



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

**Comportamiento hidrológico y erosivo en usos de suelo prioritarios de la
campaña lechera en Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica**

por

Carlos Alfredo Salas Macías

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

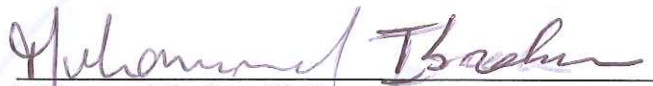
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2011

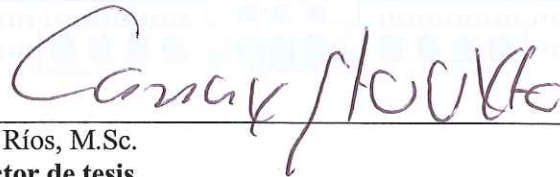
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

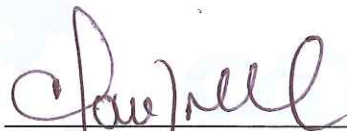
FIRMANTES:



Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Co-Director de tesis

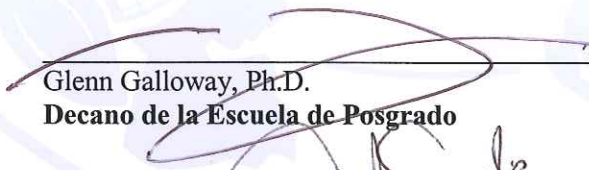


José Ney Ríos, M.Sc.
Co-Director de tesis

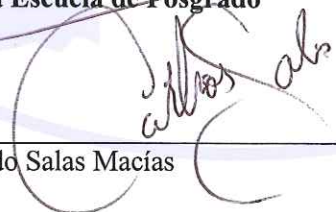


Claudia Sepúlveda, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Róger Madrigal, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Carlos Alfredo Salas Macías
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental en mi búsqueda de nuevos horizontes, gracias por ser la mano que siempre está para levantarme cuando caigo, por llenar mis días de bendiciones y ganas de seguir en pie, y sobre todo gracias por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

A SENACYT y al Estado ecuatoriano por darme la oportunidad de realizar estudios de Maestría.

Al Dr. Muhammad Ibrahim, por las enseñanzas impartidas y su valioso apoyo.

A mi asesor y amigo Ney Ríos, gracias por los consejos y guía, ciertamente este trabajo no hubiera sido posible sin tu ayuda.

A los miembros del comité asesor: Claudia Sepulveda, Roger Madrigal

A todo el equipo GAMMA por el apoyo durante la realización de este proyecto.

A todo el personal CATIE.

A mis compañeros por hacer más fácil el exilio.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Portoviejo, Manabí, Ecuador el 15 de diciembre de 1978. Se graduó como ingeniero Agropecuario de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí en 2005 en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Posteriormente en el 2006 realiza estudios de Maestría en Administración y Mercadeo Agropecuario en el Centro de Estudios de Postgrado, Investigación, Relaciones y Cooperación Internacional (CEPIRCI) de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí. Ingresó a la Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica en enero del 2009, para realizar la Maestría en Agroforestería Tropical, la cual culminó en diciembre de 2010.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XIV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Hipótesis del estudio.....	2
2 MARCO CONCEPTUAL.....	3
2.1 Factores asociados a parámetros hídricos.....	3
2.1.1 Balance hídrico	3
2.1.2 Precipitación	4
2.1.3 Infiltración y Humedad.....	5
2.1.4 Evapotranspiración.....	8
2.1.5 Escorrentía	9
2.1.6 Erosión Hídrica.....	10
2.2 Metodologías para cuantificar escorrentía, infiltración y erosión en diferentes usos de suelo y ecosistemas	11
2.2.1 Métodos Directos:.....	12
2.2.2 Métodos Indirectos:	15
2.3 Impacto de la Ganadería en la erosión del suelo	17
2.4 Valoración económica de la erosión: Métodos y conceptos.....	21
2.4.1 Métodos Indirectos para la valoración ambiental.....	23
2.4.2 Método directo para valoración económica ambiental.....	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Descripción del área de investigación	27
3.2 Usos de Suelo.....	31
3.3 Variables evaluadas	31
3.4 Métodos estadísticos	32
3.5 Características de los usos de suelo evaluados	34
3.6 Metodologías.....	36
3.6.1 Escorrentía superficial.....	36
3.6.1.1 Parcelas de escorrentía	36
3.6.1.2 Medición y cálculos.....	38

3.6.1.2.1	Cálculo de lluvia incidente en parcelas de escorrentía.....	38
3.6.1.2.2	Cálculo de agua escurrida.....	38
3.6.1.2.3	Cálculo de porcentaje de escorrentía.....	39
3.6.2	Capacidad de infiltración.....	39
3.6.2.1	Medición y cálculos.....	40
3.6.3	Estimación de pérdidas de suelo por efectos hídrico.....	40
3.6.3.1	Medición y cálculo.....	40
3.6.4	Cobertura vegetal de los usos de suelo.....	41
3.6.4.1	Estructura vertical.....	41
3.6.4.2	Estructura horizontal.....	41
3.6.4.3	Estimación de la diversidad vegetal.....	42
3.6.5	Análisis de laboratorio.....	43
3.6.5.1	Análisis de suelo.....	43
3.6.6	Modelación de escenarios para variabilidad climática y cobertura vegetal.....	44
3.6.7	Valoración económica de la erosión.....	48
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1	Caracterización de los usos de tierra evaluados.....	49
4.1.1	Estructura Vertical.....	49
4.1.2	Estructura horizontal.....	50
4.1.3	Riqueza y abundancia.....	51
4.2	Estructura y composición de suelos.....	51
4.3	Precipitación.....	53
4.3.1	Umbral de escorrentía.....	53
4.4	Escorrentía superficial.....	55
4.5	Capacidad de Infiltración.....	59
4.6	Erosión hídrica.....	61
4.7	Influencia de la vegetación sobre la escorrentía y erosión.....	62
4.8	Modelación de escenarios para variabilidad climática y cobertura vegetal.....	64
4.9	Valoración económica de la erosión.....	66
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
6	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	ANEXOS.....	84

Salas, C. 2010. "Comportamiento hidrológico y erosivo en usos de suelo prioritarios de la campiña lechera en Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica". Tesis, Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 100 p

Palabras claves: parámetros hídricos, agua, modelaje hídrico, erosión hídrica, usos de suelo, sistemas silvopastoriles, ganadería, SWAT.

RESUMEN

Debido a la influencia que la erosión como consecuencia natural de las lluvias potenciada por malas prácticas agrícolas y desprotección del suelo, ejerce sobre la productividad tanto agrícola, forestal y ganadera; es de gran importancia conocer los factores que influyen en este proceso erosivo, a fin de lograr un manejo integral y sustentable de los recursos naturales. En el presente estudio se analizó la escorrentía superficial y erosión hídrica en cuatro usos de suelo en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba. Los usos de suelo evaluados fueron: bosque ripario (BR), banco forrajero (BF), pastura mejorada (PM) y pastura degradada (PD). Como criterios de selección de usos de suelo se tomó en cuenta el predominio de estos en la zona, además estar ubicados en un rango de pendiente de entre 25 a 35 %. Se establecieron un total de 27 parcelas de escorrentía, tres parcelas de escorrentía con un área de 5 m x 10 m ubicadas en cada sitio de muestreo. La fase de campo se realizó durante el período comprendido entre diciembre de 2009 y - agosto del 2010. Durante el periodo de muestreo se evaluaron 90 eventos en BR, 89 en BF, 98 en PM y 49 en PD. Mediante un análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0001$) con valores de porcentaje de escorrentía de 38,40%; 32,64%; 19,83% y 6,59% para PD; PM; BF y BR respectivamente. En el caso de la erosión, el mayor valor lo obtuvo PD con 25,56 ton^{-1} ha, seguida por PM con 6,89, mientras que BF y BR presentaron valores de 3,93 y 1,82 Tn^{-1} ha respectivamente. La escorrentía superficial y la erosión hídrica están estrechamente relacionadas con el manejo y uso de los suelos. Es importante tomar en cuenta alternativas de manejo mejoradas como los bancos forrajeros, cuyas propiedades intermedias entre bosque y pasturas podrían mejorar el balance entre producción - conservación.

Salas, C. 2010. "Hydrological and soil erosion on priority uses of the countryside dairy in Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica." Thesis, Sc Mag Turrialba, CR, CATIE. 100 p.

Keywords: water parameters, water, water modeling, water erosion, land use, silvopastoral systems, livestock, SWAT.

SUMMARY

Due to the influence of erosion as a natural consequence of the rainfall enhanced by poor agricultural practices and lack of soil has on the productivity of agriculture, forestry and livestock. Is of great importance to understand the factors that influence this erosion process in order to achieve a comprehensive and sustainable management of natural resources. In the present study there was analyzed the surface runoff and water erosion in four different land uses of Santa Cruz's dairy countryside, Turrialba. Land uses evaluated were: riparian forest (BR), forage bank (BF), improved pasture (PM) and degraded pasture (PD). As selection criteria for land use was taken into account the prevalence of such land uses within the area. Besides these most be located on a 25 to 35% slope range. Were established a total of 27 runoff plots, three of these with an area of 5m x 10m, located at each sampling site. The field phase took place during the period of December 2009 to August 2010. During the sampling period were evaluated 90 events in BR, 89 in BF, 98 in PM and 49 in PD. Using a variance análisis found significant differences between treatments ($p=0,0001$) with runoff percentage values of 38.40%; 32.64%; 19.83% and 6.59% for PD; PM;BF and BR respectively. In the water erosion case the highest value is obtained by PD with $25.56 \text{ ton}^{-1} \text{ ha}$, followed by PM with $6.89 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$, while BF and BR obtained values of 3.93 and $1.82 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$ respectively. Runoff and water erosion are closely related to management and land use. Is important to take into account improved management alternatives as forage banks whose properties between forest and pasture could improve the production-conservation balance.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Funciones principales usadas para determinar infiltración.	6
Cuadro 2. Resumen de métodos de valoración económica ambiental y su aplicación.....	26
Cuadro 3. Manejo y producción de pastos en la cuenca del Río Reventazón.	29
Cuadro 4. Usos de suelo prioritarios evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.....	31
Cuadro 5. Variables evaluadas y métodos de evaluación para los usos de suelo en estudio en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	32
Cuadro 6. Tratamientos experimentales utilizados para evaluar usos de suelo en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	33
Cuadro 7. Costos de implementación y mantenimiento de sistemas silvopastoriles.....	48
Cuadro 8. Riqueza y abundancia de especies de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	51
Cuadro 9. Textura de usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.....	52
Cuadro 10. Análisis químico de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	52
Cuadro 11. Comparación de escorrentía superficial en dos bosques riparios a diferentes alturas en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	55
Cuadro 12. Porcentajes de escorrentía para pastoreo o corta de bancos forrajeros y recuperación de los mismos para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	57
Cuadro 13. Tabla de resultados para prueba de hipótesis de contrastes de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	58
Cuadro 14. Tabla de Coeficientes de contrastes para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	59

Cuadro 15. Capacidad de infiltración para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	59
Cuadro 16. Matriz para calcular coeficientes de correlación entre las variables respuesta en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.....	62
Cuadro 17. Coeficientes de correlación calculados para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	63
Cuadro 18. Erosión hídrica de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	64
Cuadro 19. Escorrentía superficial y erosión hídrica mediante modelación SWAT para variabilidad climática con respecto a precipitación en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.....	65
Cuadro 20. Erosión hídrica mediante modelación SWAT con respecto a cobertura vegetal en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	66
Cuadro 21. Costos de dragado de sedimentos producidos por usos de suelo.....	67
Cuadro 22. Costos de implementación y mantenimiento de un banco forrajero de <i>Cratylia argéntea</i> para corte y acarreo.....	68
Cuadro 23. Formato para toma de datos Escorrentía.....	84
Cuadro 24. Formato para toma de datos de Infiltración.	85
Cuadro 25. Datos de escorrentía superficial y peso de sedimento por cada evento de muestreo en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.....	89
Cuadro 26. Escorrentía superficial para cada una de las repeticiones en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación área de estudio.....	28
Figura 2. Parcela de escorrentía utilizada para medir escorrentía superficial y erosión hídrica en usos de suelo en la cuenca media alta del Río Reventazón, 2010.	37
Figura 3. Estructura del sistema para recolección de agua escurrida en parcelas de escorrentía utilizada para medir escorrentía superficial y erosión hídrica en usos de suelo en la cuenca media alta del Río Reventazón, 2010.	37
Figura 4. Metodología para determinar cobertura vegetal horizontal (pasto, maleza, suelo sin cobertura herbácea viva) en usos de suelo evaluados en la cuenca media alta del Río Reventazón.....	42
Figura 5. Metodología para determinar abundancia y riqueza vegetal en los usos de suelo evaluados en la en la cuenca media alta del Río Reventazón.	42
Figura 6. Esquema del muestreo de suelos	43
Figura 7. Análisis de suelos utilizando el método de cilindros.	44
Figura 8. Escenario 1, Modelación SWAT para condición actual en la campiña lechera de Santa Cruz, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	46
Figura 9. Escenario 2, modelación SWAT para cambio de uso de pastura natural a pastos mejorados en la campiña lechera de Santa Cruz, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	47
Figura 10. Estructura vertical de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	49
Figura 11. Caracterización horizontal en porcentaje de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	50
Figura 12. Tendencia de eventos de lluvia registrados de noviembre 2009 hasta agosto 2010 en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	53
Figura 13. Umbral de escorrentía superficial (mm) para los usos de suelo evaluados desde Noviembre 2009 hasta Agosto 2010 en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	54
Figura 14. Porcentaje de escorrentía superficial para los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	56

Figura 15. Velocidad de infiltración para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	60
Figura 16. Erosión hídrica ($Tn^{-1} ha$) en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	61
Figura 17. Estructura Horizontal de bosque ripario evaluado en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	86
Figura 18. Estructura vertical de bosque ripario evaluado en evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	86
Figura 19. Estructura Horizontal de banco forrajero evaluado en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	87
Figura 20. Estructura Horizontal de pastura mejorada evaluada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	87
Figura 21. Estructura vertical de pastura mejorada evaluada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	88
Figura 22. Estructura Horizontal de pastura degradada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.	88

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACOVEZ: Asociación colombiana de médicos veterinarios y zootecnistas.

BF: Banco forrajero

BR: Bosque ripario.

CATIE: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza

CONAPHI: Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional

CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

DAC: Disposición a ser compensado.

dap: Diámetro a la altura del pecho en cm.

DAP: Disposición a pagar

EARTH: Escuela de la Agricultura de la Región Tropical Húmeda

ETp: Evapotranspiración potencial

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IFAM: Instituto de Fomento y Asesoría Municipal

IFPRI: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias.

IIED-CSIR: Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo – Consejo para la investigación científica e industrial.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

LBM: Modelo Lattice Botzmann.

LEAD: Iniciativa Ganadería, Ambiente y Desarrollo.

NRCS: Servicio de Conservación de Recursos Naturales

OIRED: Oficina de Investigación Internacional, Educación y Desarrollo.

PASOLAC: Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central.

PD: Pastura degradada

PM: Pastura mejorada

RAAA: Red de Acción de Agricultura Alternativa

RAM: Revista del Aficionado a la Meteorología

REDLACH: Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas

SANREM CRSP: Agricultura Sostenible y Manejo de Recursos Naturales Programa de colaboración y Apoyo a la Investigación.

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SWAT: Herramienta de evaluación de agua y suelo.

UEEA INTA: Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina

UICN-ORMA: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - Oficina Regional para Mesoamérica

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

UNESCO: United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization

UNNE: Universidad Nacional del Noroeste

USLE: Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo

UTP: Universidad Tecnológica de Pereira.

VET: Valor económico total

WWAP: Programa Mundial de Evaluación de Agua.

1 INTRODUCCIÓN

El buen manejo de los recursos naturales se presenta como una de las mayores preocupaciones, proponiéndose cada vez mas objetivos dirigidos a controlar el daño producido por actividades humanas (Morgan, 1997) las cuales han llegado al punto de cambiar significativamente los ecosistemas naturales (Bennett, 2004). Gran parte de estos cambios son provocados por la necesidad de producir cada vez más para satisfacer así a una población en aumento. En el medio agropecuario estas decisiones se basan en factores endógenos y exógenos permitiendo tomar las previsiones necesarias, para así lograr adaptación y obtener medios para el resarcimiento de los efectos indeseables y las inestabilidades asociadas a ellos. (Pomareda, 2009).

Uno de los factores que afectan en gran medida a los ecosistemas es la erosión hídrica como consecuencia natural de las lluvias y potenciado por malas prácticas agrícolas y desprotección del suelo (Cartes, *et al.* 2009). Debido a la influencia que ejerce la erosión de suelos sobre la actividad productiva tanto agrícola, forestal y ganadera, es de gran importancia conocer los factores que influyen en el proceso erosivo, a fin de lograr un manejo integral y sustentable de los recursos naturales para evitar así graves consecuencias en lo referente a la pérdida del capital natural de las fincas.

La parte media – alta de la cuenca del Río Reventazón, en la cual es predominante el uso de suelo para ganadería extensiva, sufre un aumento del efecto erosivo provocado por las lluvias, debido a la topografía con pendientes fuertes y asociado al pastoreo y sobrepastoreo del ganado (ICE, 2002), tornándose un factor de gran preocupación y un elemento más de amenaza para las comunidades residentes en la zona (Arce, 2004). Esta zona es de gran importancia para el país ya que en esta se encuentra parte del proyecto Hidroeléctrico Angostura, el cual aporta el 32% de la hidroelectricidad nacional (ICE, 2009). Durante las actividades de mantenimiento que se realiza a al embalse, se evidencian problemas con la sedimentación del mismo. En las dos últimas maniobras de desembalse realizadas en el 2008 se desalojaron en el embalse Angostura alrededor de 1.500.000 toneladas de sedimento, cantidad considerablemente alta comparada con los estándares internacionales (Monge, 2009).

El presente proyecto busca evaluar el comportamiento tanto en escorrentía superficial como en erosión hídrica de los principales usos en la campiña ganadera lechera de Santa Cruz con la finalidad de conocer el aporte de sedimentos al embalse y proponer un cambio de paradigma productivo que conduzca a mejorar el manejo de los recursos naturales en la zona.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento hídrico y erosivo en cuatro usos de suelo prioritarios de la campiña lechera en Santa Cruz, Turrialba.

1.1.2 Objetivos específicos

- a. Estimar escorrentía superficial, capacidad de infiltración y sedimentación en usos de suelo prioritarios de la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba (bosque ripario, banco forrajero, pastura mejorada, pastura degradada).
- b. Modelar escenarios de cobertura y variabilidad climática mediante el uso de SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para estimar erosión hídrica en los usos de suelo identificados.
- c. Evaluar el efecto de la cobertura vegetal en los usos de suelo sobre las variables estudiadas
- d. Realizar una primera aproximación a la valoración económica de la erosión en la zona.

1.2 Hipótesis del estudio

- a. La cobertura vegetal y el uso de la tierra son factores determinantes en la producción de escorrentía superficial.
- b. La producción de sedimento por acción hídrica es mayor en suelos con poca o nula cobertura vegetal y malas prácticas de manejo.
- c. La implementación de buenas prácticas para conservación de suelos es una estrategia para reducir costos de mantenimiento en embalses hidroeléctricos.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Factores asociados a parámetros hídricos.

El agua es el más importante de todos los compuestos en la naturaleza y un elemento esencial para la vida (WWAP, 2007) se presenta en el mundo de forma natural en el aire, en la superficie terrestre, capas subterráneas, y en los océanos, permaneciendo en constante movimiento dando origen el denominado ciclo hidrológico (Maderey, 2005). Este ciclo natural del agua se encuentra en desequilibrio debido a la actividad antropogénica, por lo cual, y para controlar o mitigar este impacto, es necesario el análisis de los factores que afectan y modulan la mecánica hídrica. Es así como nace la hidrología como ciencia, tratando de entender el complejo sistema hídrico dentro del cual actúan varios procesos de evaporación, precipitación, interceptación, transpiración, infiltración, percolación, almacenamiento y escorrentía

El objetivo principal de evaluar estos procesos hidrológicos, es desarrollar metodologías y técnicas para de una u otra forma atenuar los efectos negativos directos e indirectos de la degradación de suelo y agua, asegurando así sostenibilidad en la productividad (Pla, 2003).

2.1.1 Balance hídrico

Es la expresión cuantitativa del equilibrio entre aportaciones y descarga de agua. Es la forma más directa de determinar las pérdidas por transmisión (Tuñón, 2000). Se basa en el principio de que “*cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, las diferencias entre las entradas y salidas estarán condicionadas por la variación del volumen de agua almacenada*” (Jiménez, 2003 citado por Ríos, 2006) cuya fórmula se expresa a continuación:

$$Pp + R = ET + D + E \pm \Delta H$$

Donde se busca definir los siguientes parámetros en (mm)

Pp	=	Precipitación
R	=	Riego
ET	=	Evapotranspiración
D	=	Drenaje

E	=	Escurrimiento superficial
ΔH	=	Diferencial de humedad en el suelo

2.1.2 Precipitación

Sánchez (2004) define como precipitación a “*cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre*” incluyendo toda forma de agua (lluvia, nieve, granizo, escarcha). Este fenómeno atmosférico da inicio debido a la condensación del vapor de agua contenido en las nubes y depende principalmente de tres factores: presión, temperatura y radiación solar. En las nubes, formadas por un “enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación” (Maderey, 2005), se presentan descensos de presión y temperatura que asociado a la humedad y velocidad vertical del aire provocan que las partículas de agua por efecto de gravedad, desciendan a la superficie distribuyéndose en lagos, ríos, montañas, o subsuelo (San Diego Department of Agriculture, Weights and Measures, s.f).

Paris *et ál* (2009) exponen tres tipos de precipitación, atendiendo a los fenómenos meteorológicos, siendo estos: ciclónicas, convectivas y orográficas:

Las *precipitaciones Ciclónicas* son las asociadas a fenómenos ciclónicos (Maderey, 2005 y Sánchez, 2004). Este tipo de sistema es el resultante de la interacción de dos masas de aire contrastantes (frío y caliente) denominada frente frío en el caso en que una masa de aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos a veces intensos así como de tormentas y granizo; y frente cálido en casos en que el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, dando lugar a una nubosidad mas estratiforme que en el frente frío y por consiguiente a lluvias y lloviznas mas continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea (Brutsaert, 2005).

El tipo de *precipitación convectiva* proviene de cumulonimbos o cúmulos congestus, la lluvia cae a la superficie terrestre con intensidad altamente variable, este tipo de precipitación sucede en lapsos temporales generalmente cortos (ciclohídrológico.com, s.f). Se originan debido a la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las que la rodea, la cual asciende, se enfría, se condensa y cae en forma de tormentas o chubascos.

La *precipitación Orográfica* es la que tienen su origen en el ascenso de una masa de aire por una barrera montañosa (RAM, 2002 y Navia, 2002)

Brutsaert (2005) determina que las precipitaciones se distribuyen en la superficie como respuesta a: *Variaciones Temporales*: en el ámbito de un año, en efecto siempre hay meses en que las precipitaciones son mayores que en otros. Para evaluar correctamente las características objetivas del clima, las precipitaciones mensuales deben haber sido observadas por un periodo de por lo menos 20 a 30 años, lo que se llama un periodo de observación largo; y *Variación Espacial*: la distribución espacial de la precipitación sobre los continentes es muy variada, donde las precipitaciones son extremadamente escasas y otras muy húmedas; la orografía del terreno influye fuertemente en las precipitaciones. Una elevación del terreno provoca muy frecuentemente un aumento local de las precipitaciones, al provocar la ascensión de las masas de aire saturadas de vapor de agua.

De acuerdo a Ríos (2006), en referencia a sistemas productivos, “*la lluvia que ingresa al sistema proveniente de las nubes*” es denominada *precipitación incidente*, y la lluvia que llega al suelo de forma directa o por consecuencia de goteo del dosel, se conoce como *precipitación neta*, la diferencia entre estos dos valores es a lo que se llama *interceptación de la precipitación* representada por el agua interceptada por el dosel que regresa a la atmósfera debido a la evaporación.

La cantidad de lluvia se puede medir por medio de un recipiente graduado y de paredes rectas, la unidad de medida es el milímetro (mm) y suele expresarse en $\text{mm}^{-1} \text{h}$ (milímetros por hora) para referirse a intensidad (Sanchez, 2004), el instrumento de medida utilizado generalmente para tomar medidas diarias es el pluviómetro, pero en casos en que se necesite conocer si el agua recogida del día cayó en una hora o a lo largo del día se utiliza un pluviógrafo para registrar datos continuos.

2.1.3 Infiltración y Humedad

Se conoce por infiltración a la “*entrada de agua en el perfil a través de la superficie del suelo*” (Richmond y Rillo, 2005) por fuerza de gravedad, la cual mantiene una película

fina de agua alrededor de las partículas de suelo (Chagoya, 2009). Existen varios factores influyentes dentro de este proceso y controlan el movimiento del agua en el suelo, de entre los cuales se puede nombrar: la condición de la superficie de suelo y sus propiedades (porosidad, conductividad hidráulica), la cubierta vegetal (Chow *et al*, 1994; Vélez y Vélez, 2002), las propiedades del suelo (porosidad y conductividad hidráulica) y el contenido de humedad del suelo, siendo este último de gran importancia para determinar el balance hídrico¹ (Ríos, 2006). La tasa a la cual el agua entra en el suelo se denomina capacidad de infiltración y es expresada en (cm⁻¹ h), esta capacidad de infiltración es considerada como indicador clave de calidad de suelo (Kunts *et al*, 2003). Y se obtiene haciendo el cociente entre cantidad de agua infiltrada y el intervalo de tiempo:

$$f = \frac{\text{Variación altura}}{\text{Variación de tiempo}}$$

Cuadro 1. Funciones principales usadas para determinar infiltración.²

AUTOR	FUNCIÓN	LEYENDA
Horton	$i(t) = i_f + (i_0 - i_f)e^{-t}$	$i(t)$ - tiempo capacidad de infiltración. (cm ⁻¹ s) i_0 - Capacidad de infiltración inicial. (cm ⁻¹ s) i_f - Capacidad de infiltración final. (cm ⁻¹ s) g - Constante dependiente del tipo de suelo.
Kostiakov	$i(t) = i_0 t^{-a}$	a - Parámetro dependiente de las condiciones del suelo.
Dvorak - Mezencev	$i(t) = i_0 + (i_1 - i_f) t^{-b}$	i_1 - capacidad de infiltración al tiempo. t=1min (cm ⁻¹ s) t - tiempo. (cm ⁻¹ s) b - Constante
Holtan	$i(t) = i_f + cw[(IMD) - F]^n$	c -factor variable de 0,25 a 0,8 w -Ecuación de factor de flujo de Holtan. n - Constante experimental aprox. =1,4

¹ La expresión cuantitativa del equilibrio entre aportaciones y descarga de agua.

² Tomado de http://hydram.epfl.ch/e-drologie/english/mod_1a/chapt_5/text.htm

Philip	$i(t) = \frac{1}{12}ST^{-0.5} + A^{-r}$	S - Capacidad de absorción ($\text{cms}^{-0.5}$) A - Componente de gravedad dependiente de la - Conductividad hidráulica a saturación.
Dooge	$i(t) = a(F_{max} - F_t)$	a - Constante F_{max} - capacidad de retención máxima F_t - Cantidad de agua retenida en el suelo en el momento.
Green&Ampt	$i(t) = k_s \left(1 + \frac{h_0 - h_f}{Z_f(t)} \right)$	k_s - Conductividad hidráulica a saturación (mm^{-1} h) h_0 - Presión de carga superficial (mm) h_f - Presión de carga en frente húmedo (mm) Z_f - Profundidad frente húmedo. (mm)

Los modelos expuestos en el Cuadro 1 describen de manera simplificada el movimiento del agua en el suelo tomando en cuenta ciertos parámetros físicos. De la misma manera, para realizar una estimación del contenido de agua en el suelo se pueden utilizar métodos directos (Gravimétricos y Volumétricos) e indirectos (volumétrico, Tensiométrico) (Muñoz, 2005).

