N:1097480		E:522714			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente				SR	Sp(%)	0					
								Ru(pulg)	0,80					
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990		
	CC	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178		
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
	SR	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691		
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,122	0,122	0,094	0,062	0,091	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122		
	SLR ₁	0,122												
	SLR ₂	0,082												

Vista general: papa 3 (plena cobertura)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 12: Papa 4

Nº:11	Uso: Papa 4 (tras la cosecha)							CC	Fc(fracción)		0,00		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1755		Pte(%):40				H(pies)		0,00	H(m)	0,00	
Coord.CRTM 98		N:1097258		E:523017				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						Sp(%)		12			
								Ru(pulg)		0,35			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SC	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	0,567	
	SR	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,522	0,522	0,401	0,267	0,388	0,522	0,522	0,522	0,522	0,522	0,522	
	SLR ₁	0,522											
	SLR ₂	0,352											

Vista general: papa 4 (tras la cosecha)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 13: Zanahoria 1

Nº:10	Uso: Zanahoria 1 (recién sembrada)							CC	Fc(fracción)		0,00		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1760		Pte(%):40				H(pies)		0,00	H(m)	0,00	
Coord.CRTM 98		N:1097207		E:523059				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						Sp(%)		0			
								Ru(pulg)		0,25			
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,983	0,983	0,755	0,504	0,732	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	
	SLR ₁	0,983											
	SLR ₂	0,664											

Vista general: zanahoria 1 (recién sembrada)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 14: Zanahoria 2

Nº:13	Uso: Zanahoria 2 (tras el aporcado)							CC	Fc(fracción)		0,73		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1687		Pte(%):30				H(pies)		0,70	H(m)		0,20
Coord.CRTM 98		N:1096828		E:522470				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		V: pasto						Sp(%)		0			
								SR		Ru(pulg)			0,25
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,314	0,314	0,241	0,161	0,234	0,314	0,314	0,314	0,314	0,314	0,314	
	SLR ₁	0,314											
	SLR ₂	0,212											

Vista general: zanahoria 2 (tras el aporcado)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 15: Zanahoria 3

Nº:15	Uso: Zanahoria 3 (plena cobertura)							CC	Fc(fracción)		0,98		
Municipio: Buena Vista		Altitud(m):1725		Pte(%):34				H(pies)		1,75	H(m)		0,53
Coord.CRTM 98		N:1097005		E:522048				b		0,050			
Clase de capacidad de uso: uso potencial		VI: cultivo permanente						SC	Sp(%)		25		
								SR	Ru(pulg)		0,25		
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	
	SC	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1
C	SLR ^(*)	0,051	0,051	0,039	0,026	0,038	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	
	SLR ₁	0,051											
	SLR ₂	0,034											

Vista general: zanahoria 3 (plena cobertura)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 16: Zanahoria 4

Nº:8	Uso: Zanahoria 4 (tras la cosecha)							CC	Fc(fracción)	0,00				
Municipio: Buenos Aires			Altitud(m):1921		Pte(%):35			H(pies)	0,00	H(m)	0,00			
Coord.CRTM 98			N:1097393		E:521252			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SC	Sp(%)	50				
								SR	Ru(pulg)	0,25				
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SC	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	
	SR	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,081	0,081	0,063	0,042	0,061	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	
	SLR ₁	0,081												
	SLR ₂	0,055												

Vista general: zanahoria 4 (tras la cosecha)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 17: Brócoli 1

Nº:5	Uso: Brócoli 1 (recién plantado)							CC	Fc(fracción)	0,00				
Municipio: Buenos Aires			Altitud(m):1803		Pte(%):45			H(pies)	0,00	H(m)	0,00			
Coord.CRTM 98			N:1096608		E:521518			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SC	Sp(%)	4				
								SR	Ru(pulg)	0,40				
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SC	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	0,825	
	SR	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,735	0,735	0,565	0,376	0,547	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735	
	SLR ₁	0,735												
	SLR ₂	0,496												

Vista general: brócoli 1 (recién plantado)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 18: Brócoli 2

