

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO Y MANEJO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO
TURRIALBA, COSTA RICA.**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

Magister Scientiae

Por

Herbert Luis Lovón Ríos

Turrialba, Costa Rica

2003

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el comité consejero del Estudiante como requisito para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Consejero Principal

Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Gustavo Calvo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Glenn Galloway, Ph.D.
Director Programa de Educación y Decano de la Escuela de Posgrado

Herbert Luis Lovón Ríos
Candidato

A mi hermana y a mis padres que siempre estuvieron dentro de mi, y a todos mis amigos y amigas que me dieron fuerzas en momentos difíciles.

Agradezco a Dios, por haber llenado mi espíritu cuando me sentí solo.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO.....	v
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problemática y justificación del estudio.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Generales</i>	4
1.3.2. <i>Específicos</i>	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Impacto del uso de la tierra en la cuenca hidrográfica.....	5
2.2. Efectos del uso de la tierra en el rendimiento hídrico.....	6
2.3. Impacto del uso del suelo en el proceso de infiltración del agua.....	9
2.4. Efectos de la lluvia en la escorrentía superficial y sedimentación.....	10
2.4.1. <i>Escorrentía y erosión</i>	10
2.4.2. <i>Sedimentos</i>	12
2.5. El agua en el suelo.....	13
2.5.1. <i>Propiedades físicas del suelo</i>	13
2.5.1.1. Propiedades del tamaño de partículas.....	13
2.5.1.2. Propiedades morfológicas.....	13
2.5.2. <i>Propiedades del agua del suelo</i>	14
2.5.2.1. Contenido del agua en el suelo.....	14
2.5.2.2. Características de retención del agua.....	15
2.5.2.3. Conductividad hidráulica.....	15
2.5.3. <i>Infiltración</i>	16
2.5.3.1. Factores que afectan el proceso de infiltración.....	16
2.5.3.1.1. <i>Sellamiento superficial</i>	16
2.5.3.1.2. <i>Compactación del suelo</i>	17
2.5.3.1.3. <i>Preparación del suelo</i>	17
2.5.3.1.4. <i>Materia orgánica y rotación de cultivos</i>	18
2.5.3.1.5. <i>Sedimentos</i>	18
2.5.3.2. Medición de la infiltración.....	19
2.5.3.2.1. <i>Cilindros infiltrómetros</i>	19
2.5.3.2.2. <i>Surcos infiltrómetros</i>	20
2.5.3.2.3. <i>Represa o poceta</i>	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Localización del área de estudio.....	21
3.2. Caracterización del área de estudio.....	22