Ríos (2006) expresa que la humedad gravimétrica “*se refiere a la masa de agua en relación a la masa de suelo seco*” y se expresa en porcentaje o en fracciones que van de 1 a 0, para lo cual se aplica la formula:

$$\mathbf{Hg} = \frac{\mathbf{Ma}}{\mathbf{Ms}} > 100$$

Donde:

- Hg = humedad gravimétrica (%)
Ma = peso del agua
Ms = peso de suelo seco a 110° C.

De la misma manera, sugiere que la humedad volumétrica “*se refiere al volumen de agua con relación al volumen total del suelo*” usada para calcular la lámina de agua mediante la fórmula siguiente:

$$H_v = \frac{\text{Volumen de agua en el suelo}}{\text{Volumentoral del suelo}} 100$$

$$H_v = H_g \times d_a$$

Donde:

H_v	=	humedad volumétrica (%)
H_g	=	humedad gravimétrica (%)
D_a	=	densidad aparente

2.1.4 Evapotranspiración.

Es la unión de dos procesos: evaporación y transpiración (Sánchez, 2004) y es según Paris *et al.* (2009) el proceso físico mediante el cual el agua del suelos y transpiración de plantas pasa de estado líquido a gaseoso, denominada de esta manera debido a la dificultad de estimar estos valores de evaporación de forma separada. De igual forma que en la evaporación los factores que dominan la evapotranspiración son: el suministro de energía y el transporte de vapor (Chow, 1994) representados por la radiación solar, temperatura del aire, presión de vapor y el viento (Villón, 2002)

La primera definición de evapotranspiración fue dada por Dalton en el año 1806 (Tuñón, 2000) quien utilizó para su estimación la siguiente ecuación:

$$E = K (p_s - p_v)$$

Donde:

E	=	Evaporación (mm)
K	=	Coefficiente de proporcionalidad
p_s	=	Presión de vapor saturado a la temperatura del agua (mm de Hg)
p_v	=	Presión de vapor existente en el aire circundante (mm de Hg)

Más adelante, (1948) Thornthwaite por un lado y Penman por otro, definieron distintos conceptos para evapotranspiración potencial (ETp) la cual expresaba de forma más exacta la transferencia de agua, y se refiere a la “*pérdida total del agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación*” (Villón, 2004) y para su estimación existen métodos basados en datos meteorológicos, de los cuales el de Thornthwaite y el de Blaney – Clidde son los más utilizados.

Se establecieron entonces varios conceptos y definiciones, además del de la evapotranspiración potencial, a fin de tener un mejor entendimiento considerando las condiciones de clima, suelo y cultivo, tales son: Evapotranspiración de referencia, establecida para relacionar más directamente la relación de requerimientos de agua y cultivo; evapotranspiración real, con la misma idea de los conceptos anteriores incluyendo las reservas de humedad del suelo (factor Kc) dependiente de esta, el cual es un coeficiente de ajuste a partir de la de la evapotranspiración potencial o evaporación real específicas de cada cultivo (Molina, 2003). Para la medición de la evapotranspiración existen numerosos instrumentos pudiendo nombrar los lisímetros, evaporímetros y los tanques de evaporación (Tuñón, 2000).

2.1.5 Escorrentía

Es la parte de la precipitación que escurre por el suelo y luego regresan al mar o fuentes de agua (Chow, 1994). La escorrentía sucede cuando la intensidad de lluvias excede la tasa de infiltración, es decir cuando el suelo está saturado y depende de la intensidad de las lluvias, tipo de suelo y su estado superficial, de la cobertura del suelo y de la pendiente. (Scherrer y Naef, 2003). Las técnicas de medición de la escorrentía son parte de la Hidrometría y los lugares en los que se encuentran se denominan estaciones fluviométricas. El término coeficiente de escurrimiento responde al cociente entre la escorrentía provocada por un aguacero y la precipitación caída.

$$C = \frac{Es}{P}$$

Donde

- C = Coeficiente de escorrentía (%)
- Es = Escorrentía superficial provocada por un aguacero (mm)
- P = Precipitación (mm)

Este coeficiente depende de muchos factores, entre ellos precipitación (cantidad, intensidad y distribución en el tiempo), humedad inicial del suelo, tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, microrelieve, rugosidad), cobertura vegetal.

Según Sánchez (2004) la escorrentía puede ser: *Directa* -la suma de escorrentía superficial y subsuperficial que llega a los cauces o cuerpos de agua en un tiempo corto-; y *Básica* -comprende la escorrentía subterránea y la escorrentía superficial diferida, es "la que alimenta los cauces superficiales en los estiajes, durante periodo sin precipitaciones.

En el proceso de escorrentía se distinguen también dos fases fundamentales: *Fase de ladera* (cuando no existe cauce establecido). En esta fase se pueden dar tres tipos de circulación: Horton (a medida que circula el agua se infiltra), Betson (la escorrentía empieza en un lapso corto de tiempo), Anne (en un determinado frente influye la línea de carga); *Fase de redes fluviales*. Es la fase de circulación, en la que toda el agua que circula por laderas confluye en un cauce principal de la cuenca

2.1.6 Erosión Hídrica

Morgan (1997) describe a la erosión como un proceso de desgaste del suelo, generalmente lento debido a la influencia de algún factor físico o agente erosivo de los cuales el agua y aire son los principales causantes. Este proceso mecánico consta de dos fases, una de ellas es el desprendimiento de las partículas del suelo y el otro consiste en el arrastre de estas partículas, teniendo efectos directos sobre la fertilidad del suelo, ya que en la capas superficiales es donde se concentran gran parte de los nutrientes; pérdidas de recurso hídrico ya que al no haber nutrientes no crecen las plantas que son quienes ayudan a retener agua en el subsuelo; riesgos de inundaciones debido a que al disminuir la capacidad del suelo de retener agua aumenta la escorrentía superficial, escorrentía que aumenta las cargas solidas que van a ser depositadas en cuerpos de agua muchas veces desviando sus cursos. Este proceso afecta directamente la vulnerabilidad de las poblaciones, a los ecosistemas y productividad.

De acuerdo a datos de la FAO referidos al año 1996 se señalan ocho tipos de degradación de suelos siendo los más importantes la erosión eólica y la erosión hídrica, esta

última, de interés en este trabajo. La erosión hídrica, según definición de la RAAA (2002), es el desprendimiento y/o arrastre de suelo por acción del agua. Esta pérdida de partículas de suelo es representada por el sedimento desprendido de un área con pendiente y en consecuencia se relaciona directamente con la dirección que sigue el agua a través de la cobertura vegetal (Morgan, 1997); de acuerdo a esto se tiene que existen factores que determinan la cantidad de erosión hídrica, entre ellos están los factores climáticos, intensidad y duración de lluvias, pendiente del terreno, la naturaleza de la cobertura vegetal, manejo inadecuado del suelo, y las variaciones temporales y espaciales.

2.2 Metodologías para cuantificar escorrentía, infiltración y erosión en diferentes usos de suelo y ecosistemas

El conocimiento del comportamiento del agua sobre la superficie es importante dentro del análisis del ciclo hidrológico ya que estos procesos afectan directamente sobre la aportación de la superficie del suelo en la recarga de un acuífero (Kunrczyb-Robledo, Hinojosa-Corona y Kretzchmar, 2007). El principal objetivo de evaluar los procesos hidrológicos, es desarrollar metodologías y técnicas para comprender estos procesos, corregirlos o controlarlos, si cabe el caso, y de esta manera mitigar los efectos negativos directos e indirectos de la degradación de suelo y agua y asegurar sostenibilidad en la productividad.

Para generar una estimación de variables como escorrentía e infiltración existen varios métodos, pudiendo clasificar estos en directos, los cuales consisten en la instalación de unidades experimentales en campo; y métodos indirectos a través de expresiones matemáticas con recopilación de información y modelación. Estos últimos ahorran tiempo y dinero, factores que caracterizan a los métodos directos. (Chela *et al.* 2008). A continuación se presentan varias metodologías utilizadas para estudiar procesos de escorrentía e infiltración cuyos resultados luego pueden ser utilizadas para estimar la pérdida de suelo lo cual representa una herramienta importante para la gestión de uso de la tierra más aun en cuencas de montaña donde intervención antrópica conlleva a un aumento de la intensidad de los procesos erosivos (Bodoque, 2007).

2.2.1 *Métodos Directos:*

a.- Escorrentía Superficial.

FAO (1997) resalta el uso de parcelas de escorrentía cuando se necesita demostrar o comparar el efecto de la vegetación en la erosión por escorrentía, asimismo, determina la importancia de estas en la obtención de datos para "validar un modelo o ecuación destinado a predecir escorrentía" Esta metodología basada en "parcelas de escorrentía" ha sido evaluada en varios estudios (da Silva et ál, 2006; Ríos, 2006; Márquez, *et al.* 2008; Chela *et al.* 2008; Chagoya, 2009)

Denoia (2001) aplicó una metodología basada en simuladores de lluvia portátiles con iguales características de una lluvia natural (intensidad regulable $-60\text{mm}^{-1}\text{h}$ -, tamaño de gota, golpe de gota), realizando pruebas secuenciales en serie de tres sobre cada tratamiento (una hora de duración, 30 min, 15 min respectivamente) tomando luego muestras del escurrimiento cada cinco minutos. Este experimento condujo a obtener resultados que apoyan lo expuesto por Márquez *et al.* (2008) quien determina mediante metodología de simulación de lluvia en sistemas con laboreo tradicional, que la vegetación es determinante para controlar la pérdida de suelo por acción hídrica (Ataroff y Sánchez, 2000; Rodriguez *et al.* 2005; Pizarro *et al.* 2005), dicha aseveración la realizan también Gómez *et al.* (2005) luego de usar un método directo (tomas de muestra de suelo) y corroborar datos con el modelo de simulación lattice Boltzmann model (LBM).

Francisco *et al.* (2006) estimaron el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo registrando datos mediante lotes de escurrimiento, de 2 m de ancho y 25 m de longitud, delimitados con lámina de asbesto, con descarga en tres depósitos. Cada 24 h se midió la altura del escurrimiento en los depósitos, para obtener la lámina escurrida, mientras que para estimar la pérdida de suelo se tomaron muestras de agua con sedimentos totales, las cuales se secaron a 105 °C en estufa de aire forzado.

En el caso de que se tome muestras de suelo para obtener información en laboratorio del tamaño de sedimento y porcentaje de humedad (información clave para evaluar coeficientes de escorrentía), se debe tomar en cuenta que en áreas de estudio extensas esta

práctica se vería afectada directamente por el tiempo que tardaría recolectar las muestras y la variación de la humedad en este tiempo; teniendo como alternativa las mediciones radiométricas de la superficie del suelo mediante sensores remotos espaciales (Kurczyn-Robledo *et al.* 2007)

b.- Infiltración.

Richmond, y Rillo (2005) caracterizaron la influencia de distintas historias de manejo para una misma serie de suelos y en comparación con la situación original sin disturbar, utilizando la infiltración básica como indicador de la situación física del suelo; para ello se tomo como instrumento base un permeámetro de disco (instrumento para medir propiedades hidráulicas del suelo). Otro de los métodos más utilizados es el de anillos concéntricos el cual es usado para determinar la velocidad de infiltración como lo hicieron Ruiz *et al.* (2004), quienes a partir de los datos experimentales tomados a campo de tiempo y lámina, calcularon las constantes “K” y “n” de la ecuación de Kostiakov para luego establecer la velocidad de infiltración y la infiltración básica.

Este método de anillos concéntricos básicamente consiste en instalar dos cilindros (uno interno de 30 cm. de diámetro y 30 cm. de altura y uno externo de 50 cm. de diámetro y 20 cm. de altura) enterrándolos en el suelo (5 cm el externo y 10 cm. el interno) y llenando el anillo externo con agua a una altura constante de 5 cm. (el anillo interno debe mantener una altura de agua constante de 7.5cm), es necesario colocar una tela o algún material que evite la compactación del suelo por golpe directo. Para hacer las mediciones se utiliza una regla graduada a intervalos de 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,20,30,45,60,90 y 120 minutos (Ríos, 2006), aplicando luego la siguiente fórmula para cálculo de velocidad de infiltración::

$$VI = \frac{(\Delta \text{ de lectura } \times 600)}{\Delta \text{ de tiempo}}$$

Donde:

VI	=	Velocidad de infiltración en mmh ¹ .
Δ de lectura	=	Diferencial de lectura en cm.
Δ de tiempo	=	Diferencial de tiempo en minutos
600	=	Factor de conversión para convertir cmh ¹ a mmh ¹

c.- Erosión.

Martínez *et al.* (1999) midieron el proceso de erosión hídrica través de parcelas con clavos de erosión. Este método experimental sencillo, directo, de gran precisión y principalmente de bajo costo, se realiza totalmente en terreno. El método trabaja sobre parcelas de superficie variable. Las parcelas no tienen bermas u orillas, por lo cual el método se ajusta más a la realidad. El material utilizado corresponde a unos clavos de 30 cm de largo, los cuales se encuentran pintados con el objeto de marcar el nivel actual del suelo. En cada parcela se colocan varios clavos, siendo el número de éstos función del grado de exactitud que se quiera lograr. Luego, se deja actuar a la naturaleza por el espacio de tiempo requerido y se realizan las mediciones. Para una mayor exactitud se recomienda instalar un mínimo de tres parcelas en el área en estudio.

Martínez, *et al.* (1999), para el estudio mencionado, consideraron parcelas de 10 m de largo y 1,2 m de ancho, los clavos se distanciaron a 30 cm en el largo de la parcela y a 40 cm en el ancho, alcanzando un número de 140 clavos por parcela (420 por situación), lo cual corresponde a un número óptimo de clavos, considerando varianza máxima y un error de muestreo de 5%. Las dimensiones de las parcelas fueron las adecuadas, ya que permitieron realizar las mediciones respectivas sin problemas. Cada parcela fue instalada en forma aleatoria en el lugar del ensayo con el cuidado que la distancia entre ellas fuera mayor a 3 m. Las parcelas se instalaron en suelo desnudo, con rango de pendiente que varía entre 5% y 10% (moderadamente inclinado).

Santiago (2006) estimó la pérdida de suelo utilizando el método de chapas, un método sencillo aplicable en zonas de escasa vegetación, como en áreas de suelos desnudos empleados en actividades agrícolas. Esta técnica consiste en colocar tapas de refresco al revés, enterrándolas a ras del terreno, colocadas siguiendo una cuadrícula con distancias no muy amplias como para obtener valores más exactos, por ejemplo, cada 5 metros. Después de ocurrido un aguacero se acudirá a la zona y se medirá la altura del pedestal formado por debajo de cada chapa (ocurre lo mismo que en las pirámides de tierra). Se determina el promedio de la altura de los pedestales y, por último, se multiplica por el área de la zona en estudio (Pérdida de suelo = Área x Espesor). El resultado será la pérdida de suelo estimada en metros cúbicos. Si se conoce el peso promedio del suelo, el resultado podrá expresarse

también en kilogramos o en toneladas. Cuando se trate de una zona muy lluviosa los pedestales bajo las chapas se vendrán abajo, y entonces será necesario emplear estacas graduadas.

En áreas cubiertas de vegetación se pueden utilizar bandejas o recipientes colocándolas al pie de las vertientes en estudio, justo donde desemboquen las aguas de arroyada. Al cesar el flujo, se procede a determinar la cantidad de materiales atrapados en dichos recipientes.

2.2.2 Métodos Indirectos:

a.- Escorrentía Superficial

Este tipo de metodologías considera el uso de modelos cuyos principales componentes son las características de una cuenca (suelos, topografía, cobertura vegetal, entre otros) y se basan en la teoría de que estas características determinan la tasa y tipo de ocurrencia de los parámetros hidrológicos.

Los métodos indirectos para estimar escorrentía, entre ellos el del balance hídrico y el de la curva numérica (USDA, 1986) son procedimientos que permiten estimar los componentes del balance hídrico en zonas donde no se cuenta con información meteorológica, o bien ésta es escasa (Thorhwaite y Matter, 1955). Cabe indicar que los resultados obtenidos por métodos indirectos han sido criticados por su carácter empírico, sin embargo permiten extender registros de caudal y mejorar así los métodos para estimar crecidas. Las meteorologías indirectas para estimar escorrentía abarcan una amplia gama de relaciones empíricas de entre simples a muy complejos modelos de simulación que facilitan la obtención de las variaciones espaciales y temporales del proceso (Mendoza, 2002).

b.- Infiltración

Para el estudio de la infiltración existen modelos de "pérdidas" y modelos de cálculo de infiltración, el primero de estos consideran a la infiltración como una pérdida de la precipitación y el segundo tipo ayuda a obtener valores a través de variables tales como la humedad del suelo (ecuación de Richards, 1931) (Reyna y Reyna, 1999).

Triviño y Ortiz (2004) justifican el uso de modelos de simulación para estimación de escorrentía y mejor entendimiento de los procesos inmersos, ya que el uso de computadores "*incrementa la potencia de las operaciones de cálculo y el nivel de detalle de la cartografía*". Tapiador y Casanova (2000) presentan "una metodología basada en el análisis geográfico cuantitativo, utilizando SIG como medio de cálculo, de presentación de resultados, y de tratamiento de la información en general". Estos métodos requieren el uso de modelos de elevación digital, cálculos de humedad y temperatura del suelo y mapas de uso de suelo principalmente.

En 1986 el Servicio Nacional de Conservación de Recursos de los EE.UU. desarrolló un método sencillo y eficiente para estimar la escorrentía debida a un evento de lluvia y la cantidad de agua infiltrada, llamado método de los números de curva para escorrentía, basándose en la determinación de coeficientes de escorrentía³, la cobertura superficial y las condiciones hidrológicas.

c.- Erosión.

Para determinar la tasa de erosión hídrica puede utilizarse la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica (USLE) establecida por Wischmeyer y Smith en 1978 (Cartes *et al.* 2009), la cual establece:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Donde:

A	=	pérdida de suelo actual en toneladas. ha ⁻¹
R	=	erosividad de las lluvias en t.m. ha. ⁻¹ cm h ⁻¹ 10
K	=	susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, en unidades métricas
L	=	factor longitud de pendiente
S	=	Factor pendiente

³ "Los Coeficientes de escorrentía sirven para clasificar los suelos en base a su potencial de escorrentía o infiltración, bajo condiciones similares de lluvia". Las clases son A, B, C, D siendo A, el suelo con mayor velocidad. (Kurczyn-Robledo *et al.* 2007)

Los factores L y S se denominan factor topográfico y se los determina en forma conjunta

C = factor cultivo o cobertura
P = factor práctica conservacionista

Honorato *et al.* (2001) por medio de este modelo (USLE) determinaron pérdidas de entre 22,4 a 34,9 Mg⁻¹ ha año en suelos sin cobertura. De la misma manera Oñate-Valdivieso (2004) utilizó esta ecuación en combinación con un sistema de información geográfica (SIG) para la estimación de la erosión hídrica, la cual luego de análisis, resulto ser mayor en zonas con pendientes considerablemente fuertes. Esta ecuación es la más usada para determinar pérdida de suelo pudiendo citar trabajos como los de (Gaspari *et al.* 2008)

Los valores resultantes de erosión dependen de las condiciones del medio y método empleado, Pando *et al.* (2003) en un estudio comparativo entre métodos directos e indirectos, encontró que el método propuesto por FAO (Índice Fournier, 1979) fue el método indirecto que más se acercó a los resultados obtenidos mediante métodos directos. Es de esperar que los métodos indirectos sobrestimen o subestimen los resultados en cuanto a las variables evaluadas ya que no toman en cuenta variaciones, como es el caso del estudio realizado por Pando *et al.* (2003) quienes notaron que la presencia de cárcavas dentro de la zona de estudios hacia variar los resultados obtenidos por un método bastante preciso (método propuesto por FAO en 1979).

2.3 Impacto de la Ganadería en la erosión del suelo

Si bien en un principio la búsqueda de tierras para siembra de productos agrícolas, dieron buenos rendimientos, como producto de la gran cantidad de materia orgánica que había disponible en el suelo gracias a la acumulación de la materia vegetal aportada por el bosque; a medida que se usaban los suelos las lluvias lavaron la fertilidad natural. Después de que los rendimientos de los cultivos descendieron significativamente, se optó por la ganadería (Castaño, 2007), actividad que actualmente sufre una creciente demanda mundial de proteína animal y subproductos para alimentar a una población en aumento, siendo un aspecto preocupante que cada vez capta mayor atención entre investigadores, conservacionistas,

decisiones políticas, comunidades y sociedad en general, ya que para satisfacer dicha demanda se utilizan grandes extensiones de tierra bajo sistemas intensivos (FAO, 2008)

FAO (2005) y Steinfeld, *et al.* (2009) describen a la ganadería como la actividad que más superficie de tierra utiliza con además una importancia social y política significativa debido a que suministra un tercio del consumo mundial de proteínas, esto la convierte en una actividad económica altamente rentable y atractiva. Es así como se tiene una cuarta parte de la superficie de tierra en el planeta cubierta por pastizales (Newman, 2000 citado por Rebollo y Gómez, 2003) siendo uno de los principales usos de la tierra en América Latina y el Caribe; solo en Centroamérica cerca de 48% del territorio se utiliza para pastoreo (Steinfeld, 2002); 9 millones del total en hectáreas fueron producto de la transformación de bosque a pasturas y monocultivos, las cuales presentan presentando un alto porcentaje de degradación de suelos (Szott *et al.* 2000 citado por Casasola *et al.* 2009)

Lamentablemente y en su mayoría, la actividad ganadera está caracterizada por bajos niveles de productividad, rentabilidad y efectos provocados por ambientes negativos, teniendo incidencia en la tasa de deforestación, degradación de suelos, fragmentación de paisajes, pérdida de biodiversidad, (Betteridge *et al.* 2002, Murgueitio *et al.* 2003; Drewry *et al.* 2004; Tobar e Ibrahim, 2008), reducción del nivel de ingresos en sistemas ganaderos de pequeños productores y sobre los cuerpos de agua (FAO, 2008). Travieso *et al.* (2005) concluyen que *"Un conjunto de factores asociados al desarrollo de la ganadería bovina (modificación de la hidrología, introducción de especies no nativas y pastoreo) afectan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la asignación de biomasa, la riqueza y el reemplazo de especies"*. Datos obtenidos por De la Orden *et al.* (2006) demuestran que *"el pastoreo continuo, y con una alta intensidad de carga, influyó directamente sobre la producción total de forraje, y probablemente sobre el hábito de crecimiento de las especies que componen el pastizal"*, y encontró diferencias en acumulación de biomasa aérea entre la zona pastoreo (1.500 kg⁻¹ ha.) y un área clausurada para efecto de investigación (6.000 kg⁻¹ ha.).

López (2001) mediante estudio en Sonora, México encontró que los procesos erosivos se daban mayormente en las tierras destinadas a ganadería, pudiéndose deber esto a que es el uso de suelo predominante y el manejo ineficiente del recurso. El problema crece en medida en que la ganadería se intensifica, ya que el medio ecológico que representa el estiércol se

multiplica; y un alto porcentaje de este se queda sin desintegrar, esta acumulación de estiércol conlleva a problemas con el reciclaje de esta materia orgánica de desecho, principalmente la pérdida de áreas y productividad de los pastizales, así como la proliferación de parásitos y de moscas (Martinez *et al.* 2000).

Se comprueba entonces, que indudablemente los problemas de la erosión están íntimamente relacionados con el manejo que se da a las explotaciones pecuarias, en las cuales el sobrepastoreo es factor de especial importancia, ya que los animales pastando en los potreros extensos son selectivos, y prefieren los pastos tiernos a los pastos ya maduros o sobrepasados de aprovechamiento (Castaño, 2007). Cuando el pastoreo se hace selectivo, el potrero es aprovechado por parches o zonas de fácil acceso para los animales, lo cual no da la oportunidad a que la planta se recupere plenamente e inicie su rebrote dejando, luego de alimentarse, suelos desprotegidos (Cingolani *et al.* 2008; Gil de Luna *et al.* 2008),

Cuando los pastoreos se realizan en los periodos de lluvia, generalmente el pasto es exuberante y la posibilidad de encontrar alimento es más fácil que en los periodos secos. Desafortunadamente cuando los potreros son sobrepastoreados el prendimiento o rebrote del pasto se afecta, ocasionado la presencia de áreas sin ninguna vegetación, o presencia excesiva de malezas, que disminuyen la capacidad de carga de los potreros, por otra parte al quedar los potreros sin vegetación, se hacen más susceptibles a la erosión, pues el pasto en este caso, obra en el suelo como protector o cobertor ante la gota de lluvia, que cae con gran velocidad y disgrega el suelo, a esto se suma el pisoteo del ganado, mismo que tiene efecto sobre la calidad del suelo, crecimiento de los pastos (Drewry *et al.* 2004) y ocasiona que las aguas lluvias no puedan ser absorbidas por el suelo por tener disminuida su capacidad de retener agua; es entonces cuando estas aguas dispersas, se tornan en aguas de escorrentía, que buscan la pendiente para desplazarse y suelen ocasionar deslizamientos y derrumbes, pues a medida que aumenta su volumen aumenta su fuerza, y capacidad de arrastre.

La erosión hídrica del suelo es uno de los problemas más importantes en los ecosistemas (Cartes, *et al.* 2009), y zonas dedicadas a la ganadería sobre todo cuando esta se desarrolla en áreas de pendiente, ya que a medida que la pendiente se incrementa los riesgos de erosión sigue la misma tendencia (Arce, 2004). Este efecto responde principalmente a

factores de prácticas de manejo, sobre todo en condiciones de pendiente, ya sea para producción agrícola o pecuaria.

Báez, Castro y Novoa (2005) confirman luego de investigación que la lixiviación en un pasto permanente destinado a corte es generalmente muy inferior a la que se obtiene cuando su aprovechamiento es directamente por el ganado. Si bien es cierto, la erosión responde tanto a la fragilidad del suelo como a las prácticas productivas, es innegable el efecto acelerador de la ganadería sobre el medio terrestre, por lo cual urge tomar medidas para evitar el avance del proceso (Lopez, 2001). Es así como extensas áreas cultivadas o destinadas a la ganadería, son consecuencia de la destrucción del recurso bosque, y dado que “*el bosque es y será el estado clímax de protección de una zona*” (Martínez 2009) es importante tomar en cuenta que cuando se pretende implementar estrategias productivas no es necesaria la *explotación* de los recursos disponibles, sin pensar posiblemente, en aprovecharlos de una manera sostenible.

En base a este aumento de áreas destinadas a ganadería se han propuesto diferentes alternativas que fomentan la inserción de arboles en potreros, cercas vivas, pasturas mejoradas, bancos forrajeros, entre otras prácticas para conservación o regeneración de bosques (Ibrahim *et al.* 20007). La incorporación de leñosas perennes (árboles y bustos) en los sistemas ganaderos tradicionales, permite incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y disminuir los procesos de erosión. Estos resultados han sido explicados por el mayor reciclaje de nutrientes que ocurre, la fijación de N, la profundización de las raíces de los árboles, la mayor actividad de la macro y micro fauna y el control de la erosión.