3	Uso: Brócoli 2 (tras el aporcado)							CC	Fc(fracción)	0,82				
Municipio: Llano Grande			Altitud(m):2239		Pte(%):40			H(pies)	1,20	H(m)	0,40			
Coord.CRTM 98			N:1098273		E:519661			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SC	Sp(%)	0				
								SR	Ru(pulg)	0,90				
MES		E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	
	CC	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	
	SC	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	SR	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	
	SM (a)	1	1	0,863	0,711	0,849	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,171	0,171	0,148	0,122	0,145	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	
	SLR ₁	0,171												
	SLR ₂	0,138												

Vista general: brócoli 2 (tras el aporcado)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 19: Brócoli 3

Nº:6	Uso: Brócoli 3 (plena cobertura)							CC	Fc(fracción)	1,00				
Municipio: Buenos Aires			Altitud(m):1799		Pte(%):35			H(pies)	1,90	H(m)	0,60			
Coord.CRTM 98			N:1096612		E:521434			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente					SC	Sp(%)	25				
								SR	Ru(pulg)	1,00				
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990		
	CC	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175		
	SC	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328		
	SR	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606		
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,034	0,034	0,026	0,018	0,026	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034		
	SLR ₁	0,034												
	SLR ₂	0,023												

Vista general: brócoli 3 (plena cobertura)



(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Ficha 20: Brócoli 4

Nº:7	Uso: Brócoli 4 (tras la cosecha)							CC	Fc(fracción)	0,02				
Municipio: Buenos Aires			Altitud(m):1803		Pte(%):30		SC	H(pies)	1,10	H(m)	0,40			
Coord.CRTM 98			N:1096706		E:521572			b	0,050					
Clase de capacidad de uso: uso potencial			VI: cultivo permanente				SR	Sp(%)	84					
								Ru(pulg)	0,75					
MES	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D		
SLR	PLU	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990		
	CC	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979		
	SC	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021		
	SR	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714		
	SM (b)	1	1	0,768	0,512	0,744	1	1	1	1	1	1	1	
C	SLR ^(*)	0,015	0,015	0,011	0,008	0,011	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015		
	SLR ₁	0,015												
	SLR ₂	0,010												

Vista general: brócoli 4 (tras la cosecha)



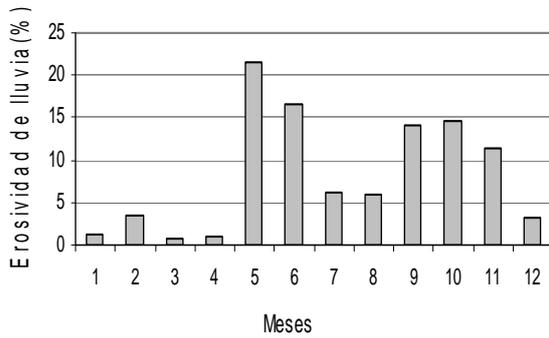
(*) Se considera que el estado del cultivo se mantiene los doce meses, esto es para el cálculo de SLR₁, SLR₂ y del factor C cultivo según la rotación correspondiente.

Anexo VI.5. EROSIDIVIDADES DE LA LLUVIA

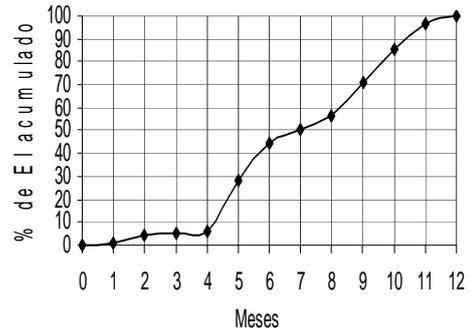
Anexo VI.5.1. Datos para la cuenca del río BIRRÍS (ICE, 2007)

Erosividad de lluvia en la zona alta de la cuenca (Sanatorio Durán)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EI(%)	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3
EI(acumulada)	1	5	5	6	28	45	51	57	71	86	97	100