El uso de especies arbóreas en los sistemas ganaderos tradicionales mejora el ciclaje de nutrientes incorporándolos a su biomasa y luego regresándolos a la superficie del suelo a través de los aportes de hojarasca, profundización de raíces; permitiendo incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y controlar los procesos erosivos (Mahecha, 2002), además de proveer servicios múltiples como provisión de sombra y madera para construcciones, y alimentación para el ganado (Lopez *et al.* 2007). Algunas especies de árboles, especialmente los leguminosos, tienen la capacidad de fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico, además de esto favorecen el recambio radicular (después de podas o ramoneo), mejoran la calidad física y química del suelo, lo que permite una recuperación de las áreas de pasturas degradadas. (Navas, 2007). En términos ecológicos, en potreros

arbolados y con buena cobertura de la pastura se reduce la escorrentía superficial (Ríos et al. 2008a), lo cual tendría un impacto en procesos de erosión que se darían en pasturas.

El problema es complejo y se debe entender que la imagen negativa de la ganadería en términos ambientales no proviene de la actividad *per se* sino que deriva de la combinación de múltiples factores (Naranjo, 2003), no obstante (Milchunas et al., 1988; Días et al., 1994; Pucheta et al., 1998) consideran que el pastoreo es un componente incorporado al sistema.

(Mahecha, 2002; FAO, 2008) concuerdan en que los problema de la ganadería están condicionados por aspectos de mayor amplitud, como el aprovechamiento de la tierra y el crecimiento demográfico, así como las repercusiones y las relaciones internacionales respecto a la deuda, el comercio y las ayudas. Esta realidad propone entonces un cambio de paradigma que conduzca a un modelo de organización de la producción y de ocupación de territorio, teniendo en cuenta que para que las alternativas de cambio tengan posibilidades de éxito es necesario que sean económicamente sostenibles, socialmente viables (Menéndez, 2002; IFPRI, 2008) y amigables con el ambiente (Pomareda, 2009).

No cabe duda de que la identificación y venta de servicios ambientales en la ganadería, se convierte en una alternativa atractiva para facilitar las actividades del sector ganadero en el aspecto ambiental. Sin embargo, cabe indicar que la implementación de esta propuesta es un tema en constante debate y del cual se conoce poco. Esta situación requiere conciliar intereses grupales mas allá de la unidad de producción, dependiendo del recurso, las condiciones y del instrumento de incentivo que se pretenda aplicar.

2.4 Valoración económica de la erosión: Métodos y conceptos.

Con el pasar del tiempo y al utilizar nuevos conceptos referentes a la relación productividad - ambiente se han definido términos como el de *Desarrollo Sostenible*, término que no se puede desvincular de aspectos como la *Contabilidad Ambiental*, la cual necesitaba desarrollar metodologías que ayuden a su aplicación, control y evaluación; es así como se consideró la posibilidad de la contabilidad física y monetaria para los recursos naturales y ambiente (Sánchez, 2003). Dixon y Pagiola (1998) afirman que "*la calidad ambiental afecta el precio que las personas están dispuestas a pagar por un bien o servicio*", se deduce entonces

que al no haber un mercado para los bienes o servicios ambientales, no significa bajo ninguna razón que el valor de estos sea cero.

La valoración económica determina en términos monetarios las características físicas y psíquicas obtenidas en la evaluación de factores ambientales (Mendiburu, 2004; Pagiola, 2004, Jaramillo, 2004), y el valor que la sociedad otorga a un recurso (PASOLAC, 2004). Para valorar los impactos ambientales, es necesario primeramente la identificación y medición de los mismos, lo cual resulta bastante difícil ya que estos presentan características espaciales y temporales altamente variables (King, et al. 2003), dificultando así establecer causas y efectos, a esto se suma el hecho de que si existieran datos, estos son de mala calidad (Dixon y Pagiola, 1998). En términos generales existe una diferencia muy marcada entre los beneficios esperados por tomadores de decisión privada y los esperados por la sociedad, como ejemplo se podría tomar un cambio bosque a pasturas, lo cual sería correcto desde la perspectiva privada, mas no necesariamente desde el punto de vista social (Retamal, 2006).

La mayor dificultad en la aplicación de valoración ambiental es definir quién da valoración al recurso, quienes son los usuarios y no usuarios, cuales son los derechos de estos, como también cual es el valor que pagaría cada uno de ellos dependiendo del uso del factor ambiental en estudio, es así como se crea el Valor Económico Total (VET) que bajo concepto de Cristeche y Penna (2008) es "*la agregación de los distintos valores marginales por debajo de algún tipo de umbral mínimo*", el cual generalmente está compuesto por el valor de uso y el valor de no uso. El valor de no uso está dado netamente por el valor de existencia (Burneo, 2003); y el valor de uso se puede dividir en: *valor de uso directo* (de consumo directo como por ejemplo la producción de alimentos, producción de materia prima, etc.), *valor de uso indirecto* (sombra de arboles, cortina rompe vientos, etc.) y *valor de opción* (es el valor de preservar un bien o servicio para usarlo en lo posterior); diferenciación que permite discriminar entre usuarios para conocer así quiénes están siendo afectados por el factor ambiental en discusión.

Cristeche y Penna (2008) sostienen que para calcular el *Valor Económico Total* (VET) pueden usarse distintos métodos, clasificándolos en: métodos indirectos (método de costos

evitados, método de costo de viaje, el método de los precios hedónicos) y método directo (método de la valoración contingente), cuyo objetivo principal es dar valor a bienes y servicios ambientales cuando no exista un mercado para ellos, basándose en que “*al no existir mercado, no existe precios definidos por el mismo, por lo cual la valoración debe efectuarse de un modo alternativo*” (Bach et al, 2009). La principal diferencia es que los métodos indirectos basan su valoración a partir de una situación ya ocurrida mediante el análisis de su comportamiento, y el método directo supone una situación que aun no se produce. (Cristeche y Penna, 2008)

En el medio agropecuario es innegable el servicio ecosistémico que presta el control de la erosión, ya que representa una gran limitante para el desarrollo de actividades productivas, sea esta provocada por factores naturales o de manejo (O’ryan et al, 2005; Cabriani y Calcaterra, 2009). Es así como se presenta la necesidad de comprender el costo de oportunidad de la erosión, el cual corresponderá a los beneficios dejados de percibir en el futuro, por haber explotado el suelo de manera que impida su regeneración natural. Se trata de representar el cálculo de la erosión del suelo sobre la productividad de los cultivos (Cristeche y Penna, 2008), tomando en cuenta que la erosión afecta las propiedades del suelo, el clima y las relaciones entre estos. (Garrido, 2006). En muchos casos según, Colombo (2004), la reducción de los efectos negativos de la erosión en un punto que no conmueve a los productores, para quienes a pesar de los enormes perjuicios que estos efectos causan a la sociedad, les resulta indiferente su reducción desde el punto de vista de rentabilidad de sus actividades agropecuarias.

2.4.1 Métodos Indirectos para la valoración ambiental.

Método de Costos evitados.- La metodología de Costos Evitados se asocia a situaciones en donde el bien o servicio no se comercializa, pero, se vincula con un bien o servicio que si lo hace (Cristeche y Penna, 2008), refleja la idea de que el costo por evitar daños al ambiente y/o los servicios que este presta, da una referencia de su valor en el mercado (Ecosystem Valuation, 2010). Este método es utilizado frecuentemente en aquellos casos en los que los costos que genera la permanencia de una situación, están asociados a eventos de naturaleza probabilística, por ejemplo los proyectos cuyos objetivos son mitigar los daños por inundaciones o sequías (Bach et al, 2009).

Este procedimiento descansa sobre el supuesto de que los costos de prevención de daños ambientales son asumidos por toda la sociedad, por lo cual brinda un indicador del valor del bien examinado. En el caso de la erosión cuyos efectos indeseables afectan a la sociedad en general, es natural pensar en que sea de ahí de donde salga un subsidio para productores que decidan minimizar daños al suelo en sus fincas, esta decisión podría resultar meramente política, y para ello, es necesaria una identificación y valoración de los efectos erosivos. (Colombo, 2004).

La aplicación del método de costos evitados inicia con una evaluación del servicio ambiental en discusión, la forma en que se presenta a los usuarios y la disponibilidad del mismo, seguidamente se estima efecto indeseable o daño que podría ocasionar y finalmente se calcula el valor monetario de dichos daños o de las acciones tomadas para evitarlos (Ecosystem Valuation, 2010). Se podría mencionar como ejemplo la contaminación de aguas por residuos de pesticidas en cultivos, estas afectan los cuerpos de agua cercanos pudiendo tener repercusiones en la producción animal circundante, esto es a lo que se denomina *relación dosis – respuesta*

Emerton y Bos (2004) exponen un estudio de caso en el cual se aplicó el modelo de costos evitados, el mismo que consistió en:

“Implementar el método de daños evitados en el plan hidroeléctrico Kamchay de una vertiente de la cuenca del Parque Nacional Bokor en Camboya. Se examinó los daños que se evitarían con la protección de la cuenca superior que alimenta la presa y protege el área del embalse. En primer lugar, el estudio investigó las formas en que la constante degradación de la cuenca superior del río Kamchay afectaría la operación y la rentabilidad de la presa. Esto implicó examinar las tasas de erosión y de pérdida de suelos bajo diferentes escenarios de uso de la tierra, y determinar los impactos de una mayor acumulación de sedimentos en la reducción de la vida de servicio de la presa, y en las pérdidas en generación eléctrica debido a una disminución en la capacidad de almacenaje.”

“Las pérdidas en generación eléctrica se valoraron de acuerdo con el precio proyectado en que se vendería una vez finalizada la construcción de la presa. A través de un

modelo de tasas crecientes de erosión, pérdidas concomitantes de suelos y liberación consiguiente hacia el área de almacenamiento de la presa, se mostró que no invertir en la gestión de la cuenca como componente del mantenimiento de la presa podría causar incurrir en costos actuales netos de más de 2 millones de dólares en términos de ingresos no generados por electricidad una vez entrara en funcionamiento el plan.”

Método de Costo de viaje.- Consiste en evaluar la relación entre bienes y servicios privados y su relación con los ambientales, es utilizado ampliamente para valorar los beneficios de la recreación, consiste en analizar, por ejemplo, los gastos que realiza un turista durante el traslado a un sitio para estimar el valor del servicio de este lugar (estimar la disponibilidad a pagar de los turistas por parques nacionales), y se basa principalmente en el hecho de que el tiempo y dinero usados para llegar a un sitio son representantes del costo de ingreso del mismo indiferentemente de si existe un valor o no (Emerton y Bos, 2004; Cristeche y Penna, 2008). Uno de los inconvenientes es que el método asume un viaje de un solo propósito encontrando limitaciones cuando el viaje es por varios propósitos (Dixon y Pagiola, 1998)

Método de los Precios Hedónicos.- Parte del hecho de que las decisiones tomadas por los consumidores se basan en los atributos de un bien o servicio (Sánchez, 2003; Emerton y Bos, 2004), es decir que para la aplicación de este método es necesario observar los atributos del bien o servicio ya que el precio de este está dado por el aporte que dichos atributos representan, un ejemplo claro es la compra de una casa para la cual se tiene dos opciones, se toma en cuenta el entorno (zonas verdes, paisaje, seguridad) de modo que si una está ubicada en un área sin contaminación ambiental, deberá costar más que otra que está ubicada en un área contaminada así cuenten con las mismas características de infraestructura y área total (Dixon y Pagiola, 1998), este aumento en el valor es lo que se denomina *disposición marginal a pagar*.

2.4.2 Método directo para valoración económica ambiental.

Método de la Valoración Contingente.- Es un método basado en la expresión oral de los consumidores (Colombo, 2004), este método no usa datos observados, en vez de esto usa preguntas directas a los consumidores para estimar su *disposición a pagar* por un bien

ambiental, para ello se describe los bienes involucrados y la forma en que será provisto (Dixon y Pagiola, 1998, Zbiden y Lee, 2005). Para su aplicación se pregunta a los consumidores por la *Disponibilidad a Pagar* o a ser compensados por lograr una mejora o aceptar un empeoramiento de la calidad o cantidad de un bien o servicio. Generalmente se propone, a los encuestados, dos escenarios: uno en el cual se tomen medidas para mejoría del entorno y otra en la cual no se tomen medidas. Este método se utiliza en casos en que el bien no tiene un precio en el mercado, es así que mediante encuestas simula un mercado en el cual se puedan intercambiar estos bienes, exponiendo el bien a intercambiar, el pago por el mismo, las condiciones y el cambio propuesto (Colombo, 2004)

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los Método de Valoración Ambiental, sus características, metodología de aplicación y medidas de valoración

Cuadro 2. Resumen de métodos de valoración económica ambiental y su aplicación.

MÉTODO	CARACTERÍSTICA	METODOLOGÍA DE APLICACIÓN	MEDIDAS DE VALORACIÓN
Directo	Pregunta al individuo sobre la disposición a pagar por un beneficio o la disposición a ser compensado por recibir un costo.	Método de valoración contingente	de Disposición a pagar (DAP) Disposición a ser compensado (DAC)
Indirecto	Cálculo de la relación <i>dosis-respuesta</i>	Método de costo evitado	Precio de eficiencia
		Método de costo de viaje	Precio de eficiencia
		Método de los precios hedónicos	Disposición marginal a pagar

Existen otros métodos para valoración ambiental como el Experimento de Elección por ejemplo, el cual estima la importancia del bien a partir de la elección de los encuestados, para ello se presentan alternativas de su estado -por lo general en grupos de tres- una de las cuales representa el estado actual del bien y el restante representan cambios a la situación de referencia. El bien objeto de estudio, en el cual se aplicara este método, está representado por *atributos* a través de los cuales se conoce el estado actual del bien, y para describir sus cambios se asigna valores llamados *niveles*, cuya función es describir los impactos que los atributos ejercen sobre las diferentes alternativas (Colombo, 2004)

Se puede concluir entonces que la elección del método de valoración está condicionada por el factor ambiental en estudio y a su vez analizar si este afecta a la producción de un bien o servicio o se presenta tan solo como una variación en la calidad ambiental.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de investigación

La cuenca del Río Reventazón hasta su desembocadura en al mar Caribe se encuentra ubicada en la vertiente Atlántica de la República de Costa Rica, iniciándose en la divisoria continental de aguas, hacia el centro del país en la provincias de Cartago, perpendicular a la cordillera Talamanca con niveles de altitud sobre el nivel del mar (msnm) que van desde 0 a 3.800. Hasta su salida al mar ocupa un área de 2.950 Km² (ICE, 2009). Ocupa una superficie de 2.950 km² de los cuales 1.530,90 km² corresponden a la cuenca media alta.

Esta zona (media – alta) abarca el 48% de la provincia de Cartago, incluyendo los cantones de Cartago, Oreamuno, Alvarado, Jimenez, Turrialba, Guarco y Paraiso. Se caracteriza principalmente por la producción de hidroelectricidad encontrándose en esta zona los proyectos de Río Macho, Cachí y Angostura generando un 32% de la electricidad a nivel nacional. En cuanto a los usos de la tierra propiamente, se puede señalar que la protección de bosque con propósitos de salvaguardar especies vegetales y animales en condición silvestre es la actividad dominante en la cuenca.

Ubicación de la zona de estudio en la cuenca media-alta del río Reventazón

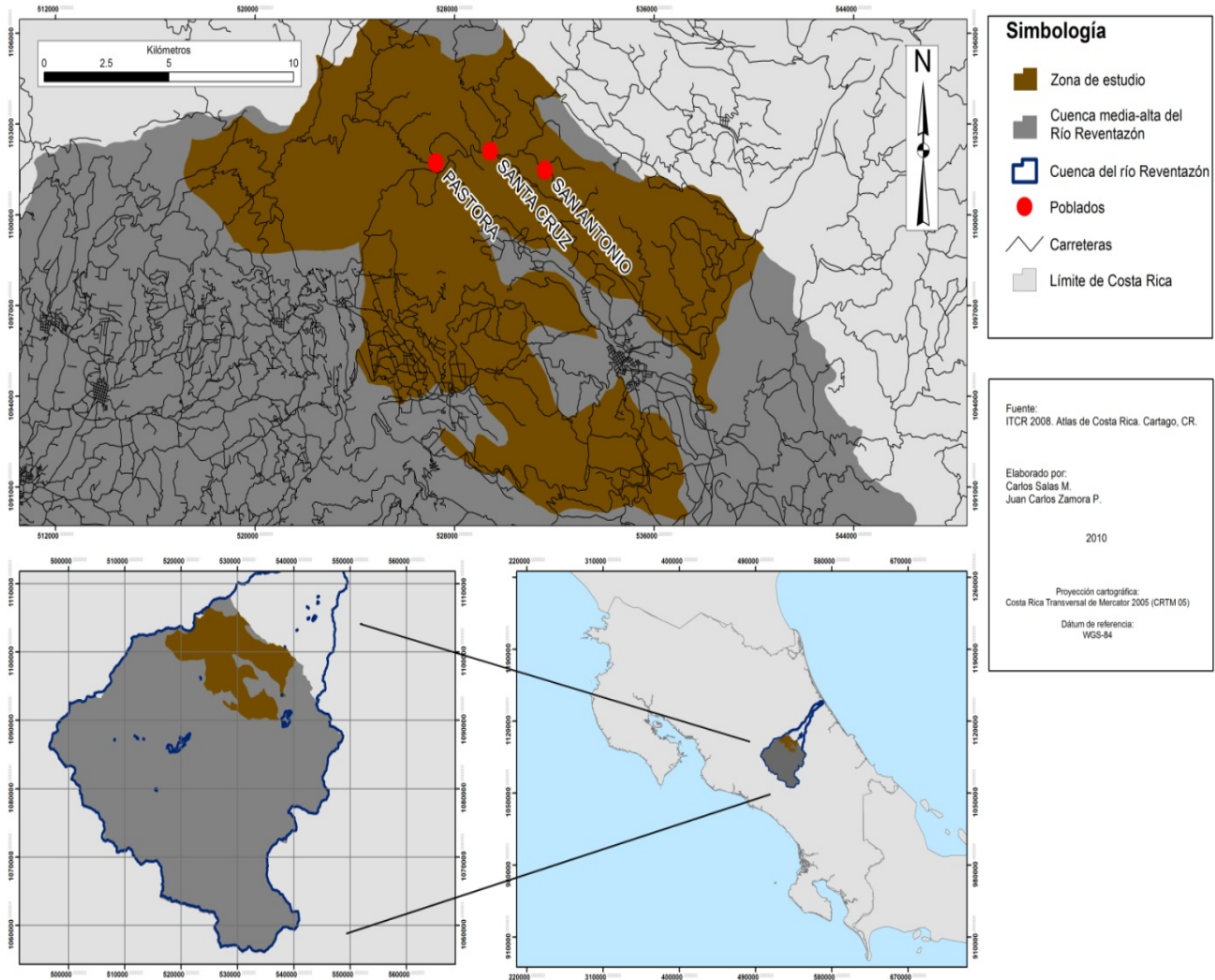


Figura 1. Ubicación área de estudio

El pasto y la ganadería son actividades predominantes en la cuenca media, comprendiendo zonas como Reventado, Pacayas, San Martín, Santa Rosa, Santa Cruz, San Antonio con extensiones grandes de tierra. Un 80% de la ganadería tiene como fin la producción de leche y el 20% de doble propósito. Se pueden encontrar razas europeas como Holstein, Jersey, Guernsey para las zonas frías y de clima medio, pudiendo presentar un proceso de cruzamiento unilateral (ganado mejorado: cruzamiento de vacas criollas con toros

pura sangre de raza lechera). Con respecto a los pastos la zona presenta entre otros: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Jaragua (*Hyparrhenia rufa*), Estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), Reygrass (*Lolium multiflorum*) y King grass (*Pennisetum hybridum*).

En el cuadro siguiente (Cuadro 3) se muestran algunos datos correspondientes al manejo y producción de pastos en la cuenca media alta del Río Reventazón:

Cuadro 3. Manejo y producción de pastos en la cuenca del Río Reventazón⁴.

CONCEPTO	UNIDAD	KIKUYO	REY GRASS	ESTRELLA	JARAGUA	KING GRASS
Recuperación Pasto	Días	35	35	38	38	49
Período de Pastoreo	Días	8	5	7	7	3
Intervalo entre Pastoreo	Días	45	30	45	45	52
Total de Cortes por Año ⁵	No.	10	10	8	8	7
Producción por Corte	Kilos	100.000	10.500	10.700	12.500	26.000
Producción Total Forraje	Kilos	100.000	105.000	86.789	30.000	182.500
Lignificación	%	12%	12%	12%	12%	5%
Producción Neta	Kilos	88.000	92.400	76.374	26.400	173.375
Consumo 1 UGG 60 k ⁻¹ día x 365	Kilos	21.900	21.900	21.900	21.900	21.900

Donde: UGG = Unidad gran ganado⁶

⁴ Tomado del Plan de Manejo Integral. Diagnóstico de la Cuenca del Río Reventazón. 10. Caracterización de producción Agropecuaria

⁵ Número de cortes realizados al banco forrajero para alimentación animal.

⁶ Parámetro para individualizar los diferentes tipos de animales que conforman el hato ganadero, desde el punto de vista de los requerimientos nutricionales (Castro, 2002)

El principal problema de los pastos según el Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Reventazón es el sobrepastoreo y la excesiva carga animal para la cantidad de alimento disponible. En fincas ganaderas lecheras es normal el uso de pastoreo rotativo dividiendo el área en apartos. Según datos del ICE (2009) esta es un área muy importante para el país en cuanto a explotación agropecuaria, produciendo el 85 % de la papa y la cebolla del país y el 30 % de la leche y carne, además se produce zanahoria, maíz, frijol, café, caña de azúcar, chayote, macadamia, entre otros. Las tierras dedicadas a la horticultura no exceden las 3 ha. y el promedio de tenencia es de 1.6 ha.⁻¹ finca⁷.

Características de la campiña lechera de Santa Cruz

Para la selección de las áreas de estudio se tomó en consideración los usos de tierra prioritarios (principalmente aquellos dedicados a la actividad ganadera) ya que según información documentada por el ICE en el “*Diagnóstico de la Cuenca del Río Reventazón*” la gran mayoría de estos producen una alta erosión debido al pastoreo extensivo en zonas de pendiente pronunciada. Dicha área se ubica en la parte media-alta de la cuenca del Río Reventazón, específicamente en la campiña lechera del distrito de Santa Cruz ubicado en la subcuenca del Río Turrialba. Santa Cruz es un pueblo típicamente rural, enclavado en las faldas del volcán Turrialba, a 19 kilómetros al noroeste de la cabecera de Turrialba en una zona montañosa que comprende varios caseríos en las afueras del histórico monumento Nacional Guayabo, cuenta con un área de 127.40 Km², temperaturas promedio de entre 10 y 19 °C con precipitaciones de 3.000 a 3.500 mm y 85 % de humedad relativa.

Situado a una altura que va desde los 900 a 3.200 msnm y 3.274 habitantes (IFAM 1992) las actividades económicas que se han desarrollado en las montañas al norte de Turrialba a lo largo de los años, han sido determinadas por sus condiciones propias de suelos, pastos, clima y temperaturas. La siembra de caña y café se ubica en las zonas más bajas hasta los 900 metros y la explotación ganadera a partir de esta altura. Se producen además gran variedad de productos como: hortalizas, café, plátano, caña de azúcar, flores y un sin número de productos, destacándose la ganadería y famosa por la producción de queso. En cuanto a pasturas en la zona de estudio, se encontraron principalmente kikuyo (*Pennisetum*

⁷ Plan de manejo integral de la Cuenca del Río Reventazón. Documento No. 4 Informe Final

clandestinum), estrella (*Cynodon plectostachyus*) y brachiaria (*Brachiaria decumbens*) con sistemas de manejo rotativo con divisiones en apartos para pastoreo.

Criterios para la selección de sitios:

Los sitios donde se ubicaron las parcelas de escorrentía deberían cumplir con los siguientes criterios:

- *Uso prioritario:* los usos de suelo son los principales dentro de las actividades de la zona.
- *Tipo de suelo:* los usos de suelo seleccionados cuentan con similares características en cuanto a estructura y composición.
- *Pendiente:* tienen pendientes dentro de un rango de 25% a 35%
- *Sistema de manejo:* cuentan con un sistema de manejo rotativo.

3.2 Usos de Suelo

Referente a los usos de suelo prioritarios identificados, estos se describen en el cuadro 4:

Cuadro 4. Usos de suelo prioritarios evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USO DE SUELO	ABREVIATURA
Bosque ripario	BR
Pastura mejorada	PM
Banco forrajero	BF
Pastura degradada	PD

3.3 Variables evaluadas

A fin de conocer el comportamiento hidrológico y erosivo en los suelos identificados se evaluaron las siguientes variables (Cuadro 5):

Cuadro 5. Variables evaluadas y métodos de evaluación para los usos de suelo en estudio en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

VARIABLE	MÉTODOS DE EVALUACIÓN
Cobertura vegetal	Parcelas permanentes Estructura Vertical (arbóreo) Estratificación Estructura Horizontal (cobertura, suelo desnudo) Botanal
Precipitación	Pluviómetro
Escorrentía superficial	Parcelas de escorrentía
Infiltración	Anillos concéntricos
Erosión	Parcelas de escorrentía / peso de sedimento
Pastoreo o corta de bancos forrajeros / recuperación de pastura	Mediante observación se asignó valor de: Corta y pastoreo = 1; Recuperación = 0

3.4 Métodos estadísticos

Se realizó un análisis de varianza bifactorial (usos y efecto de pastoreo o corta de bancos forrajeros/recuperación) correspondiente a un diseño completamente aleatorizado, para comparar la escorrentía superficial y erosión hídrica e identificar que usos de la tierra contribuye a la conservación de agua y suelo. A continuación (Cuadro 6) se muestra en esquema de los tratamientos y número de replicas para las variables en estudio.

Cuadro 6. Tratamientos experimentales utilizados para evaluar usos de suelo en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES
Bosque ripario	BR1
	BR2
Pasturas mejorada	PM1
	PM2
	PM3
Pasturas degradadas	PD1
	PD2
Bancos forrajeros	BF1
	BF2

Donde: BR= Bosque ripario; PM= Pastura mejorada; PD= Pastura degradada; BF= Banco forrajero

Se instaló tres parcelas de escorrentía en cada una de los sitios de muestreo (usos de suelo), para un total de 27 parcelas. Cabe indicar que para el análisis de resultados del presente trabajo se utilizó solo una de las repeticiones de bosque ripario, debido a la diferencia altitudinal que existía entre ellas. En el apartado 4.4 se analizarán las diferencias para las variables en estudio entre estas dos repeticiones de bosque ripario (BR1 y BR2).

Estos ANOVA fueron realizados bajo la teoría de los modelos mixtos generales. En caso que existiera diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de LSD de Fisher. El modelo estadístico utilizado para las variables de respuesta fue el siguiente:



$$Y_{ijk} = \mu + U_{Si} + P_j + US_{P_{jk}} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = variable respuesta
- μ = media general
- U_s = efecto del i-ésimo uso de suelo
- P = efecto del i-ésimo pastoreo / corta /recuperación
- US_P = efecto de la interacción uso: pastoreo /corta /recuperación
- E_{ijk} = término de error aleatorio

Adicionalmente para comparar el efecto del pastoreo o corta de bancos forrajeros / recuperación en los diferentes usos de suelo se utilizaron contrastes para obtener significancia sobre los parámetros del modelo. Se hicieron correlaciones de Pearson entre las variables en estudio para comprobar la asociación entre ellas.

3.5 Características de los usos de suelo evaluados

Bosque Ripario (BR)	<p>Intervenido, sucesión natural, árboles maduros (10 a 20 años). Sotobosque dominado por arbustos, hierbas y palmas. El suelo es un andisol, con textura franco arenosa y pendientes de de entre 25 y 35 %. Establecido hace 20 años, la densidad de árboles es de 34 ha⁻¹ y riqueza de 6 especies cubriendo más del 70%. Las especies presentes: <i>Cecropia obtusifolia</i> (Guarumo), <i>Citrus sp.</i> (Cítricos), <i>Aracaceas</i> (Pacayas), <i>Ochroma sp</i> (Balsa) y <i>Musaceas</i></p>	
Banco forrajero (BF)	<p>Áreas cercanas a las instalaciones de manejo animal, destinadas a la producción de forraje (calidad y volumen) para alimentación, banco forrajero establecido hace 4,5 años, los andisoles son los suelos predominantes en la zona, con estructura franco arenosa y con pendientes de entre 25 a 35 %. Las especies presentes fueron gramíneas -Maralfalfa (<i>Pennisetum sp</i>) en asocio con Taiwan (<i>Pennisetum sp</i>)-. Manejo de corte y acarreo, cortado dependiendo de las necesidades.</p>	

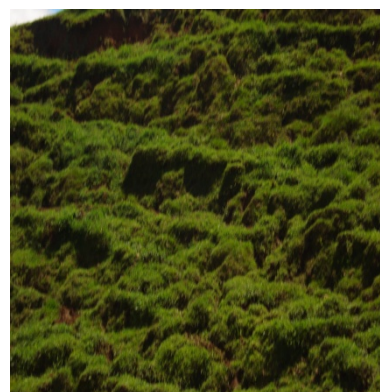
Pastura
mejorada
(PM)

Especies que por sus características incrementan la productividad de los sistemas tradicionales y extensivos en producción ganadera. Se observan arboles aislados, en cercas vivas, algunos de gran tamaño remanentes del bosque original como el jabillo (*Hura crepitans*). Cuenta con pendientes de 25 a 35 %, fue establecida hace 30 años con un sistema de pastoreo rotativo y especies como: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), estrella (*Cynodon plectostachyus*) y brachiaria (*Brachiaria decumbens*). El hato ganadero está compuesto por 15 cabezas de ganado y 18 potreros utilizando un potrero diario en sistema rotativo.



Pastura
degradada
(PD)

Pastura con menos del 50% de cobertura forrajera de pastos deseables o área cubierta con gramíneas y ciperáceas, altos grados de enmalezamiento, compactación del suelo y erosión. (Murgueito et al, 2003). Pendientes en rango de 25 a 35 %, suelo andisol, estructura arenosa franca. Establecidas hace 23 años, sistema rotativo y especies: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), estrella (*Cynodon plectostachyus*), brachiaria (*Brachiaria decumbens*). El hato compuesto por 18 cabezas de ganado utiliza uno de los 15 potreros diariamente. En ocasiones es pastoreada por hasta 40 cabezas de ganado en un área de 1600 m².



3.6 Metodologías.

3.6.1 *Escurrentía superficial.*

La obtención de los datos de escurrentía superficial se realizó en base a la metodología propuesta por Ríos (2006), la cual consiste en el uso de parcelas de escurrentía.

3.6.1.1 Parcelas de escurrentía

Las parcelas de escurrentía (Figura 2) tuvieron un área de 50 m² (con dimensiones de 5x10 m) en un número de tres ubicadas en cada uno de los sitios de muestreo. En todos los tratamientos las parcelas fueron ubicadas en un rango de pendiente entre 25 a 35 % de manera tal que la mayor longitud (10 m), esté en el mismo sentido de la pendiente.

Para su construcción se usó laminas de hierro galvanizado #24 de 15 cm. de alto (5 cm. enterrados en el suelo) con dobleces de 1 cm. en el borde superior con el fin de prevenir accidentes por corte, también se utilizó un refuerzos con estacas cada 30 cm. en la pared exterior de las laminas para evitar daños por manipulación o por el ganado.

Para recolectar el agua de escurrentía de las parcelas se habilitó un drenaje con un diámetro de 5,08 cm (2 pulgadas). y una tubería del mismo diámetro la cual condujo el agua hasta un recipiente de drenaje y luego hasta un recipiente colector final. El recipiente de drenaje fue instalado tomando en cuenta el área de la parcela y la precipitación de la zona (+ un 10% de incremento), pues de lo contrario el total del agua escurrida no podría ser colectada. A dicho recipiente colector se implementó cinco orificios, lo cual permitió solo colectar 1/5 del total de agua escurrida (Figura 3).

Las parcelas de escurrentía fueron dispuestas en cada uno de los usos de suelo tomando en consideración el análisis de las condiciones normales de manejo en las zonas de estudio (permanencia del ganado en pastoreo, corte de bancos forrajeros, y no alterando el suelo dentro de parcelas en bosques).

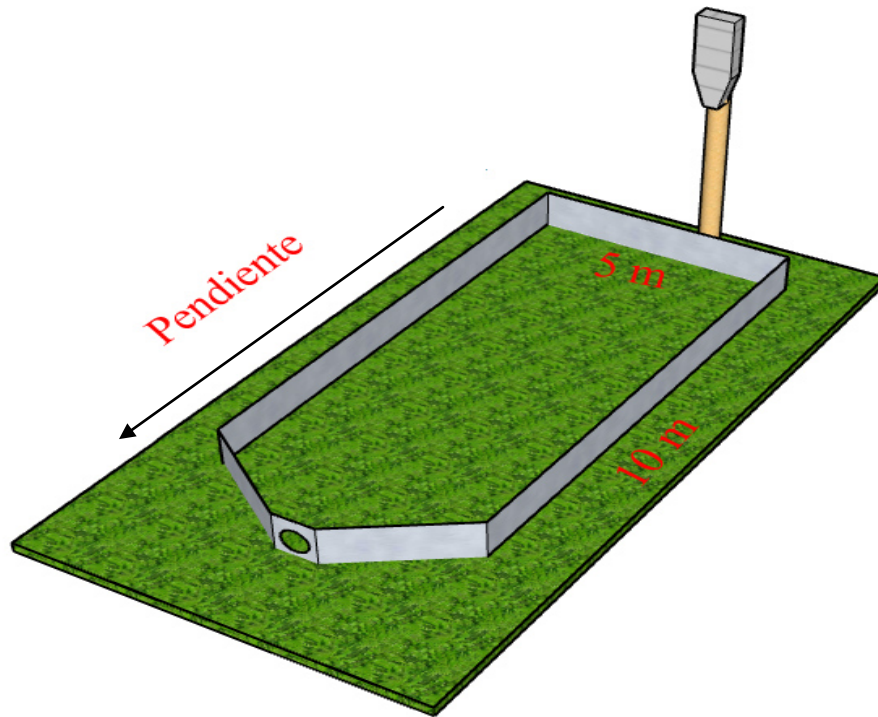


Figura 2. Parcela de escorrentía utilizada para medir escorrentía superficial y erosión hídrica en usos de suelo en la cuenca media alta del Río Reventazón, 2010.

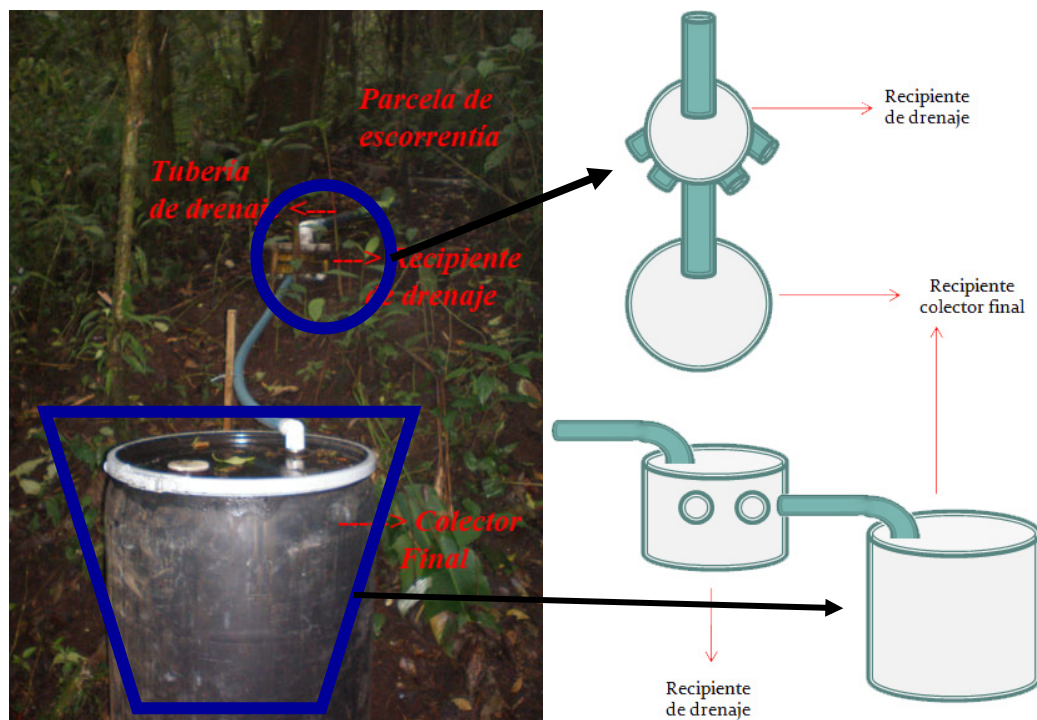


Figura 3. Estructura del sistema para recolección de agua escurrida en parcelas de escorrentía utilizada para medir escorrentía superficial y erosión hídrica en usos de suelo en la cuenca media alta del Río Reventazón, 2010.

3.6.1.2 Medición y cálculos

Las mediciones en las parcelas de escorrentía se tomaron en la mañana durante el periodo diciembre 2009 - agosto del 2010 todos los días. Cada lluvia fue un evento de análisis registrado. Para el registro de este dato se utilizó un flexómetro o regla graduada midiendo el volumen de agua depositado en el recipiente colector final, el mismo que era vaciado cada vez que se tomaba la lectura. El recipiente para drenaje previo se mantuvo lleno durante el tiempo que duró la toma de datos, cuidando siempre que el mismo este nivelado, al igual que los orificios de drenaje.

Las mediciones de la precipitación se obtuvieron por medio de la lectura del pluviómetro, el cual que era vaciado luego de cada toma de datos.

3.6.1.2.1 Cálculo de lluvia incidente en parcelas de escorrentía

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$ACP = A \text{ (m}^2\text{)} \times Pp \text{ (mm)}$$

Donde:

ACP	=	Cantidad de agua caída sobre la parcela de escorrentía (lit.)
A	=	Área de la parcela de Escorrentía (m ²)
Pp	=	Precipitación incidente leída en el pluviómetro (mm)

3.6.1.2.2 Cálculo de agua escurrida

Representada por el agua de lluvia caída dentro de la parcela de escorrentía y que llega al recolector final, para la cual se aplicó el siguiente cálculo:

$$AE = NO \times (Ac \times h) \times 1000$$

Donde:

AE	=	Agua escurrida (lt.)
NO	=	Número de orificios de drenaje en el recipiente de drenaje

Ac^1	=	Área de circunferencia en el recipiente colector final (m^2)
h	=	Altura del nivel de agua en el recipiente colector final (cm)
1000	=	Factor de conversión para pasar el valor a litros.

3.6.1.2.3 Cálculo de porcentaje de escorrentía

Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(AE \times 100)}{ACP}$$

Donde:

$\%E$	=	Porcentaje de Escurrimiento
AE	=	Agua escurrida de la parcela de escorrentía
ACP	=	Agua caída en la parcela de escorrentía.

3.6.2 Capacidad de infiltración

La estimación de capacidad de infiltración se basó en la metodología utilizada por Ríos (2006) la cual contempla el uso de anillos concéntricos. Esta metodología consiste en instalar dos cilindros (uno interno de 30 cm. de diámetro y 30 cm. de altura y uno externo de 50 cm. de diámetro y 20 cm. de altura) enterrándolos en el suelo (5 cm el externo y 10 cm. el interno) y llenando el anillo externo con agua a una altura constante de 5 cm. (el anillo interno debe mantener una altura de agua constante de 7,5cm), es necesario colocar una tela o algún material que evite la compactación del suelo por golpe directo. Para hacer las mediciones se utilizara una regla graduada a intervalos de 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,20,30,45,60,90 y 120 minutos. Estas pruebas fueron realizadas una vez durante el periodo de estudio. Durante el mes de septiembre se realizaron 3 pruebas de infiltración simultáneas en cada uno de las repeticiones experimentales, para ello se colocó un juego de anillos concéntricos al lado de cada una de las parcelas de escorrentía, teniendo un total de 27 pruebas de infiltración. Estas pruebas se llevaron a cabo una sola vez durante el tiempo de la investigación.

3.6.2.1 Medición y cálculos

Los datos fueron tomados una vez en cada uso del suelo. Por medio de mediciones en los anillos concéntricos a lados de cada una de las parcelas de escorrentía en condiciones iguales se obtendrá los siguientes datos:

- Hora de lectura
- Tiempo (minutos)
- Altura del agua (cm)
- Lectura actual – anterior (cm)
- Infiltración acumulada: Lecturas acumuladas (cm)
- Tiempo actual – anterior (minutos)
- Velocidad de Infiltración (mm^{-1} Hora)

Con esos datos se usará la siguiente fórmula para cálculo de velocidad de infiltración:

$$VI = \frac{(\Delta \text{ de lectura} \times 600)}{\Delta \text{ de tiempo}}$$

Donde:

VI	=	Velocidad de infiltración (mm^{-1} h).
Δ de lectura	=	Diferencial de lectura (cm)
Δ de tiempo	=	Diferencial de tiempo (minutos)
600	=	Factor de conversión para convertir cm^{-1} h a mm^{-1} h.

3.6.3 Estimación de pérdidas de suelo por efectos hídrico

Para medir los sedimentos y pérdidas de suelo se utilizará la metodología recomendada por el Colegio de Posgraduados de Chapingo, Mexico. (1977).

3.6.3.1 Medición y cálculo

Esta metodología consistió en que del volumen total colectado en cada tanque recolector se tomó una alícuota⁸ homogenizada (200 ml). Las alícuotas se procesaron para

⁸ Muestra de agua escurrida y colectada en los estañones.

separar los sólidos mediante el uso de papel filtro colocado en un colador. Terminada la filtración, los sedimentos acumulados en el papel filtro se secaron a una temperatura de 60° C durante 48 horas y posteriormente se pesaron en una balanza de precisión. Para expresar la erosión en términos de kilogramos por hectárea se multiplica el peso del suelo erodado por la fracción de hectárea que representa la parcela. Las muestras se tomaron simultáneamente a los de escorrentía en las parcelas de escorrentía.

3.6.4 Cobertura vegetal de los usos de suelo.

En cada uno de los tratamientos se realizó una evaluación de cobertura (estructura horizontal y vertical) y diversidad vegetal. Por medio de correlaciones se verificó si la cobertura vegetal influye o no en la cantidad de suelo erosionado por escorrentía superficial.

3.6.4.1 Estructura vertical.

Para ello se adecuó una parcela de 50 m de largo por 20 m de ancho en el área de estudio de cada uno de los sistemas. Mediante un procedimiento visual se estimó la estructura vertical considerando tres estratos de altura (de 0 a 2 m; de 2 a 9 m; y > 9 m.) ubicando toda la vegetación dentro de la parcela y referente al estrato calcular el porcentaje de cobertura.

3.6.4.2 Estructura horizontal

Se dividió la parcela principal (50 m x 20 m) en 10 subparcelas de 10 m x 10 m cada una (Figura 4), y se utilizó la técnica de botanal, que consiste en el uso de un marco metálico de 0,50 m x 0,50 m, y mediante observación (5 puntos en cada subparcela) se estimó el porcentaje de cobertura: pastos, maleza, y suelo sin cobertura herbácea viva.

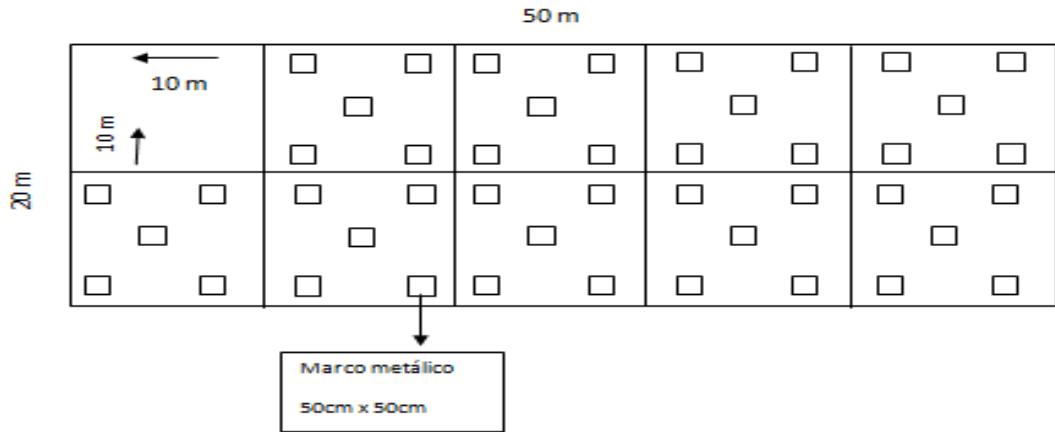


Figura 4. Metodología para determinar cobertura vegetal horizontal (pasto, maleza, suelo sin cobertura herbácea viva) en usos de suelo evaluados en la cuenca media alta del Río Reventazón.

3.6.4.3 Estimación de la diversidad vegetal

Mediante una parcela de 50 m de largo por 20 m de ancho en el área de estudio de cada uno de los sistemas (Figura 5). Se procedió luego al trazado de una línea (a lo largo de los 50 m) en el centro de la parcela, tomándose en cuenta los árboles ubicados a 0,50 m de esta línea. Se consideró solamente árboles con dap (diámetro a la altura del pecho) mayor a 5 cm.

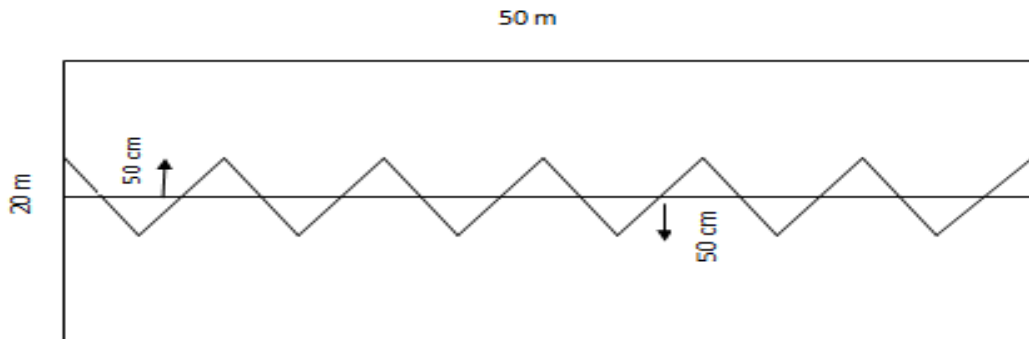


Figura 5. Metodología para determinar abundancia y riqueza vegetal en los usos de suelo evaluados en la en la cuenca media alta del Río Reventazón.

3.6.5 *Análisis de laboratorio*

3.6.5.1 **Análisis de suelo.**

Para conocer las características de los suelos se realizó muestreo en los diferentes usos evaluados para su consiguiente análisis en laboratorio. Los análisis comprenden: pH, acidez extraíble, Ca, Mg, K, P, carbono orgánico y textura. Para este muestreo se tomó una muestra de 1 kg compuesta por 10 submuestras. Las submuestras fueron tomadas en un rango de profundidad de 0 a 15 cm del suelo (Bubuda, C. 2004) recorriendo el terreno en zig-zag (Figura 6) y recolectando cada submuestra en el vértice donde se cambie la dirección del recorrido. (Osorio, s.f).



Figura 6. Esquema del muestreo de suelos

Adicionalmente se tomaron muestras de suelo en cilindros de 5 Cm de altura y 5 Cm de diámetro para realizar análisis de densidad aparente (Figura 7). Se tomaron 4 muestras por repetición, para completar un total de 36 muestras.



Figura 7. Análisis de suelos utilizando el método de cilindros.

3.6.6 Modelación de escenarios para variabilidad climática y cobertura vegetal.

La herramienta de modelación utilizada para crear los escenarios fue SWAT por sus siglas en inglés “*Soil and Water Assessment Tool*”. Esta herramienta es utilizada para obtener datos del comportamiento hidrológico de una cuenca dividiendo a la cuenca en subcuencas y esta a su vez en una serie de Unidades de Respuesta Hidrológicas (URH), cada una de las cuales es una combinación única de suelo y uso de la tierra

El ciclo hidrológico simulado por el modelo SWAT está basado en la siguiente ecuación del balance hídrico:

$$SW_t = SW_o + \Sigma (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

SW_t	=	cantidad final de contenido de agua en el suelo (mm)
SW_o	=	cantidad inicial de contenido de agua en el suelo en un día (mm)
t	=	tiempo (días)
R_{day}	=	cantidad de lluvia caída en un día (mm)
Q_{surf}	=	cantidad de escorrentía en un día (mm)
E_a	=	evapotranspiración en un día (mm)
W_{seep}	=	percolación (mm)
Q_{gw}	=	flujo de retorno en un día (mm)

Este modelo está basado en principios físicos, en otras palabras no solo genera resultados con el uso de ecuaciones, sino que también necesita ser alimentado con

información de la zona de estudio, tales como: clima, propiedades físicas del suelo, topografía, cobertura vegetal y prácticas de manejo (Ríos *et al*, 2008b). Se constituye entonces en una herramienta cuyo principal objetivo es predecir el efecto de las decisiones en cuanto al manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

El objetivo fue cuantificar y mapear la pérdida anual de suelos y calcular la cantidad de sedimentos producidos en varios usos de suelo, de esta forma se corroboró los datos obtenidos en campo y se evaluó los efectos de los parámetros analizados en los distintos usos de suelo (Ríos *et al*, 2008b).

Haciendo uso de datos requeridos para correr el modelo de simulación, se crearon escenarios erosivos del área en estudio, con base en:

- **Cobertura vegetal**
 - *Cobertura con uso actual del suelo* (Figura 8).- a partir de mapas de suelos y usos de la tierra y con ayuda de sistemas de información geográfica, este escenario presentó como usos de suelo: tierras agrícolas cultivadas, tierras agrícolas con cultivos en línea, bosque primario intervenido, bosque secundario, pasturas degradadas, zona residencial de mediana densidad, y líneas de transportación.

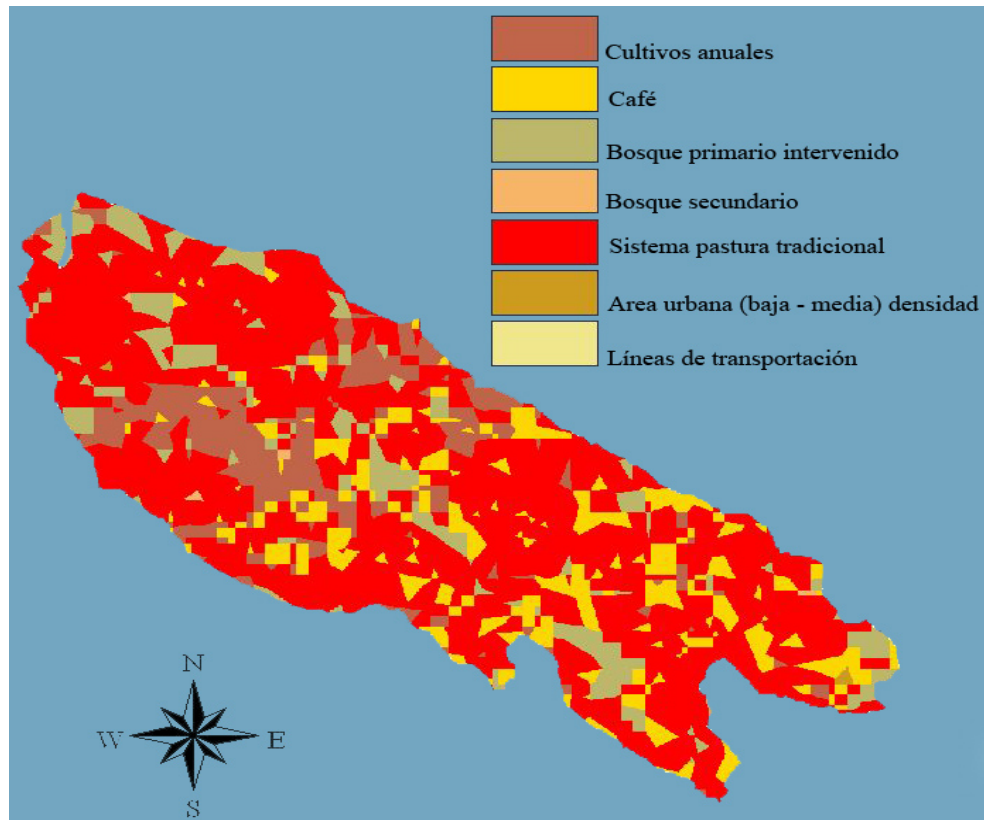


Figura 8. Escenario 1, Modelación SWAT para condición actual en la campiña lechera de Santa Cruz, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

- *Sistemas de producción convencionales fueron convertidos a sistemas ganaderos mejorados (Figura 9).*- Con base en la cobertura original se cambió un 64% de la cobertura de pasturas degradadas a pasturas mejoradas teniendo como resultado los siguientes usos de suelo: tierras agrícolas cultivadas, tierras agrícolas con cultivos en línea, bosque primario intervenido, bosque secundario, pasturas mejoradas (naturalizadas), zona residencial de mediana densidad, y líneas de transportación.