Distribución mensual de EI en Sanatorio Durán

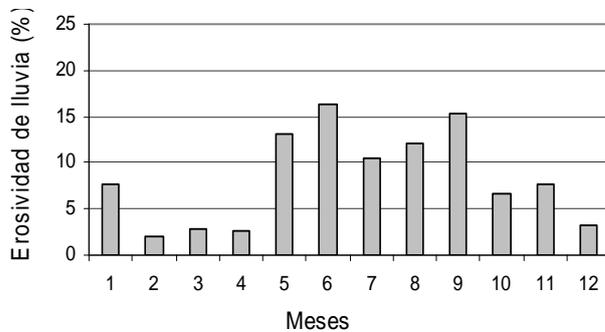


Distribución mensual de EI en Sanatorio Duran

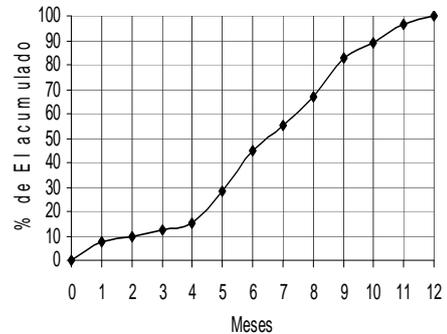


Erosividad de lluvia en la zona baja de la cuenca (Cachí)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
EI(%)	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3
EI(acumulada)	8	10	13	15	28	45	55	67	82	89	97	100

Distribución mensual de EI en Cachí



Distribución mensual de EI en Cachí



Anexo VI.6. Factor C en las rotaciones

Factor C: rotación papa- brócoli														
Actual	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,26
	PP-BR	P1	P2	P3	P3	P4	D	B1	B2	B3	B3	B4	D	
	SLR _i	0,731	0,270	0,094	0,062	0,388	0,522	0,735	0,171	0,034	0,034	0,015	0,015	
	El _i	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3	
	SLR _i *El _i	0,878	0,909	0,080	0,061	8,370	8,658	4,635	1,019	0,483	0,506	0,166	0,046	
Futuro	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,19
	PP-BR	B2	B3	B3	B4	D	D	P1	P2	P3	P3	P4	B1	
	SLR _i	0,171	0,034	0,026	0,008	0,011	0,015	0,731	0,270	0,122	0,122	0,522	0,735	
	El _i	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3	
	SLR _i *El _i	0,206	0,116	0,023	0,007	0,236	0,244	4,607	1,605	1,712	1,793	5,888	2,319	
Factor C: rotación papa- zanahoria														
Actual	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,30
	PP-ZN	P1	P2	P3	P3	P4	D	Z1	Z2	Z3	Z3	Z4	D	
	SLR _i	0,73	0,27	0,09	0,06	0,39	0,52	0,99	0,32	0,05	0,05	0,08	0,08	
	El _i	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3	
	SLR _i *El _i	0,88	0,91	0,08	0,06	8,37	8,66	6,24	1,88	0,72	0,75	0,92	0,26	
Futuro	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,22
	PP-ZN	Z2	Z3	Z3	Z4	D	D	P1	P2	P3	P3	P4	Z1	
	SLR _i	0,316	0,051	0,039	0,042	0,061	0,081	0,731	0,270	0,122	0,122	0,522	0,990	
	El _i	1	3	1	1	22	17	6	6	14	15	11	3	
	SLR _i *El _i	0,380	0,172	0,034	0,041	1,305	1,350	4,607	1,605	1,712	1,793	5,888	3,123	
Factor C: rotación papa- zanahoria-papa														
Actual	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,39
	P-Z-P	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4	P1	P2	P3	P4	
	SLR _i	0,731	0,270	0,094	0,267	0,736	0,316	0,051	0,081	0,731	0,270	0,122	0,522	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	5,580	0,566	0,266	0,717	9,652	5,152	0,539	0,977	11,170	1,812	0,925	1,673	
Futuro	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,31
	P-Z-P	P4/P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4	D	P1	P2	P3	
	SLR _i	0,626	0,270	0,094	0,267	0,736	0,316	0,051	0,081	0,081	0,731	0,270	0,122	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	4,782	0,566	0,266	0,717	9,652	5,152	0,539	0,977	1,244	4,909	2,048	0,391	
Factor C: rotación papa- papa-brócoli														
Actual	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,39
	P-P-B	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	B1	B2	B3	B4	
	SLR _i	0,731	0,270	0,094	0,267	0,544	0,270	0,122	0,522	0,735	0,171	0,034	0,015	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	5,580	0,566	0,266	0,717	7,125	4,393	1,285	6,264	11,238	1,150	0,261	0,047	
Futuro	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,23
	P-P-B	P4/P1	P2	P3	P4	B1	B2	B3	B4	D	P1	P2	P3	
	SLR _i	0,396	0,270	0,094	0,267	0,547	0,171	0,034	0,015	0,015	0,731	0,270	0,122	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	3,023	0,566	0,266	0,717	7,167	2,788	0,363	0,176	0,225	4,909	2,048	0,391	
Factor C: rotación papa- zanahoria-brócoli														
Actual	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,36
	P-Z-B	P1	P2	P3	P4	Z1	Z2	Z3	Z4	B1	B2	B3	B4	
	SLR _i	0,731	0,270	0,094	0,267	0,736	0,316	0,051	0,081	0,735	0,171	0,034	0,015	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	5,580	0,566	0,266	0,717	9,652	5,152	0,539	0,977	11,238	1,150	0,261	0,047	
Futuro	Mes	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	0,27
	P-Z-B	Z4/P1	P2	P3	P4	B1	B2	B3	B4	D	Z1	Z2	Z3	
	SLR _i	0,406	0,270	0,094	0,267	0,735	0,171	0,034	0,015	0,015	0,990	0,316	0,051	
	El _i	8	2	3	3	13	16	11	12	15	7	8	3	
	SLR _i *El _i	3,101	0,566	0,266	0,717	9,635	2,788	0,363	0,176	0,225	6,650	2,401	0,164	