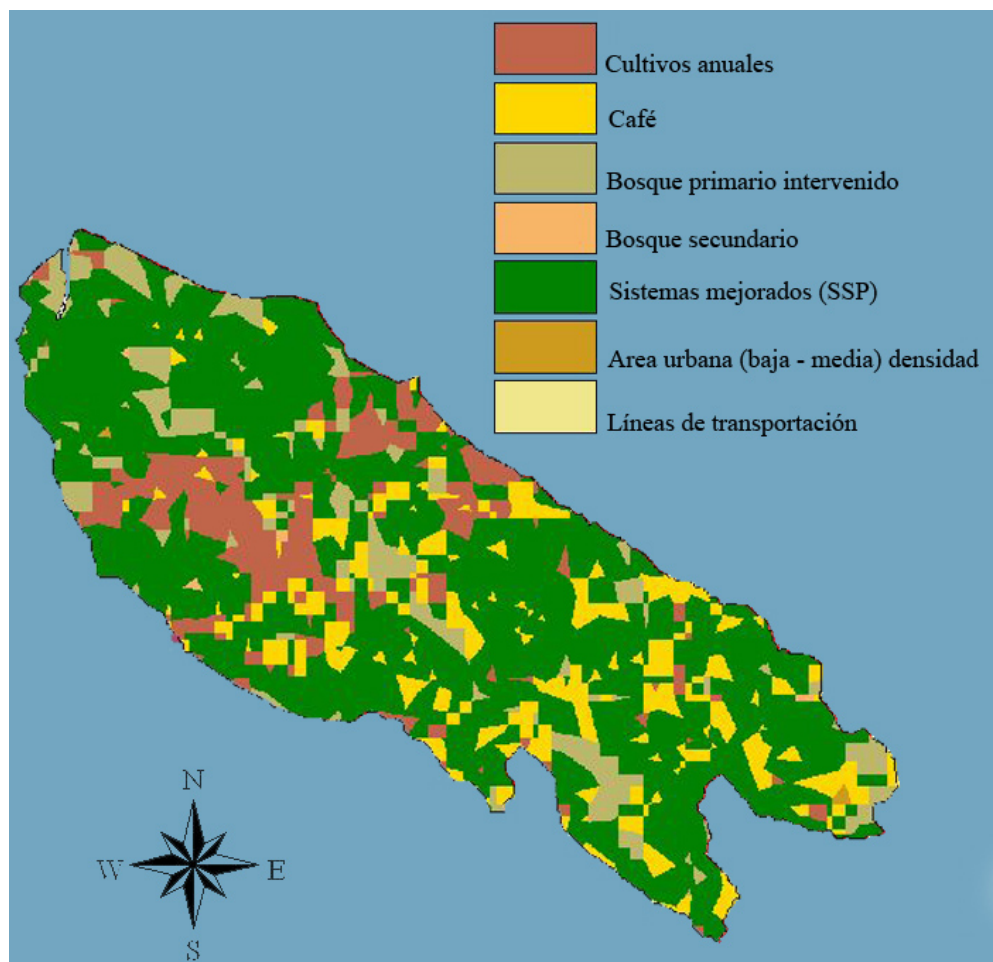


Figura 9. Escenario 2, modelación SWAT para cambio de uso de pastura natural a pastos mejorados en la campiña lechera de Santa Cruz, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

- **Variabilidad climática**

- *Condición normal.*- Esta representado por el modelo original con los parámetros actuales de precipitación.
- *Variación.*- Para la creación de los dos modelos de variabilidad climática se tomó como referencia las perspectivas climática para el 2010 elaborados por el

Instituto Meteorológico Nacional (MINAET)⁹, las cuales sugieren un aumento o disminución de las precipitaciones en un 5%

3.6.7 Valoración económica de la erosión.

Para realizar una primera aproximación a la valoración económica de la erosión en la zona evaluada, se utilizó el método de valoración indirecto de “costos evitados”, esta metodología consiste en obtener los costos para corregir un daño provocado generalmente por eventos probabilísticos (inundaciones, sequías, entre otros) y compararlos con los costos en que se incurriría si este daño fuera evitado antes de que ocurra. Para el presente estudio de caso está representada por el resultante de restar al costo de dragado de un embalse (el ICE gasta anualmente USD 3.000.000,00¹⁰) y el costo de implementación de prácticas que disminuyan la erosión, para lo cual tendremos la siguiente información (Cuadro 7):

Cuadro 7. Costos de implementación y mantenimiento de sistemas silvopastoriles¹¹

Sistema	Lugar	Costo \$ ha ⁻¹ año	
		Establecimiento	Mantenimiento
Cercas vivas	Costa Rica	492,75	76,03
Banco forrajero (Cratylia) corte y acarreo	Esparza Costa Rica	1.133,95	351,06
Banco forrajero (Caña de azúcar) corte y acarreo	Esparza Costa Rica	745,55	412
Banco forrajero (Leucaena) ramoneo y pastoreo	Esparza Costa Rica	1.300,79	21,51
Cercas vivas	Costa Rica	1.047,47	79,02
Transformación de cerca muerta a cerca viva	Costa Rica	537,19	79,02
Cerca viva multiestrato	Costa Rica	1.153,24	111,28
Cerca viva multiestrato a partir de cerca muerta	Costa Rica	664,46	79,02

⁹ Perspectiva Climática 2010: Elaborado por: Departamento de Climatología e Investigaciones aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional (MINAET); 14 de julio, 2010

¹⁰ ICE. 2002. Unidad de manejo de la cuenca del Río Reventazón: Descripción general. San, CR. 20 p.

¹¹ Villanueva *et al.* 2008

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los usos de tierra evaluados.

Se encontró una marcada diferencia altitudinal entre las repeticiones de bosque ripario, lo cual conllevó a usar para análisis de las variables respuesta en estudio (escorrentía y erosión hídrica) solo una de estas (BR2), y el BR1 sirvió como testigo para comparaciones entre bosques tomando la altura como un factor influyente. Esto debido a que a alturas superiores a los 1500 msnm, predomina la precipitación horizontal (niebla) sobre la vertical.

La caracterización vegetal de los sistemas fue la siguiente:

4.1.1 Estructura Vertical

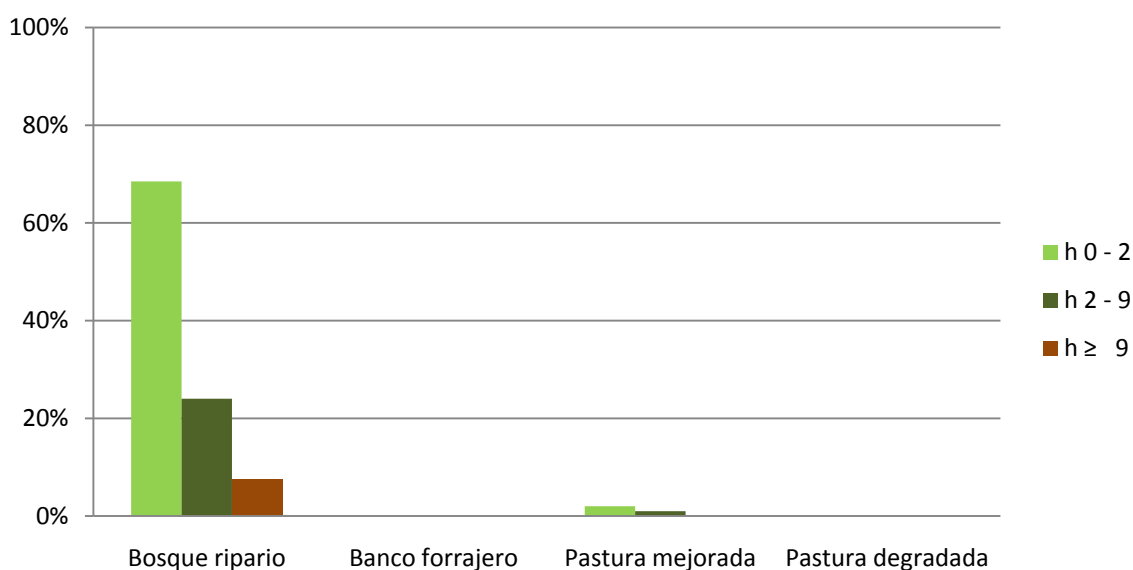


Figura 10. Estructura vertical de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: h = altura

Esta solo se mostró en el Bosque ripario (BR) y la pastura mejorada (Figura 10). En el BR mostró un 68.50% de cobertura en altura con un rango de 0 a 2 m., 24% de cobertura dentro de los 2 a 9 m. y un 7,50% de arboles con altura mayor a 9m. En la pastura mejorada

(PM) mostró un valor de 2% en rangos de 0 – 2 m; y 1% en rangos de 2 a 9 m, esto debido a la presencia de árboles en cercas vivas.

4.1.2 Estructura horizontal

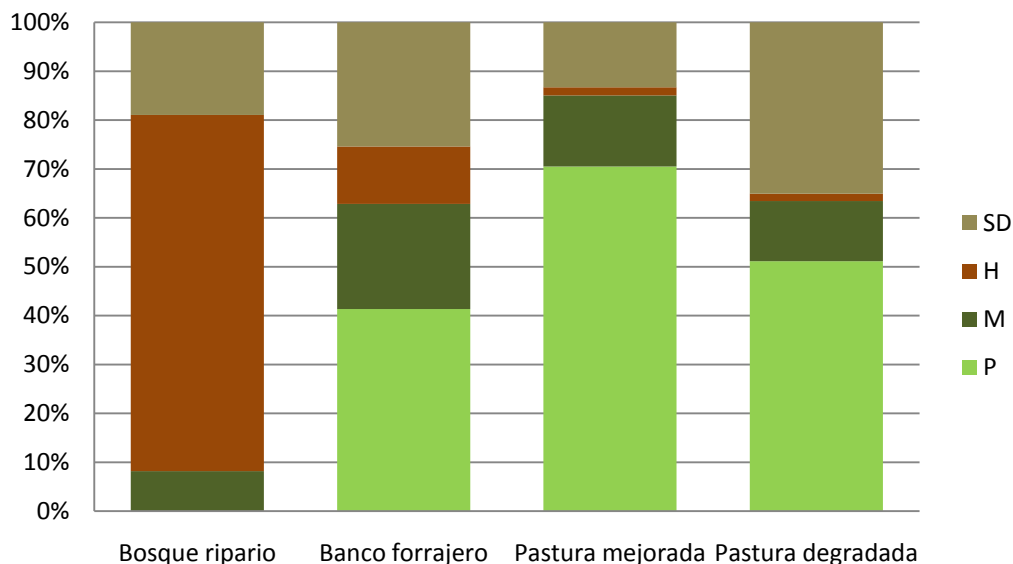


Figura 11. Caracterización horizontal en porcentaje de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: SD = Suelo desnudo; H = Hojarasca; M = Maleza; P = Pasto.

Mediante la caracterización vegetal horizontal de cada uno de los usos de suelo (Figura 11) se encontró un mayor porcentaje de suelo desnudo en pastura degradada –PD- (35%) siendo este casi tres veces mayor que en pastura mejorada -PM- (13,29%) y un tanto más que en banco forrajero -BF- (25,40%) y bosque ripario -BR- (26%).

Debido a la naturaleza de las especies de pasto presente en BF, cuyo crecimiento amacollado deja espacios libres para el crecimiento de malezas, este porcentaje fue alto en este sistema (21,50%); PM y PD (14,54 y 12,30%) no presentaron mayores valores en cuanto a maleza dada la alta densidad de pasto al momento de la toma de datos; para BR este valor se ubicó en 8,20% lo cual concuerda con Cordero *et al.* (2003) y Labrada (1996) quienes

mencionan la poca tolerancia de malezas a la sombra, por consiguiente al cerrarse el dosel y permitir la entrada de poca luz estas especies pierden posibilidades de crecer.

Asimismo, se encontró un 68% de hojarasca dentro de la cobertura en BR debido a a la cantidad de árboles presentes (34 árboles/parcela), siendo muy diferente el escenario en BF, PM y PD (11,75 %, 1,67 %, 1,50% de hojarasca), donde la presencia de árboles fue relativamente nula.

4.1.3 Riqueza y abundancia

Referente a la riqueza se evidencia la presencia de 6 especies arbóreas (dap > 5cm) y el estrato más bajo dominado por gran variedad de arbustos hierbas y palmas, se encuentran árboles maduros de especie y porte variado lo cual se expresa en el siguiente cuadro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Riqueza y abundancia de especies de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso de suelo	Abundancia	Riqueza
BR	34	6

Donde: Donde: BR = bosque ripario. Las especies se describen la caracterización de los usos de suelo evaluados (apartado 3.5)

4.2 Estructura y composición de suelos.

Mediante análisis de suelo en laboratorio se determinó los porcentajes de arena, limo y arcilla para obtener la textura de cada uno de los usos de suelo, de la misma manera se procedió para determinar densidad aparente (Cuadro 9), adicionalmente se realizó un análisis químico para obtener acidez, contenido de Ca, Mg, K, P y % de materia orgánica (Cuadro 10).

Cuadro 9. Textura de usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USOS DE SUELO	DENSIDAD g/cc	GRANULOMETRÍA			TEXTURA %
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	
BR	0,50	68,10	24,85	7,05	Franco arenoso
BF	0,44	66,10	26,80	7,10	Franco arenoso
PM	0,59	62,43	30,47	7,10	Franco arenoso
PD	0,51	76,95	18,70	4,35	Arenoso franco

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PM = pastura mejorada, PD = pastura degradada, g/cc = gramos por centímetro cubico.

Se pudo notar que la densidad de suelos resultó muy similar en BR, PM, PAD, mientras que fue un poco menor en BF, esto puede deberse principalmente a los espacios porosos creados por la red de raíces en bancos forrajeros. Quizá la densidad del suelo del bosque ripario estuvo influenciada por ser un sistema intervenido en el cual hay ingreso de personas.

Cuadro 10. Análisis químico de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USOS DE SUELO	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	Materia orgánica
	H ₂ O	cmol(+)/l	cmol(+)/l	cmol(+)/l	cmol(+)/l	mg/l	%	%
BR	5,41	0,61	4,31	1,38	0,19	2,50	9,79	16,88
BF	5,17	0,51	2,63	0,59	0,17	6,90	11,98	20,64
PM	5,39	0,29	2,56	0,70	0,31	4,10	9,28	16,0
PD	5,73	0,19	3,64	0,85	0,28	4,50	10,61	18,22

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PM = pastura mejorada, PD = pastura degradada, pH = potencial hidrógeno, Ca = calcio, Mg = magnesio, K = potasio, P = fosforo, C.O = carbono orgánico, H₂O = agua, cmol(+)/l = centimoles por litro, mg/l = miligramos por litro

Los resultados de los análisis de laboratorio sugieren que el banco forrajero presenta menor densidad aparente (0,44 g⁻¹ cc), no obstante la diferencia existente entre los demás usos de suelo es mínima. La textura de los suelos evaluados es franco arenosa para BR, BF y PM, y arenoso franco en PD.

4.3 Precipitación.

Los datos de lluvia registrados con pluviómetros en cada uno de los sitios de muestreo durante la investigación demuestran una *relativa* homogeneidad con eventos extremos en los meses de febrero, y precipitaciones diarias que van desde los 4 mm hasta los 115 mm, los mismos pueden ser observados en la Figura 12, sin embargo la variaciones evidenciadas sugieren también la presencia de microclimas

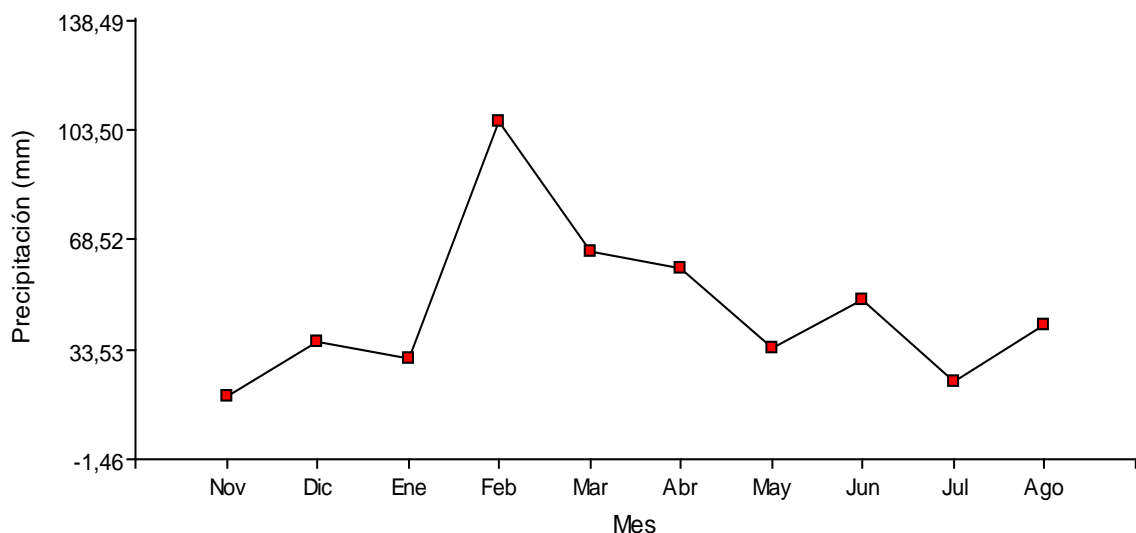


Figura 12. Tendencia de eventos de lluvia registrados de noviembre 2009 hasta agosto 2010 en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Los datos tomados en campo muestran un aumento en la precipitación en el mes de febrero disminuyendo paulatinamente en los meses siguientes, esta situación concuerda con datos de investigaciones en la zona media alta de la cuenca del Río Reventazón (Morales *et al*, 2010) quienes demuestran que las lluvias se intensifican durante el periodo de diciembre a marzo, situación que se ha venido presentando desde los últimos 6 años. Durante el periodo de muestreo (10 meses) se evaluaron 54 eventos en BR, 52 en BF, 143 en PM y 65 en PD.

4.3.1 Umbral de escorrentía.

El umbral de escorrentía básicamente es la cantidad de precipitación necesaria para que se empiece a producir escorrentía. Referente a este punto se puede observar que el BF fue el sistema en el cual se necesitó mayor cantidad de lluvia para producir escorrentía (11,08 mm);

seguido por BR (8,71 mm), PM (8,56 mm) y PD (5,63 mm). Esta situación se debe posiblemente a la interferencia de los árboles y la cobertura del suelo (hojarasca) sobre la precipitación incidente (Huber y Trecaman 2000, Putuhena y Cordery 2000, Huber y Iroumé 2001) disminuyendo la cantidad de agua que llega al suelo (precipitación neta). En la figura 13 se muestra el umbral de escorrentía¹² promedio para los usos de suelo evaluados.

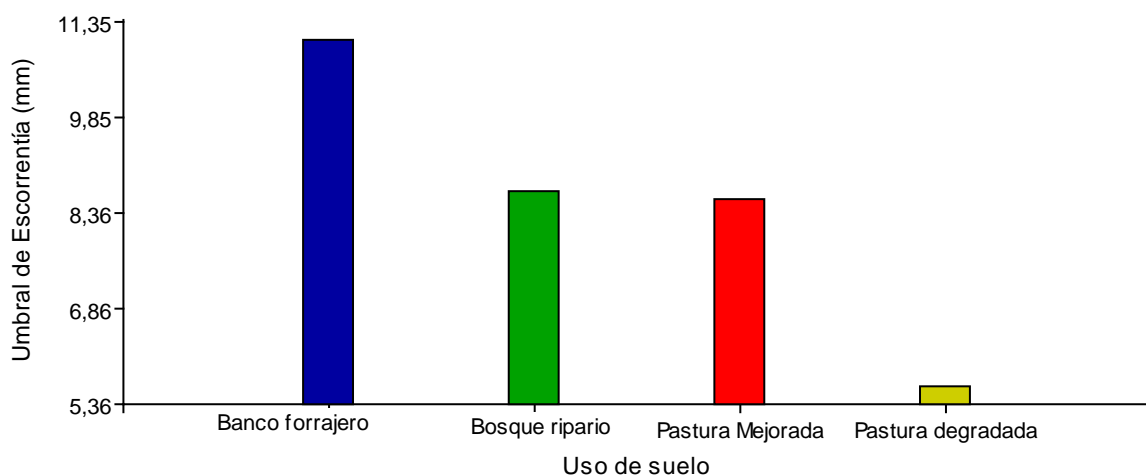


Figura 13. Umbral de escorrentía superficial (mm) para los usos de suelo evaluados desde Noviembre 2009 hasta Agosto 2010 en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Es importante mencionar que los bancos forrajeros necesitaron mayor cantidad de precipitación dado que la intercepción de la lluvia era mayor al contar con gran densidad de hojas y mediante el flujo caulinar¹³ el cual según Acevedo y Sarmiento (1990), puede llegar a obtener valores muy altos de intercepción. De la misma manera se puede notar que la cantidad de precipitación necesaria para producir escorrentía en una PD es mucho menor comparada con el resto de usos de suelo evaluados, esto se debe principalmente al porcentaje de suelo desnudo presente en los sitios de muestreo, y la compactación de los suelos gracias al pisoteo de los animales.

¹² Cantidad de precipitación necesaria para empezar a producir escorrentía.

¹³ Porción de la precipitación que escurre por ramas y tallos hasta el suelo.

4.4 Escorrentía superficial.

Un caso interesante a analizar es la comparación de bosques riparios ubicados a diferentes alturas. El primer bosque (BR1) está ubicado en los 2.076 m.s.n.m. mientras que el segundo (BR2) se encuentra en los 1.511 m.s.n.m. Teniendo en consideración lo indicado por Ríos, (2006) quien afirma que “*la escorrentía superficial depende de la cantidad e intensidad de las precipitaciones*”, esta diferencia altitudinal afectó directamente el escurrimiento superficial ya que se pudo notar que en el BR1 predomina la precipitación horizontal producida por condensación de nubes en los pluviómetros. A manera de comparación se muestran continuación (Cuadro 11) los resultados obtenidos para ambos bosques:

Cuadro 11. Comparación de escorrentía superficial en dos bosques riparios a diferentes alturas en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USO DE SUELO	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)	Umbral de Escorrentía (mm)	Escorrentía superficial (%)
Bosque Ripario 1	2.076	42 ¹⁴	27,00	1,32
Bosque Ripario 2	1.511	26	8,71	6,95

Se observa entonces los valores de precipitación obtenidos en los pluviómetros de ambos bosques, y el porcentaje de escorrentía que estos producen. Teniendo en cuenta que las características de estos dos bosques son similares, resulta contradictorio al ver los resultados decir que la escorrentía aumenta cuando aumenta la precipitación, la explicación a este fenómeno fue observada en campo, pudiendo notar que los pluviómetros en el bosque de altura (BR1) se llenaban debido a la condensación de las nubes, en consecuencia las comparaciones entre usos de suelo fueron realizadas con los datos de BR2.

En la Figura 14 se muestran los resultados de escorrentía superficial obtenidos durante el periodo de evaluación para cada uno de los sistemas evaluados

¹⁴ Principalmente se da precipitación horizontal, mediante condensación. Por este motivo hay un ingreso adicional de agua al sistema.

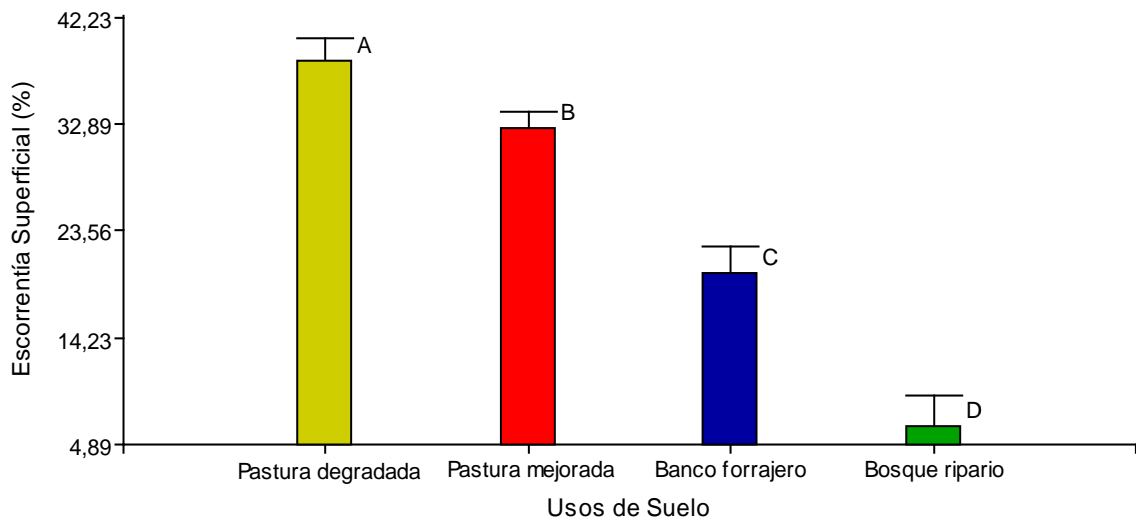


Figura 14. Porcentaje de escorrentía superficial para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Se encontró diferencias estadísticas significativas para los usos de suelo ($p < 0,001$), que indican que PD (38,40 %) produce seis veces más escorrentía superficial que BR (6,59 %) dos veces más que BF (19,83 %) y un tanto más que en PM (32,64 %) lo cual concuerda con ensayos realizados por Treviño *et al.* (2002) y Ríos (2006) cuyos resultados expresan que las áreas con menores porcentajes de escorrentía superficial son las áreas ocupadas por bosque.

Se puede mencionar entonces que la principal razón por la cual una pastura produce mayor cantidad de escorrentía superficial, es la compactación del suelo y el aumento de áreas con bajo cobertura debido al pisoteo animal (Casasola *et al.* 2009) lo cual promueven la impermeabilidad de los suelos y mayor escorrentía superficial.

Tomando en cuenta que lo que se quiere es conocer cuál es la influencia del manejo en los usos de suelo evaluados se tomo datos de la permanencia de ganado en potrero y cuando los bancos forrajeros eran cortados, esperando que la escorrentía superficial en los primeros días después de pastoreo o de corte el banco forrajero sea diferente cuando se la compara cuando el potrero o banco está en recuperación. Estadísticamente no se encontró diferencias significativas ($p < 0,4095$) para la interacción uso: pastoreo o corta / recuperación con la

escorrentía superficial, no obstante se obtuvieron porcentajes de escorrentía para estos dos situaciones.

Cuadro 12. Porcentajes de escorrentía para pastoreo o corta de bancos forrajeros y recuperación de los mismos para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso de suelo	Escorrentía superficial según el estado del Sistema		
	Recuperación	Pastoreo o corta	Diferencia
	(%)	(%)	(%)
BF	12,87	22,37	9,50
PM	25,33	39,26	13,93
PD	30,92	45,86	14,94

Donde: Donde: BF = banco forrajero, PM = pastura mejorada PD = pastura degradada.

En el Cuadro 12 se puede observar el porcentaje de escorrentía superficial mismo que aumenta en el sistema cuando este se encuentra en pastoreo o corta, teniendo así, que: el banco forrajero tiene un 9,50 % más de escorrentía cuando se encuentra en corta, datos que confirman lo expresado por Báez *et al.* (2005) quien basado en investigaciones demostró que la lixiviación es menor en un pasto dedicado a corte comparado a cuando el ganado aprovecha el pasto directamente; por otro lado PM y PD tienen un 13,93 % y 14,94% más de escorrentía superficial cuando el área está siendo pastoreada, estos datos se asemejan a los encontrados por De la Orden *et al.* (2006) en un estudio realizado en Catamarca, Argentina, en el cual se clausuró un área aproximada de un cuarto de hectárea dentro de un pastizal para probar de entre otros factores el efecto del pastoreo en la escorrentía y erosión por acción hídrica; los resultados encontrados reflejaron valores menores en el área clausurada, de la misma manera experiencias en la provincia de Antioquía (Castaño, 2007) demuestran que “*en unas pocas décadas y como consecuencia del pisoteo del ganado muchas colinas se vieron afectadas por la erosión y por los procesos acelerados de meteorización del suelo*”.

Es innegable entonces tomar en consideración la reducción o ajuste de la carga animal para disminuir la intensidad de pastoreo y mantener una adecuada cobertura y también aminorar la compactación del suelo.

Adicionalmente, se muestran (Cuadro 13) los contrastes utilizados para comparar el efecto del pastoreo o corta de bancos forrajeros / recuperación en los diferentes usos de suelo, y obtener significancia sobre los parámetros del modelo. Además de esto se utilizaron dos interacciones: 1) interacción 1 (INT1): que es el resultante de la interacción entre pasturas vs banco forrajero y pastoreo o corta vs recuperación; y 2) interacción 2 (INT2): resultante de la interacción entre pastura degradada vs pastura mejorada y pastoreo o corta vs recuperación.

Cuadro 13. Tabla de resultados para prueba de hipótesis de contrastes de los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

	Contraste	F	gl(num)	gl(den)	p-valor
BR1 Vs Resto	142,2	70,71	1	295	<0,0001
P vs BF	62,76	35,15	1	295	<0,0001
PD Vs PM	11,53	5,13	1	295	0,0242
PoC Vs Rec	-48,86	50,32	1	295	<0,0001
INT1	-114,27	116,55	1	295	<0,0001
INT2	5,13	1,02	1	295	0,3142
Total		133,49	6	295	<0,0001

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada., PoC = pastoreo o corta, Rec = recuperación, INT1 = interacción 1, INT2 = interacción 2

Estas interacciones demuestran que existen diferencias significativas ($p=0,0001$) cuando los tratamientos fueron sometidos a pastoreo o corta versus cuando se mantuvieron en recuperación. En el cuadro 14 se pueden observar los coeficientes de contrastes calculados para los usos de suelo evaluados, confirmando la significancia entre cada uno de los tratamientos con y sin pastoreo, y las interacciones existentes entre ellos, no obstante se observa que en (INT1) no se cumple este patrón.

Cuadro 14. Tabla de Coeficientes de contrastes para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso	BR1 Vs Resto	P vs BF	PD Vs PM	PoC Vs Rec	INT1	INT2
BR	-6	0	0	0	0	0
BF	1	-2	0	-1	-2	0
BF	1	-2	0	1	-2	0
PM	1	1	-1	1	1	-1
PM	1	1	-1	-1	-1	1
PD	1	1	1	-1	-1	-1
PD	1	1	1	1	1	1

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada., DS = Desviación estándar, PoC = pastoreo o corta, Rec = recuperación, INT = interacción.

4.5 Capacidad de Infiltración.

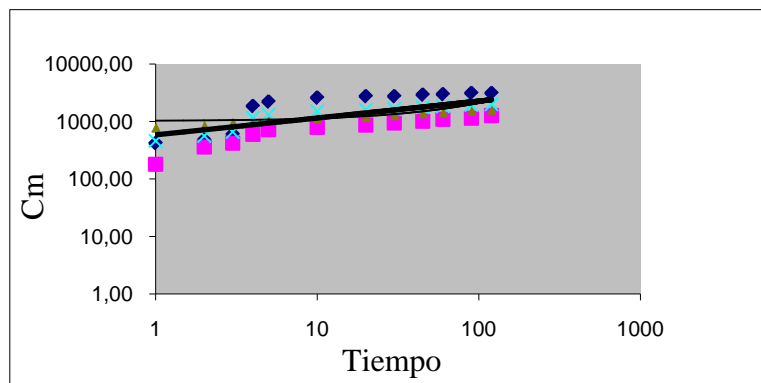
A continuación en el Cuadro 15 se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los usos de suelo evaluados y en la Figura 15 se muestran las gráficas respectivas calculadas mediante el uso y ajuste a la ecuación de Kostiakov ($I = a b t^{b-1}$)¹⁵

Cuadro 15. Capacidad de infiltración para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USO DE SUELO	TASA DE INFILTRACIÓN $\text{cm}^{-1} \text{ h}$	R^2
BR	0,955	0,8307
BF	0,225	0,8648
PM	0,074	0,7542
PD	0,029	0,9425

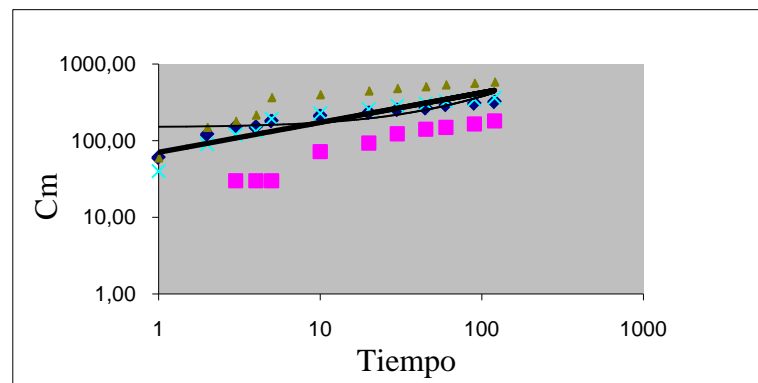
Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada.

¹⁵ Donde: I = velocidad de infiltración, a y b = factores de ajuste y t = tiempo transcurrido desde el inicio de la infiltración (llamado también tiempo de oportunidad o tiempo de contacto del agua con el suelo).....



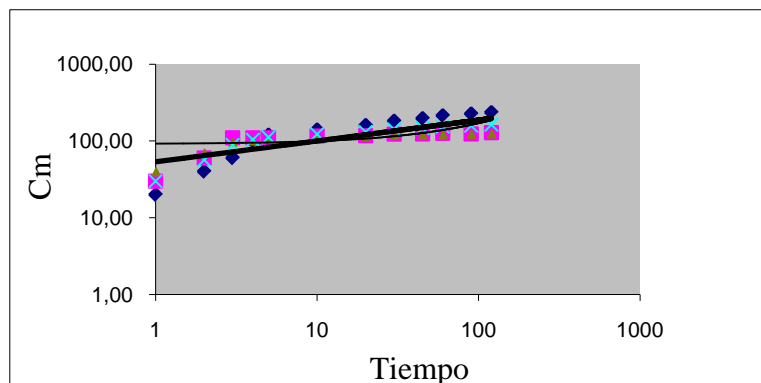
Bosque Ripario

$$y=584,59x^{0,2941} \quad R^2 = 0,8307$$



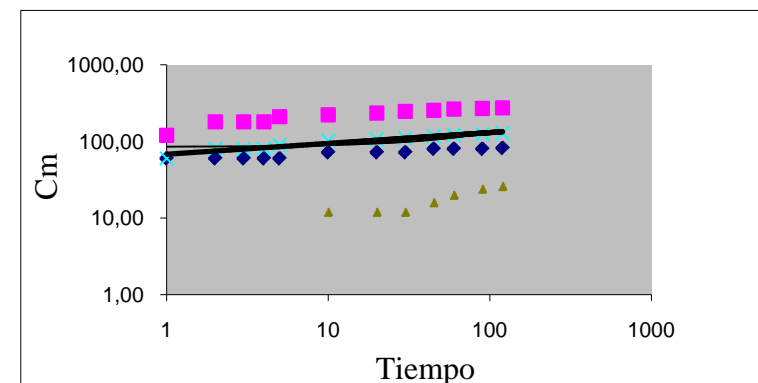
Banco Forrajero

$$y=70,504x^{0,3891} \quad R^2 = 0,8648$$



Pastura mejorada

$$y=53,483x^{0,2721} \quad R^2 = 0,7542$$



Pastura Degradada

$$y=67,984x^{0,1412} \quad R^2 = 0,9425$$

Figura 15. Velocidad de infiltración para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Los resultados de las pruebas de infiltración demuestran que esta es diferente según el uso de suelo, se tiene entonces que BR presenta la mayor velocidad de infiltración, siendo treinta y cuatro veces mayor que en PD ($0,029 \text{ cm}^{-1} \text{ h}$), trece veces más que en PM ($0,074 \text{ cm}^{-1} \text{ h}$) y cuatro veces mayor que en BF, este comportamiento puede deberse a la mayor presencia de raíces y hojarasca en bosques, las cuales forman espacios porosos en el suelo, espacios que luego pueden ser llenados fácilmente por el agua que ingresa el suelo; o pueden retener agua en el caso de la hojarasca. El hecho de que las pasturas presente una baja capacidad de infiltración se debe a que los suelos se compactan cuando es usado intensivamente por animales (Maderey, 2005 y Volverás *et al.*) y el agua al no poder ingresar al perfil del suelo corre libremente por la superficie.

4.6 Erosión hídrica.

En la Figura 16 se muestran los resultados obtenidos para esta variable en los usos de la tierra evaluados durante el periodo de estudio comprendido entre febrero y agosto 2010.

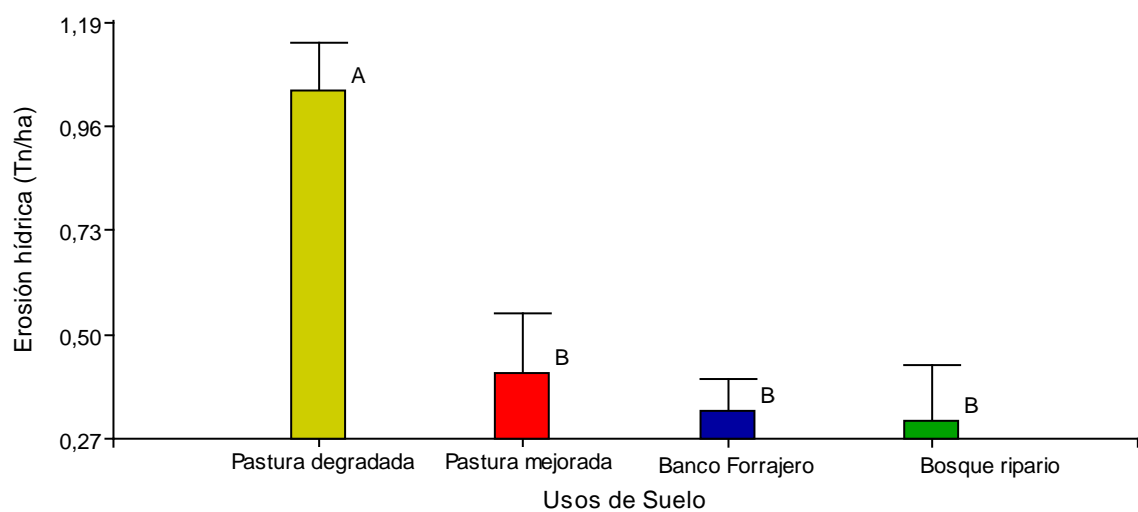


Figura 16. Erosión hídrica ($\text{Tn}^{-1} \text{ ha}$) en usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

El uso de suelo con mayor erosión hídrica resulto ser la pastura degradada con $25,56 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$ siendo catorce veces más que en BR ($1,82 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$), seis veces más que en BF ($3,93 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$) y cuatro veces mayor que en PM ($6,89 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$), observando los datos es indiscutible las

consecuencias negativas que traen consigo prácticas agropecuarias tradicionales en cuanto a la conservación del recurso suelo (Derpsch, 2006). La adopción de sistemas silvopastoriles como bancos forrajeros es una opción al momento de adoptar tecnologías ya que como se ha comprobado ayudan a reducir la erosión hídrica, a más de esto al aumentar el tiempo en que el ganado se encuentra estabulado se reduciría la compactación de los suelos debido al pisoteo. Cabe indicar que estudios como el realizado por Suárez (2009) demuestran que la adopción de bancos forrajeros contribuye a mejorar la eficiencia de producción y rentabilidad de fincas reduciendo el uso de insumos externos.

De igual manera que en la escorrentía superficial, se analizó si el manejo de los usos de suelo influenciaba en los valores de suelo erosionado, pudiendo encontrar diferencias estadísticas significativas ($p < 0,0316$), lo cual sugiere que la erosión aumenta cuando el uso de suelo se encuentra en pastoreo en el caso de PM y PD; y en corta cuando se trata de BF.

4.7 Influencia de la vegetación sobre la escorrentía y erosión.

Se realizó una matriz con los datos obtenidos para las variables en estudio (Cuadro 16), y en base a esta se determinaron los coeficientes de correlación (Cuadro 17) a fin de conocer el grado de asociación entre ellas:

Cuadro 16. Matriz para calcular coeficientes de correlación entre las variables respuesta en usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso	P	M	H	SD	Esc	E	UEsc	I	Ab	R	D
BR	0,00	9,50	64,10	26,40	6,95	1,82	8,71	0,96	34,00	6,00	0,48
BF	41,35	21,50	11,75	25,40	19,83	3,93	11,08	0,23	0,00	0,00	0,44
PM	70,51	14,54	1,67	13,29	32,64	6,89	8,56	0,07	1,00	0,33	0,59
PD	51,14	12,30	1,50	35,06	38,40	25,56	5,63	0,03	0,00	0,00	0,51

Donde: PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada, BF = banco forrajero, BR = bosque ripario, P = Pasto (%), M = Maleza (%), H = Hojarasca (%), SD = Suelo desnudo (%), Esc = Escorrentía (%), E = Erosión ($Tn^{-1} ha$), UEsc = Umbral de Escorrentía (mm), I = Capacidad de infiltración ($cm^{-1} h$), Ab = Abundancia de especies, R = Riqueza de especies; D = Densidad aparente de suelo.

Cuadro 17. Coeficientes de correlación calculados para los usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

	P	M	H	SD	Esc	E	UEsc	I	Ab	R	D
P		0,59	0,05	0,62	0,12	0,59	0,82	0,05	0,1	0,11	0,4
M	0,41		0,48	0,81	0,88	0,78	0,32	0,52	0,35	0,34	0,64
H	-0,95	-0,52		0,89	0,09	0,45	0,8	1,30E-03	0,02	0,02	0,64
SD	-0,38	-0,19	0,11		0,95	0,39	0,53	0,93	0,92	0,95	0,4
Esc	0,88	0,12	-0,91	0,05		0,21	0,41	0,07	0,17	0,17	0,47
E	0,41	-0,22	-0,55	0,61	0,79		0,15	0,4	0,52	0,51	0,83
UEsc	-0,18	0,68	0,2	-0,47	-0,59	-0,85		0,75	0,93	0,93	0,59
I	-0,95	-0,48	1	0,07	-0,93	-0,6	0,25		0,02	0,02	0,64
Ab	-0,9	-0,65	0,98	0,08	-0,83	-0,48	0,07	0,98		3,10E-04	0,79
R	-0,89	-0,66	0,98	0,05	-0,83	-0,49	0,07	0,98	1		0,82
D	0,6	-0,36	-0,36	-0,6	0,53	0,17	-0,41	-0,36	-0,21	-0,18	

Donde: P = Pasto (%), M = Maleza (%), H = Hojarasca (%), SD = Suelo desnudo (%), Esc = Escorrentía (%), E = Erosión (Tn^{-1} ha), UEsc = Umbral de Escorrentía (mm), I = Capacidad de infiltración (cm^{-1} h), Ab = Abundancia de especies, R = Riqueza de especies; D = Densidad aparente de suelo.

El análisis de correlación nos indica que la escorrentía superficial presenta una correlación negativa de -0,59 ($p=0,41$) con el umbral de escurrimiento, a pesar de no ser significativa se puede decir que la escorrentía superficial aumenta en la medida en que disminuye el umbral de escurrimiento. Se encontró igualmente una correlación negativa no significativa entre escorrentía superficial, abundancia -0,83 ($p=0,93$) y riqueza -0,83 ($p=0,93$) de especies, esto demuestra que el componente arbóreo ayuda a disminuir la escorrentía superficial (Ríos *et al.* 2008a) este hecho puede llevar a entender la asociación negativa entre la escorrentía y la presencia de hojarasca –con un coeficiente de - 0,91 ($p=0,45$) y que a mayor suelo desnudo la escorrentía superficial aumenta ($r=0,5$) ($p=0,95$).

Asimismo, se evidencia que la capacidad de infiltración se asocia negativamente con el porcentaje de escurrimiento obteniendo un coeficiente de correlación de -0,92 ($p=0,08$) sugiriendo un decrecimiento en la escorrentía cuando la infiltración de agua en el suelo es mayor. La correlación altamente significativa entre la capacidad de infiltración y la abundancia de 0,98 ($p=0,02$) y riqueza de especies de 0,98 ($p=0,02$) respaldan la teoría de que los árboles ayudan a la conservación de agua en el suelo (Ríos *et al.* 2008a; Zapata y

Manzano, 2008) esta situación conlleva a que la infiltración y hojarasca se correlacionen significativamente con un valor de 1 ($p=1,30E-03$) lo cual indica que a mayor hojarasca la capacidad de infiltración se incrementa (Villegas, 2004).

El coeficiente de correlación entre la erosión hídrica y el suelo desnudo de 0,61 ($p=0,39$) a pesar de no ser significativa indica que la erosión aumenta en medida en que se incrementa el porcentaje de suelo desnudo. La erosión y la hojarasca se ajustan a una función exponencial negativa no significativa de -0,55 ($p=0,45$) es decir que las pérdidas de suelo por erosión hídrica se reducen de forma exponencial al aumentar la cobertura vegetal; cuando el umbral de escurrentía es mayor disminuye la escurrentía ($r=-0,59$; $p=0,41$) y por consiguiente la erosión ($r=-0,85$; $p=0,15$).

4.8 Modelación de escenarios para variabilidad climática y cobertura vegetal.

Los datos resultantes de la simulación SWAT se presentan en el cuadro 18.

Cuadro 18. Erosión hídrica de los usos de suelo evaluados en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso de Suelo ¹⁶	Datos obtenidos en campo ¹⁷	Condición actual (línea base SWAT) ¹⁸
	E (Tn ⁻¹ h año)	E (Tn ⁻¹ h año)
BR	1,82	1,05
PM	6,89	8,59
PD	25,56	21,31

Donde: Donde: BR = bosque ripario, PM = pastura mejorada, PD = pastura degradada, E = erosión hídrica

¹⁶ En la modelación de escenarios no se consideró a los bancos forrajeros debido a que no existen mapas de uso de suelo para la zona que incluyan este uso.

¹⁷ Mediante el uso de las parcelas de escurrentía y erosión

¹⁸ Uso de suelo encontrados en el momento de la evaluación

Los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación SWAT muestran variaciones en cuanto a los datos obtenidos en mediciones de campo, esto puede deberse a que el modelo requería una información más detallada sobre las condiciones de manejo del sistema y dado que este efecto se evidencia en campo provoca un aumento en los valores de las variables estudiadas.

En base a los datos obtenidos con el modelo SWAT se corrió dos escenarios para variabilidad climática (Cuadro 19): uno con 5 % más y otro con 5% menos precipitación

Cuadro 19. Escorrentía superficial y erosión hídrica mediante modelación SWAT para variabilidad climática con respecto a precipitación en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso de Suelo ¹⁹	+ 5% de precipitación ²⁰		Condición actual (línea base SWAT)		- 5% de precipitación	
	Esc (%)	E (Tn ⁻¹ h año)	Esc (%)	E (Tn ⁻¹ h año)	Esc (%)	E (Tn ⁻¹ h año)
BR	9,73	1,10	9,27	1,05	8,81	1,00
PM	20,27	9,02	19,30	8,59	18,34	8,16
PD	21,59	22,38	20,56	21,31	19,53	20,24

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada, Esc = escorrentía superficial, E = erosión

Se puede apreciar que los valores para las variables escorrentía superficial y erosión hídrica varían conforme varía la precipitación, Sin embargo, estas variaciones porcentualmente dependen más de la vegetación y de su fenología que del agua incidente (Ataroff y Sánchez, 2000). Por otra parte se modeló un escenario para cobertura vegetal (Cuadro 20) en el cual los sistemas tradicionales de pasturas fueron cambiados por sistemas mejorados.

¹⁹ En la modelación de escenarios no se consideró a los bancos forrajeros debido a que no existen mapas de uso de suelo para la zona que incluyan este uso.

²⁰ Perspectiva Climática 2010: Elaborado por: Departamento de Climatología e Investigaciones aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional (MINAET); 14 de julio, 2010

Cuadro 20. Erosión hídrica mediante modelación SWAT con respecto a cobertura vegetal en la campiña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso de Suelo	Cobertura uso actual del	Sistemas de producción convencionales
	suelo (línea base SWAT)	fueron convertidos a sistemas ganaderos mejorados.
	Erosión (Tn ⁻¹ h año)	Erosión (Tn ⁻¹ h año)
BR	1,05	1,05
PM	8,59	8,21
PD	21,31	16,24

Donde: Donde: BR = bosque ripario, BF = banco forrajero, PD = pastura degradada, PM = pastura mejorada.

Los escenarios para cobertura vegetal no muestran diferencias significativas, posiblemente debido a que no se usaron datos específicos de manejo de los sistemas productivos, asociado a la poca variación de los tipos de suelo en el área de estudio. Sin embargo es necesario indicar que se mantiene la tendencia al comparar los resultados obtenidos en campo con los obtenidos por medio de simulación, lo cual refleja lo expresado por Mahecha (2002) y Ríos *et al.* (2008a), quienes manifiestan que la cobertura arbórea ayuda a disminuir la escorrentía superficial y degradación de suelos.

4.9 Valoración económica de la erosión.

El objetivo fue determinar cuáles son los costos de dragado de los sedimentos producidos por un uso de suelo tradicional (PD), y el de un sistema silvopastoril (BF). Dichos datos se presentan en el Cuadro 21, donde BF representa el sistema por el cual se cambiará el uso tradicional (PD). Se realizó entonces la relación siguiente:

Cuadro 21. Costos de dragado de sedimentos producidos por usos de suelo.

Uso de Suelo	Producción de sedimento (Tn ⁻¹ ha) ²¹	Costo de Dragado (USD) ²²
PD	25,56	42,69
BF	3,93	6,56
TOTAL	21,63	36,13

Donde: PD = Pastura degradada, BF = Banco forrajero.

La erosión en PD es de 25,56 Tn⁻¹ ha 10 meses y en BF es de 3,93 Tn⁻¹ ha 10 meses, la diferencia (21,63 Tn⁻¹ ha) representa el suelo que no se pierde por efecto hídrico.

$$25,56 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha} - 3,93 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha} = 21,63 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha}$$

Si multiplicamos este valor por el costo de remover una tonelada de sedimento tendremos que: si se cambia una hectárea de pastura tradicional (PD) a una hectárea de BF (*Cratylia argentea*) para corte y acarreo, los trabajos de dragado costarían USD 36,13 Tn⁻¹ ha menos.

$$21,63 \text{ Tn}^{-1} \text{ ha} \times \text{USD } 1,67 = 36,13 \text{ USD/ Tn}^{-1} \text{ ha}$$

Si bien es cierto el costo de implementación y mantenimiento de esta tecnología (Cuadro 22) genera salidas de efectivo de recursos propios del productor, es importante citar trabajos como los de Jansen *et al.* 1997, Jiménez 2007, Sánchez 2007, Turcios 2008, quienes demuestran mediante análisis financiero, que los sistemas silvopastoriles presentan una tasa interna de retorno positiva, las mismas que varían entre 17 y 35% usando especies como *Cratylia argentea*. Asimismo, estudios realizados por Gobbi y Casasola (2003), demuestran que el tiempo de recuperar la inversión inicial es de cuatro años; indican también que si existiera pago por servicios ambientales, este periodo se reduciría a dos años. A esto se suma el hecho de que la suplementación con forraje permite a los productores aumentar los

²¹ Sedimento producido durante el tiempo de investigación Noviembre 2009 a Agosto 2010 (10 meses).

²² ICE. 2002. Unidad de manejo de la cuenca del Río Reventazón: Descripción general.

USD 3.000.000,00 anuales para desalojar 1.500.000,00 Tn./ha de sedimento. Resultando USD 2 tn./ha/año, y USD 1,67 durante el tiempo de la investigación (10 meses)

indicadores de producción por unidad de área y/o vaca (Ibrahim *et al*, 2006) y los ingresos a partir de una mayor capacidad productiva gracias al mejoramiento en la calidad de la dieta (Ficke *et al*, 2003; Sowell *et al*, 2003; Ibrahim *et al*, 2001; Franco 1997).

Cuadro 22. Costos de implementación y mantenimiento de un banco forrajero de *Cratylia argéntea* para corte y acarreo.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo
Establecimiento			
Semilla	Kg	5	150,00
Herbicida (glifosato)	Litros	4	34,32
Fertilizante (15–15–15)	kg	454,54	121,20
Llenado y siembra de bolsas	Jornales*	19	128,64
Aplicación de herbicida	Jornales*	8	63,33
Ahoyado y siembra	Jornales*	92	622,92
Aplicación de fertilizante	Jornales*	2	13,54
Total			1.133,95
Mantenimiento/utilización			
Control de malezas manual	Jornales*	4	27,08
Podas de uniformización	Jornales*	6	40,62
Corte, acarreo, picado y ofrecimiento	Jornales*	25	169,30
Ensilaje (2.000 kg)	Jornales*	6,7	85,31
Electricidad			12,50
Sacos			16,25
Total			351,06

*Un jornal fue ajustado para seis horas día⁻¹ hombre. Tasa de cambio: USD 1 = 480 colones costarricenses (Agosto 2005)

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La pastura degradada produce seis veces más escorrentía superficial que el bosque ripario dos veces más que el banco forrajero y un tanto más que la pastura mejorada.

La escorrentía superficial y erosión hídrica muestran correlaciones positivas con el suelo desnudo, lo cual se constituye como evidencia de la importancia de la cobertura para la conservación de agua y suelo.

Sin lugar a dudas el manejo de los usos de suelo es un factor determinante en cuanto a conservación de suelo y agua, teniendo por ejemplo que un banco forrajero aumenta un 9,50% de escorrentía cuando se encuentra en corta; una pastura mejorada y una pastura degradada puede elevar su porcentaje de escurrimiento superficial en un 13,93 % y 14,94% respectivamente cuando se encuentran en pastoreo.

Los sistemas mejorados (bancos forrajeros) presentan una relación escorrentía-erosión intermedia entre pasturas y bosque, por lo que resulta interesante aprovechar sus beneficios para encontrar un balance conservación/producción. La adopción de estos sistemas productivos es definitivamente una opción que tomar en cuenta para disminuir la degradación de suelos, por otro lado resulta interesante contar con opciones que a largo plazo representen un ahorro económico para las comunidades.

Es innegable el efecto de la precipitación tanto en el porcentaje de escorrentía como en la producción de sedimentos, no obstante sería interesante medir la intensidad de las lluvias para conocer su relación con estos dos factores.

Resulta imprescindible contar con información completa y específica sobre el manejo de los sistemas productivos para obtener mejores resultados en pruebas de simulación, sin embargo como se pudo observar esta es una herramienta e mucha ayuda cuando lo que se necesita tomar decisiones y no se cuenta con el tiempo necesario para realizar las medidas en campo.

Se recomienda realizar investigaciones que ayuden a calibrar y/o respaldar los resultados obtenidos con modelación SWAT.