BIBLIOGRAFÍA

Antezana J. 2001. *Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de perfiles de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña*. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS), Cochabamba, Bolivia. 77pp.

Ávalos, A. 2007. *ICE suspende cortes de electricidad en todo el país*. La Nación, 5/5/2007. La Nación. San José, Costa Rica. http://www.nacion.com/ln_ee/2007/mayo/05/pais1085589.html (consulta 6/10/2008).

CATIE. 2007. Propuesta presentada a UICN para el Fondo de Incidencia en Política Ambiental. Título: *Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 19pp.

CATIE. 2003. *Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del Sistema Hidroeléctrico BIRRÍS*. Informe de consultoría presentado a la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 33pp.

Chicharro, V. 2007 *Estudio de la evolución de las pérdidas de suelo en el incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). Aplicación y análisis comparativo de los modelos USLE y RUSLE*. Trabajo fin de carrera en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 146pp.

Cooke, R.U. y Doornkamp, J.C. 1990. *Geomorphology in environmental management. A new introduction*. Oxford University Press. New York, EEUU. 409 pp.

Cubero, D. 1996. *Manual de manejo y conservación de suelos y aguas*. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, 278 pp.

Cuello, M. 2003. *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en la cuenca alta del río Yaque del Norte y del Río Guanajuma, República Dominicana*. Tesis Mag. Sc en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 83 pp.

Dávila, O., Ramírez, E., Barbosa, I. 2005. Serie cuaderno de campo: *El manejo de un tacotal*. Folleto divulgativo de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica Turrialba, Costa Rica. 2005. 12pp.

FAO. 1989. *Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Areas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón*. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133 pp.

Foster, G.R. 2005. *Revised Universal Soil Loss Equation Versión 2 (RUSLE2)*. Science Documentation USDA-Agricultural Research Service. Washington, D.C. EEUU. 286pp.

Gómez, F. 2002. *Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica*. Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191 pp.

ICE. 1999. *Plan Integral de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón*. Instituto Costarricense de Electricidad. San Jose, Costa Rica. 550 pp.

Kirkby, M.J. y Morgan, R.P.C. 1984. *Erosión de suelos*. Editorial Limusa, México. 375pp.