Es recomendable realizar análisis económicos más exhaustivos sobre producción en base a cambios de uso de la tierra para poder de esta manera tener información la cual permita aplicar algún tipo de compensación a los productores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, D. y Sarmiento, G. 1990. Intercepción de la lluvia, escorrentía superficial y drenaje profundo en una pastura tropical y un cultivo de maíz en Barinas, Venezuela. Sociedad Venezolana de Ecología. *Ecotropicos* 3 (1): 12-32
- Arce, R. 2004. Resumen Diagnóstico Cuenca Reventazón. Consultoría para Proyecto de Redes Comunitarias para la Gestión del Riesgo. San José. CR. 15 p.
- Ataroff, M. y Sánchez, L. 2000. Precipitación, intercepción y escorrentía en cuatro ambientes de la cuenca media del río El Valle, estado de Táchira, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. Vol. 41(1):11-30
- Báez, D.; Castro, J.; Lopez, J.; Novoa, R. 2005. Efecto del manejo de praderas dentro de una explotación de ganado vacuno en la evolución de nutrientes en el suelo durante el periodo de drenaje. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* 7. 6 p.
- Bennet, A. 2004 "Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre". UICN. San José, Costa Rica. 278pp.
- Betteridge, K.; Mackay, A.; Pande, T.; Costall, D.; Budding, P.; Valentine, I.; Singleton, P.; Drewry, J.; Findlayson, J.; Boyes, M and Judge, A. 2002. Cattle treading on wet soils: implications for pasture growth and soil physical condition. In "Diary farm soil management". Eds Currie, L; Loganathan, P. Fertiliser and Lime Research Centre: Massey University, Palmerston North, NZ. pp. 79-88.
- Bodoque, J. 2007. Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos geomorfológicos activos asociados a la hidrología de superficie en la sierra de Guadarrama y Gredos. Madrid, ES. Tesis Ph.D Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 444 p.
- Brutsaert, W. 2005. *Hydrology an introducción*. Cornell University, New York. US. 605 p.
- Bubuda, C. 2004. Muestreo de suelos: Criterios básicos. *Patagonia Forestal* 10(1):10-12

- Cartes, E.; Rubilar, R. y Mardones, O. 2009. Comparación de erosión hídrica en plantaciones forestales y bosque nativo, en suelo granítico de la región del Bío-Bío, Chile. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, AR. pp. 18-23 (En línea). Consultado el 17 de Enero de 2010. Disponible en http://www.cfm2009.org/es/programapost/resumenes/uploads/Erosion_hidrica_FD.pdf
- Casasola, F; Ibrahim, M; Sepúlveda, C; Ríos, N; Tobar, D. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas. 1ra ed. Turrialba, C.R: CATIE 292 pág. (Serie técnica. Informe Técnico / CATIE; No.377)
- Castaño, Y. 2007. "Y se crían con grande vicio y abundancia": La actividad pecuaria en la provincia de Antioquia, siglo XVII. Fronteras de la historia, 12. Ministerio de Cultura. Bogotá, CO. pp. 267-300
- Castro, A. 2002. Ganadería de carne: gestión empresarial. San José, CR. 263 p
- Chagoya, J. 2009. Multidisciplinary approach to support the design of a local policy of payment for hydrological ecosystem services, in a microwatershed located in northern Veracruz, México. Tropical Agricultural Research and Higher Education Center University of Wales - Bangor. Ph.D. Conjoin program. Turrialba, CR. 186 p.
- Chela, E; Monar, C.; Valverde, F.; Cruz, E. 2008. Evaluation of soil loss from water erosion in three production systems of the Alumbre River watershed, Ecuador. Working Paper. SANREM CRSP and OIRED, Virginia Tech. no 3((8). Quito, EC. 12 p.
- Chow, V.; Maidment D.; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá. CO. 299 p.
- CicloHidrologico .com. s.f. Precipitación. (En línea) Consultado el 24 de Febrero de 2010. Disponible en www.ciclohidrologico.com

- Cingolani, A.; Noy-Meir, I.; Renison, D. y Cabido, M. 2008. La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral* 18:253-271.
- Colegio de Posgraduados. 1977. Manual de conservación de suelo y del agua. Chapingo, MX. 614 Pág.
- Cordero, J. (ed.); Boshier, D. (ed.); Barrance, A.; Beer, J.; Boshier, D.; Chamberlain, J.; Cordero, J.; Detlefsen, G.; Finegan, B.; Galloway, G.; Gómez, M.; Gordon, J.; Hands, M.; Hellin, J.; Hughes, C.; Ibrahim, M.; Kass, D.; Leakey, R.; Mesén, F.; Montero, M.; Rivas, C.; Somarriba, E.; Stewart, J.; Pennington, T. 2003. Arboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. CATIE, Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central. Turrialba, CR. 1079 pp.
- Da Silva, D.; Vaquero, R.; Tejada, J. 2006. Propuesta metodológica para medir la escorrentía en sistemas agropecuarios del cantón de Guácimo, zona del Caribe de Costa Rica. Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. 10 p.
- De la Orden, E.; Quiroga, A.; Rivera, D.; Morláns, M. 2006. Efectos sobre el pastoreo de un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca, Argentina. Asociación española de Ecología Terrestre. Alicante, ES. *Ecosistemas* 15(003). pp. 141-146
- De la Orden, E.; Quiroga, A.; Rivera, D.; Morláns, M. 2006. Efecto del sobrepastoreo de un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca, Argentina. Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, ES. *Ecosistemas* 15(003):141-146
- Denoia, J. 2001. Evaluación del efecto de residuos de cosecha sobre la pérdida de suelos y la tasa de infiltración en un área de llanura. Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Litoral. *Revista FAVE* 15 (2): 45 – 56. Santa Fe. AR.
- Derpsch, R. 2006. Entender el proceso de la erosión y de la ionfiltración del agua en el suelo. Siembra Directa, Agricultura Sostenible en el Nuevo Milenio. (En línea). Consultado el 22 de Octubre de 2010. Disponible en: <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>.

- Díaz, S., A. Acosta & M. Cabido. 1994. Community structure in montane grasslands of central Argentina in relation to land use. *J. Veg. Sci.* 5:483–488
- Drewry, J.; Littlejohn, R.; Paton, R.; Singleton, P.; Monaghan, R. and Smith, L. 2004. Dairy pasture responses to soil physical properties. *Australian Journal of soil research.* no.44:99-105.
- FAO. 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment, Roma, IT
- FAO. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO* no. 18. Roma. IT. 149 p.
- FAO. 2005. Impacto de la ganadería en la disponibilidad y la calidad del agua. Conferencia sobre Agua para Alimentos y Ecosistemas: ¡Para que sea una Realidad! Iniciativa Ganadería, Medio Ambiente y Desarrollo, LEAD. Servicio de Información Ganadera y de Análisis y Política del Sector. (En Línea) Consultado el 02 de Octubre de 2009. Disponible en http://www.fao.org/ag/wfe2005/docs/LEADwater_esp.pdf
- FAO. 2008. Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en América Latina y el Caribe: Lecciones a partir de casos exitosos. Santiago, CH 91 p.
- Fike, J. H; Staples, C. R; Sollenberger, L. E; Macoon, B; Moore, J. E. 2003. Pasture forages, supplementation rate, and stocking rate effects on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science.* 2003 86(4):1268-1281.
- Francisco, N.; Turrent, A.; Oropeza, J.; Martínez, M.; Cortés, J. 2006. Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 24(2):253-260 Universidad Autónoma Chapingo, MX.
- Franco, M. 1997. Evaluación de la calidad nutricional de *Cratylia argentea* como suplemento en el sistema de producción de doble propósito en el trópico subhúmedo de Costa Rica. Tesis Mag. M.Sc. CATIE, Turrialba - Costa Rica. 75p.
- Gaspari, F.; Delgado, M. y Denegri, G. 2008. Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida del suelo por erosión hídrica superficial. *Revista Terra Latinoamericana*, 27(2):253-260 Universidad Autónoma Chapingo, MX.

- Gil de Luna, R.; Melo, H.; Machado B. 2008. Evaluation of pasture soil productivity in the semi-arid zone of Brazil by microbial analyses. *Brazilian Journal of Microbiology*. 39(3). Sao Paulo. Brazil. (En línea) Consultado el 24 de Marzo de 2009. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822008000300001&lang=pt
- Gobbi, J. y F. Casasola. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Revista Agroforestería de las Américas* 39-40(10):52-60.
- Gómez, J.; Jimenez-Hornero, F.; Giráldez, J.; Castiel, E. y Laguna, A. 2005. Avances en la medida e interpretación de escorrentía y erosión en olivar Instituto de Agricultura Sostenible CSIC y Departamento de Agronomía, Univarsidad de Cordoba, ES. *Vida Rural* 251:24-28.
- Honorato, R., L. Barrales, I. Peña, F. Barrera. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. 28(1): 7-14.
- Huber, A y IROUMÉ, A. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248: 78-92.
- Huber, A. y TRECAMAN, R. 2000. El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. *Bosque* 21 (1): 37-44.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P.; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. no 45. 10 p.
- Ibrahim, M; Franco, M; Pezo, D. A; Camero, A; Araya, J. L. 2001. Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing *Hyparrhenia rufa* in the subhumid tropics. *Agroforestry Systems* 51(2):167-175.

- ICE. 2002. Unidad de manejo de la cuenca del Río Reventazón. Descripción General. (En línea) Consultado el 15 de Noviembre de 2010. Disponible en http://www.grupoice.com/esp/ele/manejo_cuencas/docs/umcre/actividades.pdf
- ICE . 2009. La importancia del manejo de la cuenca el Río reventazón. Unidad de Manejo de Cuencas. Biblioteca ICE. CR. (En línea). Consultado el 30 de Enero de 2010. Disponible en http://www.grupoice.com/esp/ele/manejo_cuencas/biblio/folletos/importan.html
- IFAM, 1992. Cantones de Costa Rica. 6 Ed. IFAM. San José, CR.
- IFPRI, 2008. Medio ambiente y tecnologías de producción. Washington, DC, USA. 2 pág.
- Jansen, H; Nieuwenhuys, A; Ibrahim, M; Abarca, S. 1997. Evaluación económica de la incorporación de leguminosas en pasturas mejoradas, comparada con sistemas tradicionales de alimentación en la Zona Atlántica de Costa Rica. 4(15):9–13.
- Jiménez, A. 2007. Diseño de sistemas de producción ganaderos sostenibles con base a los sistemas silvopastoriles (SSP) para mejorar la producción animal y lograr la sostenibilidad ambiental. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103 p.
- Jiménez, F. 2003. Metodologías de Investigación en sistemas Agroforestales: Medición de los componentes del balance hídrico en sistemas agroforestales. CATIE, Turrialba, CR. 13 p.
- Kunts, C.; Ledesma, R.; Basan, M.; Angella, G.; Prieto, D.; Godoy, J. 2003. Rolado de "fachinales" e infiltración de agua en el suelo del Chaco Occidental (Argentina). INTA, AR. 21 p. (revisar bibliografía)
- Kurczyn-Robledo, J.; Hinojosa-Corona, A. y Kretzchmar, T. 2007. Evaluación del potencial de escorrentía/infiltración en la serranía Matcuatai, Valle de Guadalupe, B.C. México usando el método de curvas numeradas y datos de satélite. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 4(001):1-14.
- Labrada, R.; Caseley, J.; Parker, C. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO producción y protección vegetal. Boletín FAO no. 120. Roma. IT. 403 p.

- López, F.; López, M.; Gómez, R.; Harvey, C.; Villanueva, C.; Gobbi, J.; Ibrahim, M.; Sinclair, F. 2007. Cobertura arbórea y rentabilidad de fincas ganaderas en Rivas y Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. no 45. 8 p.
- López, M. 2001. Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *Colegio de Sonora. Revista Región y sociedad* 8(22). 26 p.
- Maderey, L. 2005. Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. Serie de Textos Universitarios, Núm. 1, 1ra Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. DF, MX. 102 p.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2). 6 p.
- Márquez, F.; Ordóñez, R.; Repullo, M.; Carbonell, R. y Rodríguez, A. 2008. Comparación de sistemas de manejo de suelo en olivar en ensayos de simulación de lluvia. *Agricultura de Conservación. Revista de la Asociación Española de Agricultura de Conservación /Suelos Vivos*. Córdoba, ES. no. 8. pp. 20 - 24.
- Martinez, F. 2009. La erosión y la Ganadería. *Boletín Informativo. Programa de Ingeniería Agrícola. Convenio Universidad del Valle-Universidad Nacional de Colombia*. (en línea). Consultado el 26 de Marzo de 2010. Disponible en <http://eidenar.univalle.edu.co/publicaciones/BoletinIANo9-Enero-2009.pdf>
- Martínez, H.; Pizarro, R.; González, P. 1999. Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la Precordillera Andina y Valle Central de la VII Región. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Forestal. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE. 16 p.
- Martinez, I.; Cruz, M.; Lumaret, J. 2000. Efecto del diferente manejo de los pastizales y del ganado sobre los escarabajos coprófagos *Ataenius apicallis* Hinton y *Ataeneus sculptor* Harol (Scarabaeidae: Aphodiinae: Eupariini). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. no. 080. Instituto de Ecología A.C. Xalapa. MX pp185-196.

- Mendoza, M. 2002. implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en el balance hídrico a nivel regional. El caso de la cuenca del Lago de Cuitzeo. Tesis Doctoral Geología Ambiental Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM). MX. 188 p.
- Menéndez, H. 2002. Ganadería y Medio Ambiente: Beneficios Económicos y Ambientales: Las tareas Ambientales en Centroamérica. San José, C.R, FAO. pág. 91
- Milchunas, D.; Sala, E.; Lauenroth, W. 1988. A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132:87-106
- Molina T., Jose Manuel; Luis A. Gurovich R. y Eduardo Varas C. (2003): Modelación y Análisis Probabilístico del Balance Hídrico Superficial de un Sistema de Riego en Chile Central. *Ingeniería del Agua* **10** (2): 135 –147.
- Monge, R. 2009. Erosión en la Cuenca del Reventazón en: Desembalse en Cachí y Angostura, Manejo hidroeléctrico con compromiso ambiental y social. Prensa ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), CR. (En Línea) Consultado el 30 de Enero 2010. Disponible en http://www.grupoice.com/esp/temas/noticias/prensa_ice/saladeprensa/com_pren/not_14-09-09.html
- Moraes, J.; Lopez, A.; Abarca, S.; Fuentes, H. 2010. Ajuste de los sistemas de producción de leche de Turrialba al cambio climático. para una ganadería sostenible y competitiva. Turrialba, CR (En línea) Consultado el 3 de Diciembre 2010. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00234.PDF>
- Morgan, R. 1997. Erosión y Conservacion del suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España. 343 pág.
- Muños, R.; Ritter, A. 2005. Hidrología agroforestal. Ediciones Mundiprensa. 324 p. Madrid, ES
- Murgüeito, E.; Ibrahim, M.; Ramírez, E.; Zapato, A.; Mejía, C.; Casasola, F. 2003. Uso de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas”. Cali, CO. 97 p.

- Naranjo, L. 2003. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. En “Agroforestería para la producción animal en América Latina – II – Memorias de la segunda Conferencia Electrónica (Agosto de 2000 – Marzo de 2001) pp. 13-25. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 155 MD Sánchez, y M Rosales Mendez (Eds.) Dirección de Producción y Sanidad Animal FAO. Roma, IT <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4435S/y4435s03.htm>
- Navas, A. 2007. Sistemas Silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas, Revista ACOVEZ N° 16. Bogotá, CO.
- Navia, L. 2002. La cuenca y los procesos hidrológicos. Apuntes de clases de Hidrología superficial y subterránea. Universidad de Granada, ES. 62 p.
- NRCS, 1986. Urban hydrology for small watersheds. 2d ed. SCS Technical Release 55. Soil Conservation Service (Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA
- Newman, E. 2000. Applied ecology y enviromental management Blackwell Science, London, UK
- O’Ryan R, Díaz M. y Ulloa A. 2005. Algunas aplicaciones de economía ambiental en chile. Estudios Públicos. www.cepchile.cl
- Oñate-Valdivieso, F. 2004. Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de proyectos hidráulicos. Revista Electrónica de la REDLACH. Vol. 1. Año 1. 6 p.
- Osorio, N. s.f. Muestro de suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Pando, M.; Gutiérrez, M.; Maldonado, A.; Palacio J.; Estrada E. 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México D.F, MX. no. 051. pp. 23-36
- Paris, M.; Zucarelli, G.; Pagura, M. 2009. Las miradas del agua . 1ra ED. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. AR. 46 p.

- Pizarro, R.; Benítez A.; Farías, C.; Jordán, C.; Santibáñez F.; Sangüesa C.; Flores J.; Martínez, E.; Román, L. 2005. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile. *Bosque* 26(1):77-91
- Pla, I. 2003. Física de suelos e hidrología en América Latina. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. VII Escuela Latinoamericana de Física de suelos. La Serena, CH. 5 p.
- Pomareda, C. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: Políticas públicas para la adaptación a la variabilidad del clima y al cambio climático 1ra ed. Turrialba, C.R: CATIE 292 pág. (Serie técnica. Informe Técnico / CATIE; No.377)
- Pucheta, E., M. Cabido, S. Díaz, & G. Funes. 1998. Floristic composition, biomass, and aboveground net plant production in grazed and protected sites in a mountain grassland of central Argentina. *Acta Oecol.* 19:97–105.
- Putuhena, W.; y CORDERY, I. 2000. Some hydrological of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. *Agricultural and Forest Meteorology* 100: 59-72.
- RAAA. 2002. Estudio integral del proceso de degradación del suelo, uso actual y potencial, y plan de manejo y conservación para la producción sostenible en la zona de Palmapampa, Valle del Río Apurímac. Lima, PE. 78 p.
- RAM. 2002. Meteorología de montaña no.2. Instituto Nacional de Meteorología. Catalunya, ES. 9 p.
- Rebollo, S. y Gómez, A. 2003. Aprovechamiento sostenible de los pastizales. *Ecosistemas* 7(003). Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, ES. 11 p.
- Reyna, S; Reyna, T. (1999). Interacción de los Procesos de Escorrentía e Infiltración. *Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica no. 13.* Instituto Superior de Correlación Geológica – CONICET. Editor Alfredo Tineo. pp. 335-344. Argentina.
- Richmond, P. y Rillo, S. 2005. Evaluación de la infiltración básica en los suelos Hapludoles sometidos a diferentes historias de manejo. UEEA INTA. Buenos Aires, AR. 8 p.

- Ríos, J. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, cuenca del Río Barranca, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, CR. 116 pág.
- Ríos, N.; Andrade, H.; Ibrahim, M. 2008a. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical*, 26(3):183-186.
- Ríos, N; Heidenger, H; Zorogastua, P; Ibrahim, M; Velásquez, S; Quiróz, R. 2008b. Estimación del balance hídrico y producción de sedimentos bajo tres escenarios de cobertura en la subcuenca ganadera del Río Jabonal, Costa Rica, mediante el empleo de SWAT. Presentado en el Programa Cooperativo entroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) 2008. San José, Costa Rica. 12 p.
- Rodríguez, A.; Pérez, A.; Giráldez, J.; Ordóñez, R.; González, P. 2005. Cubierta vegetal de olivar: efecto en la escorrentía e infiltración. *Agricultura de Conservación. Revista de la Asociación Española de Agricultura de Conservación /Suelos Vivos*. Córdoba, ES. no. 1. pp. 22 - 26.
- Ruiz, F.; Venialgo, C.; Gutierrez, N.; Ingaramo, O.; Briend, M. 2004. Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). *Comunicaciones Científicas Tecnológicas. Catedra de Conservación y Manejo de Suelos*. UNNE Corrientes, AR. 4 p.
- San Diego Department of Agriculture, Weights and Measures. (s.f). Entrenamiento sobre el Agua de Lluvia “Sólo lluvia en el drenaje pluvial”. County of San Diego - Department of Agriculture, Weights and Measures Agricultural Water Quality Program. (En línea). Consultado el 25 de Febrero de 2010. Disponible en http://www.sdcounty.ca.gov/reusable_components/images/awm/Docs/awq_1408S_01-09.pdf
- Sánchez, F. 2004. Hidrología. Hidrogeología. Universidad de Salamanca. Salamanca, ES. (En línea) Consultado el 26 de Febrero de 2010. Disponible en <http://web.usal.es/javisan/hidro>.

- Sánchez, L.J. 2007. Caracterización de la mano de obra en fincas ganaderas y rentabilidad de bancos forrajeros en Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Santiago, J. 2006. Escorrentía y erosión del suelo. Facultad de Geomorfología de la Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, VE.
- Scherrer, S.; Naef, F. 2003. A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. *Hydrol. Processes*, 17, 391–401
- Sowell, B. F; Bowman, J. G; Grings, E. E; MacNeil, M. D. 2003. Liquid supplement and forage intake by range beef cows. *Journal of Animal Science* 81(1):294-303.
- Steinfeld, H. 2002. Ganadería y Medio Ambiente: Beneficios Económicos y Ambientales: Producción animal y el Medio Ambiente en Centroamérica. San José, C.R, FAO.pag. 91
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; De Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones. FAO. Roma, IT. pág. 464
- Suárez, J. C. 2009. Análisis de rentabilidad en los sistemas tradicionales de producción y la incorporación de los sistemas silvopastoriles en fincas de doble propósito, Matagalpa – Nicaragua. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica 102 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE. 71 p. (Serie Técnica. Informe técnico no. 313).
- Tapiador, F. y Casanova, J. 2000. Metodología de Cálculo de la escorrentía potencial mediante Teledetección. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, ES. pp. 94 - 103.
- Thornthwaite C y Matter J, 1955. The Water Balance, en *Publications in Climatology VII*, Drexel Ins. Of Tech., New Jersey, USA, 104 pp.
- Tobar, D.; Ibrahim, M. 2008. Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisajes ganaderos en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 40pp.

- Travieso, C.; Moreno, P.; Campos, A. 2005. Efectos de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Asociación Interciencia* 30(001). Caracas, VZ pp. 12-18.
- Treviño, E.; Muñoz, C.; Cavazos, C.; Barajas, L. 2002. Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Ciencia UANL* 5(4): 525-530. Universidad Autónoma de Leon. Monterrey, MX.
- Triviño, A. y Ortiz, S. 2004. Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en Ramblas y Ríos-Rambla mediterráneos. *Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. Universidad de Alicante.* no. 35. pp. 67 - 83.
- Tuñón, J. 2000. Determinación experimental del balance hídrico del suelo y evaluación de la contaminación asociada a las prácticas agrícolas. Tesis Doctoral. Universidad Jaume I. Departamento de Ciencias Experimentales. Castellón de la Plana. ES. 377 p.
- Turcios, H. 2008. Evaluación del proceso de toma de decisiones para adopción de bancos de proteína de leucaena (*Leucaena leucocephala*) y su efecto como suplemento nutricional para vacas lactantes en sistemas doble propósito en el Chal, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Vélez, M.; Vélez, J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. (En línea) Consultado el 28 de Febrero de 2010. Disponible en <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Casasola, F. 2008. Valor económico y ecológico de las cercas vivas en fincas y paisajes ganaderos. 1ra Ed. Serie técnica. Informe técnico/CATIE; no.372. 36 p. CATIE Turrialba, CR.
- Villegas J. 2004. Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA* 1: 73-79.
- Villón, M. 2002. Hidrología. Serie en Ingeniería Agrícola. ITC, Costa Rica. 435 p.

Villón, M. 2004. HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. Tecnología en Marcha. 18 (2):67-75.

Volverás, B.; Amézquita, E.; Táfur H. 2009. Efecto del tiempo de uso en las condiciones físicas del suelo andino en el departamento de Nariño, Colombia. Acta Agronómica 58(1):35-39 Universidad Nacional de Colombia, CO.

WWAP. 2007. El agua, una responsabilidad compartida, 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. UNESCO. 587 p.

Zapata, A.; Manzano, F. 2008. Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. Agrociencia, 42(7): 835-845 Colegio de Postgraduados Texcoco, MX.

ANEXOS

Cuadro 23. Formato para toma de datos Escorrentía

Hoja de toma de datos Escorrentía
Nombre del colector de datos:

Zona _____	Sistema _____		
Hora _____	Fecha _____		
Lecturas			
# Estación	Estación (cm)	Pluviómetro (mm)	Observación
1			
2			
3			

Cuadro 24. Formato para toma de datos de Infiltración.

Diámetro del cilindro : _____ Sistema : _____
 Fecha : _____ Lugar : _____

Ensayo en: Seco () Húmedo ()

Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del Agua		
		Lectura	Lectura ajustada*	
			1	2
0				
1				
2				
3				
4				
5				
10				
20				
30				
45				
60				
90				
120				

* Altura ajustada al completar al nivel original de ajuste del agua 1) antes de ajustar; 2) después de ajustar

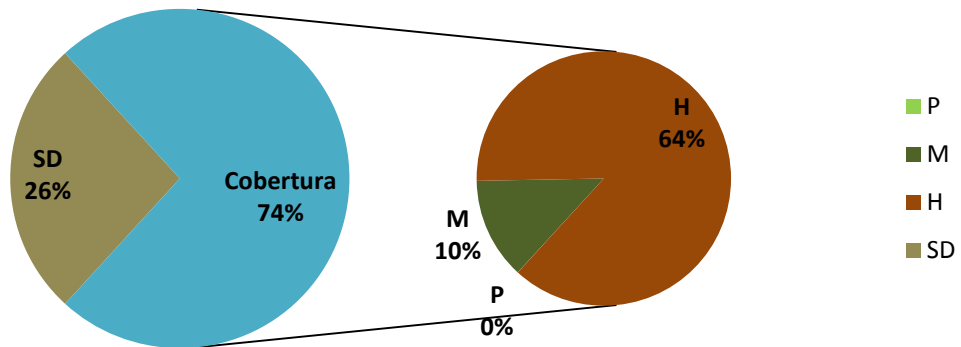


Figura 17. Estructura Horizontal de bosque ripario evaluado en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: P = Pasto; M = Maleza; H = Hojarasca; SD = Suelo Desnudo

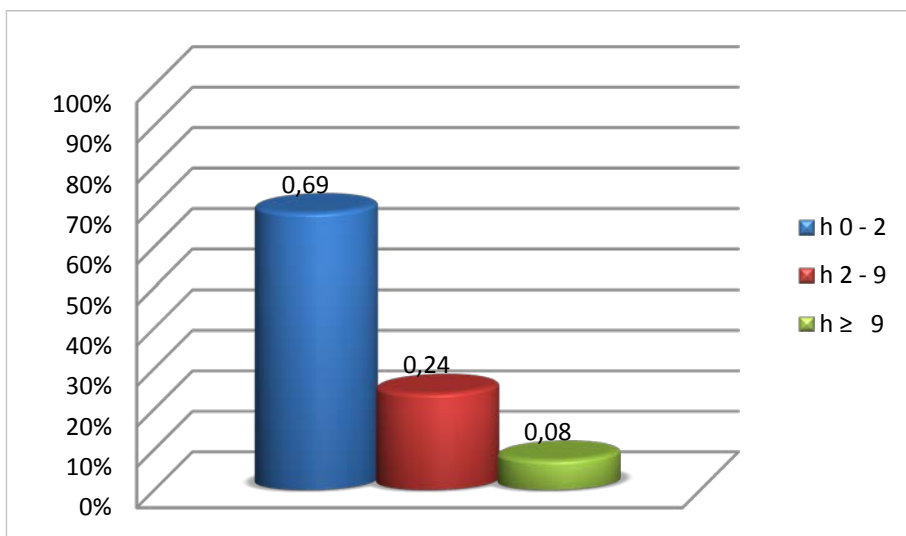


Figura 18. Estructura vertical de bosque ripario evaluado en evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: h = altura

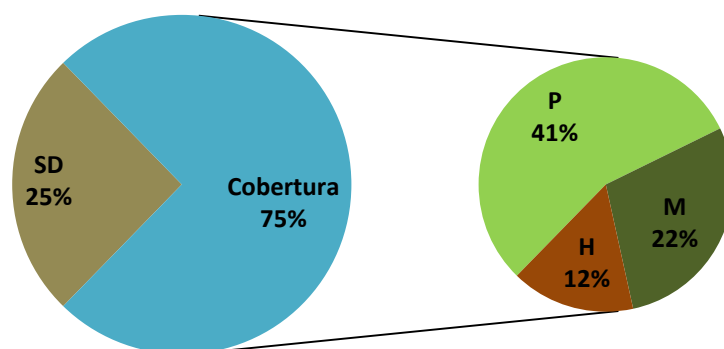


Figura 19. Estructura Horizontal de banco forrajero evaluado en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: P = Pasto; M = Maleza; H = Hojarasca; SD = Suelo Desnudo

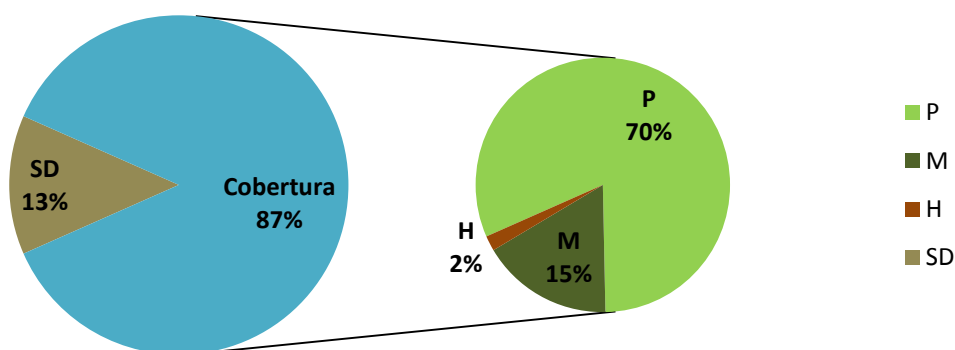


Figura 20. Estructura Horizontal de pastura mejorada evaluada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: P = Pasto; M = Maleza; H = Hojarasca; SD = Suelo Desnudo

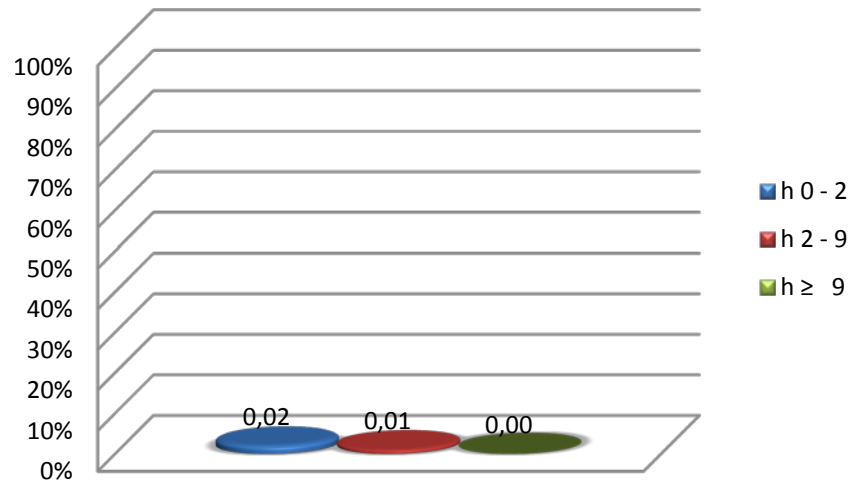


Figura 21. Estructura vertical de pastura mejorada evaluada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: h = altura

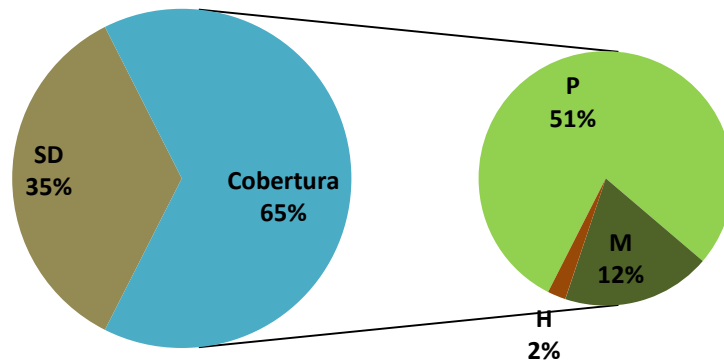


Figura 22. Estructura Horizontal de pastura degradada en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Donde: P = Pasto; M = Maleza; H = Hojarasca; SD = Suelo Desnudo

Cuadro 25. Datos de escorrentía superficial y peso de sedimento por cada evento de muestreo en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

Uso	Repetición	Evento	Precipitación (mm)	Escorrentía (%)	Pastoeo/corta /recuperación	Fecha	Peso sedimento (gr)
BR	BR1	1	115,00	1,6528	0	11/01/2010	0,9661
BR	BR1	2	70,00	3,5072	0	27/02/2010	0,9562
BR	BR1	3	142,00	3,6251	0	23/04/2010	0,9250
BR	BR1	4	54,00	0,7333	0	30/04/2010	0,3505
BR	BR1	5	95,00	0,6669	0	24/05/2010	0,9656
BR	BR1	6	42,00	0,3771	0	08/06/2010	0,3120
BR	BR1	7	90,00	1,1439	0	22/06/2010	0,1930
BR	BR1	8	45,00	1,2319	0	19/07/2010	0,9096
BR	BR1	9	45,00	1,0559	0	25/07/2010	0,0235
BR	BR1	10	55,00	0,2880	0	04/08/2010	0,9896
BR	BR1	11	65,00	0,4874	0	09/08/2010	0,2325
BR	BR1	12	75,00	1,0559	0	17/08/2010	0,2325
BR	BR2	1	21,00	6,7881	0	04/01/2010	1,1460
BR	BR2	2	26,00	1,2184	0	06/01/2010	0,7385
BR	BR2	3	48,00	16,0039	0	07/01/2010	1,2100
BR	BR2	4	33,00	3,1198	0	11/01/2010	0,3025
BR	BR2	5	16,00	1,9799	0	15/01/2010	0,0830
BR	BR2	6	134,00	4,0779	0	19/02/2010	0,2980
BR	BR2	7	120,00	11,2192	0	26/02/2010	0,4015
BR	BR2	8	70,00	3,2809	0	01/03/2010	0,4265
BR	BR2	9	56,00	2,6870	0	05/03/2010	0,346
BR	BR2	10	65,00	8,7723	0	22/03/2010	0,362
BR	BR2	11	108,00	11,9525	0	24/03/2010	0,4895
BR	BR2	12	100,00	2,2174	0	12/04/2010	0,2155

BR	BR2	13	21,00	1,1314	0	30/04/2010	0,355
BR	BR2	14	27,00	1,1733	0	03/05/2010	0,4105
BR	BR2	15	40,00	0,9899	0	10/05/2010	0,1935
BR	BR2	16	28,00	2,2627	0	12/05/2010	0,1045
BR	BR2	17	20,00	1,5839	0	17/05/2010	0,2915
BR	BR2	18	71,00	9,4810	0	07/06/2010	0,7610
BR	BR2	19	23,00	6,5422	0	09/06/2010	0,4695
BR	BR2	20	32,00	25,2432	0	14/06/2010	0,3830
BR	BR2	21	89,00	13,7033	0	15/06/2010	0,5525
BR	BR2	22	14,00	2,8284	0	16/06/2010	0,3735
BR	BR2	23	72,00	6,0496	0	17/06/2010	0,1850
BR	BR2	24	61,00	6,1019	0	21/06/2010	0,7600
BR	BR2	25	18,00	9,2394	0	22/06/2010	0,3615
BR	BR2	26	49,00	1,6162	0	28/06/2010	0,4220
BR	BR2	27	22,00	7,5595	0	29/06/2010	0,0000
BR	BR2	28	74,00	11,2371	0	05/07/2010	0,5675
BR	BR2	29	15,00	5,2796	0	08/07/2010	0,3465
BR	BR2	30	15,00	8,4474	0	13/07/2010	0,1670
BR	BR2	31	13,00	1,8276	0	14/07/2010	0,2565
BR	BR2	32	15,00	13,1991	0	15/07/2010	0,3650
BR	BR2	33	5,00	17,4228	0	16/07/2010	0,4005
BR	BR2	34	41,00	12,3621	0	21/07/2010	0,5505
BR	BR2	35	25,00	3,1678	0	30/07/2010	0,5095
BR	BR2	36	62,00	1,5328	0	09/08/2010	0,1005
BR	BR2	37	22,00	6,1196	0	12/08/2010	0,6360
BR	BR2	38	45,00	4,7517	0	16/08/2010	0,4160
BR	BR2	39	21,00	1,5085	0	18/08/2010	0,4160
BR	BR2	40	102,00	10,1711	0	23/08/2010	0,4845
BR	BR2	41	25,00	1,9007	0	27/08/2010	0,2905

BR	BR2	42	40,00	9,1074	0	30/08/2010	0,2335
BF	BF1	1	72,00	25,4082	1	08/01/2010	0,2120
BF	BF1	2	15,00	7,9195	0	15/01/2010	5,2135
BF	BF1	3	116,00	0,4779	1	19/02/2010	0,2085
BF	BF1	4	90,00	21,7345	1	26/02/2010	0,4505
BF	BF1	5	51,00	16,1495	0	22/03/2010	0,2435
BF	BF1	6	80,00	26,1342	1	24/03/2010	0,235
BF	BF1	7	40,00	43,7550	1	30/04/2010	0,235
BF	BF1	8	24,00	2,6398	0	12/05/2010	0,3675
BF	BF1	9	52,00	33,9623	0	24/05/2010	0,0235
BF	BF1	10	64,00	32,6677	0	07/06/2010	0,2980
BF	BF1	11	44,00	38,6973	0	14/06/2010	0,1305
BF	BF1	12	110,00	19,0067	0	15/06/2010	0,1420
BF	BF1	13	15,00	39,5973	0	16/06/2010	0,3650
BF	BF1	14	52,00	40,2064	1	17/06/2010	0,3695
BF	BF1	15	60,00	34,8456	0	21/06/2010	0,2700
BF	BF1	16	34,00	51,4764	1	22/06/2010	0,2420
BF	BF1	17	84,00	24,8897	0	28/06/2010	0,1990
BF	BF1	18	27,00	44,5836	1	29/06/2010	0,1095
BF	BF1	19	40,00	40,3892	1	05/07/2010	0,0375
BF	BF1	20	33,00	63,3556	1	08/07/2010	0,2885
BF	BF1	21	12,00	46,8567	1	16/07/2010	0,1435
BF	BF1	22	16,00	27,7181	0	21/07/2010	0,1655
BF	BF1	23	44,00	47,5167	1	06/08/2010	0,2330
BF	BF1	24	46,00	32,0221	1	09/08/2010	0,1830
BF	BF1	25	17,00	33,0754	1	12/08/2010	0,2420
BF	BF1	26	55,00	38,0134	1	16/08/2010	0,1785
BF	BF1	27	11,00	40,3172	1	17/08/2010	0,1305
BF	BF1	28	25,00	17,1060	0	18/08/2010	0,2235

BF	BF1	29	150,00	13,9382	1	23/08/2010	0,2580
BF	BF1	30	21,00	20,3643	1	27/08/2010	0,3160
BF	BF1	31	32,00	30,4404	1	30/08/2010	0,2020
BF	BF2	1	94,00	1,0110	0	19/02/2010	0,3075
BF	BF2	2	44,00	0,5400	0	26/02/2010	0,0605
BF	BF2	3	13,00	5,4827	1	19/03/2010	0,3035
BF	BF2	4	65,00	0,4874	0	22/03/2010	0,071
BF	BF2	5	90,00	4,3117	1	24/03/2010	0,125
BF	BF2	6	80,00	0,9899	0	12/04/2010	0,207
BF	BF2	7	38,00	0,4168	0	10/05/2010	0,17
BF	BF2	8	70,00	2,3758	0	07/06/2010	0,2145
BF	BF2	9	45,00	0,5280	0	14/06/2010	0,3760
BF	BF2	10	130,00	14,9860	1	15/06/2010	0,3790
BF	BF2	11	66,00	23,3984	1	17/06/2010	0,1655
BF	BF2	12	65,00	0,9747	0	21/06/2010	0,0095
BF	BF2	13	43,00	3,4993	1	22/06/2010	0,2985
BF	BF2	14	53,00	0,7471	1	28/06/2010	0,2435
BF	BF2	15	35,00	12,6711	1	29/06/2010	0,0030
BF	BF2	16	43,00	0,3683	0	05/07/2010	0,1895
BF	BF2	17	38,00	7,7110	1	06/08/2010	0,1645
BF	BF2	18	52,00	4,4166	0	16/08/2010	0,1100
BF	BF2	19	116,00	17,2726	1	23/08/2010	0,1415
BF	BF2	20	23,00	0,6886	0	27/08/2010	0,0950
BF	BF2	21	32,00	0,9899	0	30/08/2010	0,2030
PM	PM1	1	17,90	18,7147	0	30/11/2009	1,8260
PM	PM1	2	31,50	30,8230	0	03/12/2009	0,1670
PM	PM1	3	38,00	39,5973	0	07/12/2009	3,9890
PM	PM1	4	10,90	19,6170	0	09/12/2009	0,2550
PM	PM1	5	27,50	29,9499	0	12/12/2009	0,2100

PM	PM1	6	88,00	24,2983	0	14/12/2009	0,0510
PM	PM1	7	28,00	61,2343	1	16/12/2009	0,1935
PM	PM1	8	9,00	28,8620	1	22/12/2009	0,5400
PM	PM1	9	24,00	35,3075	1	30/12/2009	0,2325
PM	PM1	10	19,00	11,2540	1	05/01/2010	0,3585
PM	PM1	11	72,00	24,0883	1	08/01/2010	0,0680
PM	PM1	12	23,00	23,0697	1	11/01/2010	5,0280
PM	PM1	13	15,00	33,7897	1	15/01/2010	0,4155
PM	PM1	14	116,00	0,6827	1	19/02/2010	0,1520
PM	PM1	15	90,00	21,6465	1	26/02/2010	0,297
PM	PM1	16	40,00	0,7919	1	01/03/2010	0,4235
PM	PM1	17	13,00	3,0459	1	19/03/2010	0,3825
PM	PM1	18	51,00	25,9323	1	22/03/2010	0,2965
PM	PM1	19	80,00	16,9278	1	24/03/2010	0,352
PM	PM1	20	40,00	38,0134	1	30/04/2010	0,104
PM	PM1	21	32,00	3,9597	1	10/05/2010	0,1875
PM	PM1	22	24,00	15,8389	1	12/05/2010	0,3610
PM	PM1	23	52,00	28,1750	0	24/05/2010	0,1480
PM	PM1	24	64,00	26,1094	1	07/06/2010	0,2260
PM	PM1	25	16,00	10,8892	1	09/06/2010	0,0160
PM	PM1	26	44,00	34,3776	1	14/06/2010	0,2215
PM	PM1	27	110,00	18,2867	1	15/06/2010	0,2405
PM	PM1	28	15,00	47,5167	1	16/06/2010	0,1985
PM	PM1	29	52,00	39,5973	1	17/06/2010	0,3160
PM	PM1	30	60,00	31,0178	0	21/06/2010	0,3070
PM	PM1	31	34,00	54,5045	0	22/06/2010	0,4750
PM	PM1	32	84,00	8,6737	0	28/06/2010	0,7270
PM	PM1	33	27,00	70,1018	1	29/06/2010	0,3945
PM	PM1	34	40,00	42,3691	1	05/07/2010	0,0930

PM	PM1	35	33,00	63,3556	1	08/07/2010	0,0905
PM	PM1	36	12,00	59,3959	1	16/07/2010	0,1770
PM	PM1	37	14,00	13,5762	1	19/07/2010	0,1640
PM	PM1	38	16,00	44,5469	1	21/07/2010	0,3260
PM	PM1	39	44,00	45,1769	1	06/08/2010	0,2410
PM	PM1	40	46,00	42,8683	1	09/08/2010	0,2710
PM	PM1	41	17,00	83,3872	1	12/08/2010	0,0315
PM	PM1	42	55,00	38,0134	1	16/08/2010	0,2895
PM	PM1	43	11,00	58,3160	1	17/08/2010	0,1690
PM	PM1	44	25,00	83,6294	1	18/08/2010	0,1235
PM	PM1	45	9,00	65,9954	1	19/08/2010	0,0760
PM	PM1	46	150,00	13,9382	0	23/08/2010	0,4080
PM	PM1	47	21,00	59,9616	1	27/08/2010	0,1480
PM	PM1	48	32,00	65,3355	1	30/08/2010	0,0495
PM	PM2	1	18,00	5,9396	0	30/11/2009	0,4435
PM	PM2	2	31,50	4,7768	0	03/12/2009	0,1320
PM	PM2	3	30,00	22,7024	0	07/12/2009	0,2140
PM	PM2	4	9,00	1,5839	0	09/12/2009	0,3340
PM	PM2	5	98,00	19,5562	0	14/12/2009	0,2065
PM	PM2	6	17,00	4,1927	0	15/12/2009	0,1455
PM	PM2	7	26,00	13,0366	0	16/12/2009	0,1805
PM	PM2	8	22,50	0,7040	0	30/12/2009	0,1645
PM	PM2	9	76,00	21,1533	0	08/01/2010	0,0600
PM	PM2	10	12,00	7,9195	0	13/01/2010	0,188
PM	PM2	11	17,00	1,3976	0	15/01/2010	0,2305
PM	PM2	12	126,00	0,3143	0	19/02/2010	0,1385
PM	PM2	13	95,00	16,9226	1	26/02/2010	0,138
PM	PM2	14	59,00	7,6510	0	22/03/2010	0,236
PM	PM2	15	92,00	17,5605	0	24/03/2010	0,1705

PM	PM2	16	35,00	2,9415	0	30/04/2010	0,13
PM	PM2	17	72,00	5,6096	1	24/05/2010	0,0000
PM	PM2	18	69,00	25,2504	0	07/06/2010	0,4195
PM	PM2	19	45,00	31,1498	0	14/06/2010	0,1425
PM	PM2	20	124,00	12,7733	1	15/06/2010	0,3255
PM	PM2	21	64,00	27,3469	0	17/06/2010	0,2230
PM	PM2	22	65,00	5,6045	0	21/06/2010	0,9730
PM	PM2	23	38,00	42,3065	1	22/06/2010	0,2145
PM	PM2	24	51,00	11,1804	1	28/06/2010	0,0190
PM	PM2	25	34,00	52,6411	1	29/06/2010	0,9075
PM	PM2	26	42,00	1,3199	0	05/07/2010	0,2935
PM	PM2	27	14,00	2,2627	0	16/07/2010	0,0935
PM	PM2	28	23,00	25,8243	0	21/07/2010	0,2495
PM	PM2	29	37,00	47,9448	1	06/08/2010	0,2585
PM	PM2	30	52,00	8,5286	0	09/08/2010	0,9670
PM	PM2	31	20,00	17,8188	0	12/08/2010	0,1580
PM	PM2	32	51,00	33,5412	1	16/08/2010	0,3015
PM	PM2	33	12,00	6,5995	1	17/08/2010	0,4535
PM	PM2	34	21,00	7,5423	0	18/08/2010	0,2225
PM	PM2	35	114,00	18,3398	0	23/08/2010	0,4115
PM	PM2	36	22,00	3,2398	0	27/08/2010	0,0170
PM	PM2	37	32,00	29,6979	0	30/08/2010	0,1030
PM	PM3	1	21,00	27,9066	0	30/11/2009	0,1075
PM	PM3	2	41,00	50,9935	1	03/12/2009	0,1375
PM	PM3	3	37,00	55,0081	1	07/12/2009	1,2690
PM	PM3	4	12,00	36,2975	0	09/12/2009	0,1870
PM	PM3	5	130,00	16,0826	0	14/12/2009	0,4320
PM	PM3	6	43,00	41,8073	0	16/12/2009	0,1375
PM	PM3	7	13,00	68,8383	1	18/12/2009	0,1540

PM	PM3	8	19,00	20,4238	0	30/12/2009	0,7660
PM	PM3	9	21,00	27,9066	0	04/01/2010	0,2735
PM	PM3	10	26,00	24,6721	0	06/01/2010	0,3270
PM	PM3	11	48,00	43,5570	0	07/01/2010	0,3085
PM	PM3	12	33,00	25,6782	0	11/01/2010	0,3880
PM	PM3	13	20,00	15,0470	0	13/01/2010	0,4005
PM	PM3	14	16,00	52,4664	1	15/01/2010	0,3855
PM	PM3	15	13,00	1,2184	0	27/01/2010	0,6850
PM	PM3	16	134,00	2,5413	0	19/02/2010	0,3715
PM	PM3	17	120,00	14,1230	0	26/02/2010	0,051
PM	PM3	18	70,00	1,9233	0	01/03/2010	0,1995
PM	PM3	19	56,00	24,1826	0	05/03/2010	0,447
PM	PM3	20	65,00	32,1652	0	22/03/2010	0,4505
PM	PM3	21	108,00	19,3587	0	24/03/2010	0,1345
PM	PM3	22	100,00	16,7100	0	12/04/2010	0,168
PM	PM3	23	27,00	5,8663	0	03/05/2010	0,4715
PM	PM3	24	40,00	7,9195	0	10/05/2010	0,3715
PM	PM3	25	28,00	50,6279	1	12/05/2010	0,0315
PM	PM3	26	19,00	19,1734	0	14/05/2010	0,2385
PM	PM3	27	20,00	60,1878	1	17/05/2010	0,0475
PM	PM3	28	63,00	33,1863	0	23/05/2010	0,1075
PM	PM3	29	71,00	29,4470	0	07/06/2010	0,3280
PM	PM3	30	23,00	65,0772	1	09/06/2010	0,4550
PM	PM3	31	32,00	53,4563	0	14/06/2010	0,2610
PM	PM3	32	89,00	23,4914	0	15/06/2010	0,2670
PM	PM3	33	14,00	54,3048	0	16/06/2010	0,3240
PM	PM3	34	72,00	27,8281	0	17/06/2010	0,2665
PM	PM3	35	61,00	34,2743	0	21/06/2010	0,3220
PM	PM3	36	18,00	69,0752	1	22/06/2010	0,3375

PM	PM3	37	49,00	24,0816	1	28/06/2010	0,1045
PM	PM3	38	22,00	63,7156	0	29/06/2010	0,1195
PM	PM3	39	74,00	28,2532	0	05/07/2010	0,1865
PM	PM3	40	14,00	54,3048	0	07/07/2010	0,1005
PM	PM3	41	15,00	69,1632	1	08/07/2010	0,0760
PM	PM3	42	6,00	34,3176	0	09/07/2010	0,0510
PM	PM3	43	15,00	69,1632	1	13/07/2010	0,2145
PM	PM3	44	13,00	87,7231	1	14/07/2010	0,0750
PM	PM3	45	15,00	69,1632	1	15/07/2010	0,1795
PM	PM3	46	5,00	41,1811	0	16/07/2010	0,1650
PM	PM3	47	14,00	81,4572	0	19/07/2010	0,2500
PM	PM3	48	41,00	50,9935	1	21/07/2010	0,3450
PM	PM3	49	25,00	70,9583	1	30/07/2010	0,2845
PM	PM3	50	62,00	33,7215	0	09/08/2010	0,3210
PM	PM3	51	22,00	75,2348	1	12/08/2010	0,1950
PM	PM3	52	45,00	46,4608	0	16/08/2010	0,2570
PM	PM3	53	10,00	36,4295	1	17/08/2010	0,1390
PM	PM3	54	21,00	78,8174	1	18/08/2010	0,1260
PM	PM3	55	9,00	51,9164	1	19/08/2010	0,2120
PM	PM3	56	102,00	20,4974	0	23/08/2010	0,0770
PM	PM3	57	25,00	63,0388	1	27/08/2010	0,3910
PM	PM3	58	40,00	52,2684	1	30/08/2010	0,1810
PD	PD1	1	22,00	11,5192	1	12/05/2010	0,1365
PD	PD1	2	23,00	34,0881	0	14/05/2010	0,1500
PD	PD1	3	9,00	57,1960	1	17/05/2010	0,2395
PD	PD1	4	69,00	27,8902	0	24/05/2010	3,9795
PD	PD1	5	61,00	32,5866	0	07/06/2010	0,5995
PD	PD1	6	26,00	21,0170	0	09/06/2010	0,3100
PD	PD1	7	26,00	23,4538	1	14/06/2010	0,1895

PD	PD1	8	66,00	31,6778	1	15/06/2010	0,4140
PD	PD1	9	11,00	51,8364	1	16/06/2010	0,3765
PD	PD1	10	66,00	31,0778	1	17/06/2010	0,2525
PD	PD1	11	62,00	32,1887	0	21/06/2010	0,3340
PD	PD1	12	12,00	37,6174	0	22/06/2010	0,2075
PD	PD1	13	43,00	41,9915	1	28/06/2010	0,3760
PD	PD1	14	22,00	69,1152	1	29/06/2010	0,2070
PD	PD1	15	63,00	33,1863	1	05/07/2010	0,3175
PD	PD1	16	14,00	40,7286	1	07/07/2010	0,3225
PD	PD1	17	13,00	24,3675	0	08/07/2010	0,1005
PD	PD1	18	12,00	38,9373	1	13/07/2010	0,2850
PD	PD1	19	12,00	31,6778	1	14/07/2010	0,1520
PD	PD1	20	14,00	40,7286	1	15/07/2010	0,1250
PD	PD1	21	4,00	39,5973	0	16/07/2010	6,2590
PD	PD1	22	20,00	75,6307	1	19/07/2010	0,2375
PD	PD1	23	35,00	58,3777	1	21/07/2010	0,2780
PD	PD1	24	22,00	27,7181	0	30/07/2010	0,1320
PD	PD1	25	65,00	32,1652	0	09/08/2010	0,1765
PD	PD1	26	26,00	54,5224	1	12/08/2010	0,1270
PD	PD1	27	37,00	56,5063	1	16/08/2010	4,7735
PD	PD1	28	22,00	76,6747	1	18/08/2010	0,0700
PD	PD1	29	12,00	45,5368	1	19/08/2010	0,1030
PD	PD1	30	109,00	19,1811	0	23/08/2010	0,4005
PD	PD1	31	19,00	32,9282	0	27/08/2010	0,1820
PD	PD1	32	36,00	54,5562	1	30/08/2010	0,1005
PD	PD2	1	22,00	28,4380	0	12/05/2010	0,0870
PD	PD2	2	23,00	30,3005	0	14/05/2010	0,1315
PD	PD2	3	9,00	55,4362	1	17/05/2010	0,3500
PD	PD2	4	69,00	30,3005	0	24/05/2010	0,3340

PD	PD2	5	61,00	34,2743	0	07/06/2010	2,8680
PD	PD2	6	26,00	48,1259	1	09/06/2010	0,3065
PD	PD2	7	26,00	31,9824	0	14/06/2010	0,8110
PD	PD2	8	66,00	30,2379	0	15/06/2010	6,0570
PD	PD2	9	11,00	30,2379	1	16/06/2010	0,7380
PD	PD2	10	66,00	26,8781	1	17/06/2010	1,4345
PD	PD2	11	62,00	26,3130	1	21/06/2010	1,9665
PD	PD2	12	12,00	15,1789	0	22/06/2010	0,4420
PD	PD2	13	43,00	48,6217	1	28/06/2010	0,1440
PD	PD2	14	22,00	56,8761	1	29/06/2010	3,0350
PD	PD2	15	63,00	26,5239	1	05/07/2010	1,1350
PD	PD2	16	14,00	59,3959	1	07/07/2010	0,0900
PD	PD2	17	13,00	61,5280	1	08/07/2010	0,3305
PD	PD2	18	12,00	52,1364	1	13/07/2010	0,3480
PD	PD2	19	12,00	52,1364	1	14/07/2010	2,0625
PD	PD2	20	14,00	37,3346	0	15/07/2010	1,3450
PD	PD2	21	4,00	49,4966	1	16/07/2010	0,1220
PD	PD2	22	20,00	46,7248	0	19/07/2010	0,4555
PD	PD2	23	35,00	51,5896	1	21/07/2010	0,7620
PD	PD2	24	22,00	38,5173	0	30/07/2010	0,9300
PD	PD2	25	65,00	26,3169	1	09/08/2010	0,2550
PD	PD2	26	26,00	45,3845	0	12/08/2010	7,2825
PD	PD2	27	37,00	56,5063	1	16/08/2010	1,2570
PD	PD2	28	8,00	56,4261	1	17/08/2010	0,3350
PD	PD2	29	22,00	56,8761	1	18/08/2010	1,8020
PD	PD2	30	12,00	15,1789	0	19/08/2010	0,4800
PD	PD2	31	109,00	19,1811	1	23/08/2010	0,9885
PD	PD2	32	19,00	48,7671	1	27/08/2010	0,8410
PD	PD2	33	36,00	28,5980	0	30/08/2010	0,6535

Cuadro 26. Escorrentía superficial para cada una de las repeticiones en usos de suelo evaluados en la campaña lechera de Santa Cruz, Turrialba, cuenca media alta del Río Reventazón, Costa Rica 2010.

USO DE SUELO	Umbral de Escorrentía (mm)	Total Escorrentía (%)	Número de eventos	Estado del Sistema			Número de animales en pastoreo
				Descanço / recuperación	Pastoreo / corte	Diferencia	
BR1	27,00	1,32	30	-	-	-	-
BR2	8,71	6,95	90	-	-	-	-
BF1	9,78	30,81	89	24,60	34,74	10,14	-
BF2	12,39	4,95	89	1,15	10,01	8,86	-
PM1	7,94	34,51	98	34,70	36,68	1,98	hasta 15 animales
PM2	11,02	15,27	96	11,98	25,50	13,53	hasta 8 animales
PM3	6,73	40,62	101	29,31	55,59	26,28	hasta 12 animales
PD1	5,71	40,20	49	30,11	46,25	16,13	hasta 40 animales
PD2	5,56	40,06	49	31,73	45,47	13,74	hasta 40 animales

Donde: Donde: BR1 = bosque ripario, repetición 1; BR2 = bosque ripario, repetición 2; BF1 = banco forrajero, repetición 1; BF2 = banco forrajero, repetición 2; PM1 = pastura mejorada, repetición 1; PM2 = pastura mejorada, repetición 2; PM3 = pastura mejorada, repetición 3; PD1 = pastura degradada, repetición 1; PD2 = pastura mejorada, repetición 2.