- Kuenstler, W. 1998. *Guidelines for use of the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) versión 1.06. on mined lands, construction sites and reclaimed lands. Chapter five: C factor: Cover-management*. Office of Technology Transfer. Denver, CO, USA. 20pp.
- Lovón, H. 2003. *Contribución al estudio y manejo de la cuenca alta del Río Turrialba, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 122pp.
- MAG y MIRENEM. 1995. *Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras en Costa Rica*. Ministerios de Agricultura y Ganadería y Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, Costa Rica, 63pp.
- Maldonado, T. y Rodríguez, C. 1997. *Estudio, análisis y cartografía de la capacidad de uso de la tierra en las clases forestales. Costa Rica*. Fundación Geotrópica, San José, Costa Rica. 34pp.
- Marchamalo, M. 2007. *Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio de caso de la cuenca del río BIRRÍS*. Proyecto: Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica. Primer Informe. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174pp.
- Marchamalo, M. 2004. *Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos. Aplicación a la cuenca del Río BIRRÍS (Costa Rica)*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 409 pp.
- MIPRO, 2007. *MIPRO y productores trabajan en la protección de subcuenca del río BIRRÍS*. Ministerio de Producción. San José, Costa Rica, 2pp.
- Molina, B. 2007. Comunicación personal: usos de la tierra en la cuenca del río BIRRÍS (cultivos anuales, pastos y árboles frutales). Agencia de Extensión Agropecuaria del Ministerio de Agricultura en Pacayas. Pacayas, Costa Rica.
- Mora, I. 1987. *Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS); aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejiballe, vertiente Atlántica, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR., Programa Universidad de Costa Rica/ CATIE. 174p.
- Morgan, R.P.C. 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 343p.
- Otárola Guerrero, M. 2007. Informe final de consultoría: *Sistematización y recopilación de información y datos relevantes para el proyecto "Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica"*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 31pp.
- Pérez-Foguet, A., Oliete-Josa, S., Saz-Carranza, A. 2005. *Development Education and Engineering: A framework for incorporating reality of developing countries into engineering studies*". International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 6:3.278-303.
- Ramírez, L. 2007. *Caracterización física de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica*. V Congreso Nacional de Suelos de Costa Rica Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica. 8pp.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. 1997. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook 703. US Government Printing Office. Washington DC. 384 pp.

- Ríos, N., Cárdenas, A.Y., Andrade, H.J., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B. y Woo, A. 2007. *Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica*. *Agroforestería en las Américas*, 45: 66-71
- Robledo, W.I. 2003. *Pago por servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Lina y Los Esclavos, Guatemala*. Tesis Mag. Sc en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 174pp.
- Rodríguez, R. 1989. *Impactos del uso de la tierra en la alteración de la cuenca superior del río Reventazón y los efectos económicos en el proyecto hidroeléctrico de Cachi, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 155pp.
- Roldán, M. y Gómez, V. 2006. *Aplicación de la RUSLE v.1.06 en la evaluación de la pérdida de suelo en la cuenca alta del río Cega. Comparación de factores RUSLE-USLE*. *Revista de Edafología (SECS)*, Vol.10 (3): 11-19
- Roldán, M. 2005. *Factores que intervienen en la erosión hídrica*. Módulo: Erosión. Curso de grado en Hidrología de superficie y conservación de suelos. Notas de clase. EUIT Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Saborío, J. 2002. Informe final: *Estudio erosión potencial, cuenca del río Savegre, Costa Rica*. Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica. 41pp.
- Swisher, M. 1999. *Manual para los estudios de campo, Módulo 1. La Ecología de la Parcela*. Universidad de la Florida- Universidad de Costa Rica. 84p. (Determinación de la textura del suelo en el campo. 6pp.
- USDA-ARS-NRCS. 2004. *RUSLE versión 1.06c: Revised Universal Soil Loss Equation. Computer Program*. United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service – Natural Resources Conservation Service. EEUU. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=7117> (consulta 14/9/2007)
- Viquez, V. 1984. Formación Reventado. En P. Sprechmann (Ed.) *Manual de Geología de Costa Rica*. Volumen I: Estratigrafía. Editorial Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. 320 pp.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA, Agriculture Handbook 537. Washington, EEUU. 69 pp.
- Wischmeier W.H. y Smith D.D. 1965. *Predicting rainfall-erosion loss from cropland East of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation*. USDA, Agriculture Handbook 282. Washington, EEUU. 49 pp.



ESCUELA
UNIVERSITARIA
DE INGENIERÍA
TÉCNICA
FORESTAL

***ESTUDIO DEL FACTOR VEGETACIÓN “C”
DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO REVISADA
“RUSLE” EN LA CUENCA DEL RÍO BIRRÍS (COSTA RICA)***

**Elena
Lianes
Revilla**

2008