3.2.1. Características climáticas.....	22
3.2.2. Precipitación.....	22
3.2.3. Temperatura.....	23
3.2.4. Características edafológicas.....	23
3.2.5. Características socioeconómicas.....	24
3.3. Procesamiento y análisis de la información.....	24
3.3.1. Definición de la población.....	24
3.3.2. Encuestas.....	25
3.3.2.1. Análisis estadístico de las encuestas.....	25
3.3.3. Talleres FODA.....	25
3.3.4. Procesamiento de información secundaria.....	26
3.3.5. Determinación de la infiltración con el doble cilindro (Tipo inundado).....	27
3.3.5.1. Características de los suelos con diferentes coberturas vegetales.....	29
3.3.5.2. Procesamiento de la información referente a infiltración.....	30
3.3.5.2.1. Infiltración acumulada.....	30
3.3.5.2.2. Velocidad de infiltración.....	30
3.3.5.2.3. Infiltración básica.....	31
3.3.6. Medición de la textura.....	31
3.3.7. Medición de densidad aparente.....	31
3.3.8. Identificación de los principales sitios de aporte de erosión y sedimentos en la cuenca del Río Turrialba.....	32
3.3.8.1. Escala de riesgo a erosión para el mapa de uso actual del suelo.....	32
3.3.8.2. Escala de riesgo a erosión para el mapa de precipitación.....	33
3.3.8.3. Escala de riesgo a erosión para el mapa pendientes.....	34
3.3.8.4. Escala de riesgo a erosión para el mapa de suelos.....	35
3.3.9. Determinación de la escorrentía superficial de la cuenca del Río Turrialba en función al uso actual del suelo con ayuda de SIG.....	38
3.3.9.1. Cálculo del Número de Curva.....	38
3.3.9.2. Cálculo del factor de precipitación (P) mapa de isoyetas.....	42
3.3.9.3. Cálculo de la precipitación en Exceso (Pe).....	42
3.3.9.4. Cálculo del caudal promedio.....	42
3.3.10. Proposición y análisis de factibilidad de prácticas tecnológicas.....	43
3.3.11. Determinación de la disposición de los productores a realizar cambios en el uso de la tierra.....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1. Identificar y analizar los principales problemas y potencialidades de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	46
4.1.1. Tipología de los productores de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	46
4.1.2. Taller de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	52
4.1.3. Análisis institucional de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	55
4.1.3.1. Análisis institucional de las comunidades Las Virtudes, La Pastora, Santa Cruz y Calle Leiva pertenecientes a la cuenca alta del Río Turrialba.....	55
4.1.3.2. Análisis institucional de las comunidades El Carmen y San Rafael pertenecientes a la cuenca media del Río Turrialba.....	56
4.1.4. Evaluar el efecto de los diferentes usos de la tierra (charral, hortalizas, pasto de piso y pasto de corta) en el comportamiento de la infiltración de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	57
4.1.5. Identificar y caracterizar los principales sitios de aporte de erosión y sedimentos en la cuenca del Río Turrialba.....	66
4.1.6. Determinar a partir del método de la curva mediante la ayuda del Sistema de Información Geográfico (SIG – ARC View) la cantidad de escorrentía producida en la cuenca del Río Turrialba.....	68
4.1.7. Proponer 5 prácticas tecnológicas y realizar un análisis técnico económico.....	72

4.1.7.1. Prácticas sostenibles para el manejo de la cuenca alta del Río Turrialba.....	74
4.1.7.1.1. Conservación de forrajes (<i>ensilajes</i>).....	74
4.1.7.1.2. Biodigestor de bolsa completa.....	82
4.1.7.1.3. Lombricultura.....	88
4.1.7.1.4. Semiestabulación.....	96
4.1.7.1.5. Forrajes de corta.....	103
5. CONCLUSIONES.....	110
6. RECOMENDACIONES.....	112
7. REVISIÓN DE LITERATURA.....	113
8. ANEXOS.....	116

Lovon R, HL. 2004. Contribución al estudio y manejo de la cuenca alta del Río Turrialba, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE. 122p.

RESUMEN

Palabras claves: infiltración, escorrentía, erosión, precipitación en exceso, uso actual del suelo, condición hidrológica del suelo, charral, pasto de piso, pasto de corta.

Se realizó el presente estudio con el objetivo de contribuir al manejo integral de la cuenca media y alta del Río Turrialba, Costa Rica, mediante el análisis de interacciones socioambientales, identificación de principales sitios de riesgo a erosión, impacto del uso de la tierra en el proceso de infiltración para poder elaborar propuestas de alternativas tecnológicas para los productores.

Se realizó una encuesta sobre el sistema de producción y se identificaron los principales problemas y potencialidades de la cuenca media y alta mediante un taller FODA y un análisis institucional. En base a la lista de productores encuestados se realizó una estratificación formando cuatro grupos, basados en el tipo de cobertura vegetal que tenía cada productor en la finca (pasto de corte, pasto de piso, charral y agrícola), donde se realizó pruebas de infiltración bajo cada cobertura y se determinó la velocidad de infiltración, infiltración acumulada e infiltración básica mediante la ecuación de Kostiakov.

Además, se generó un mapa de riesgo a erosión para toda la cuenca del Río Turrialba y se determinó mediante el método del número de curva (NC) la cantidad de escorrentía producida en toda la cuenca del Río Turrialba en base al uso actual del suelo.

Se propusieron cinco alternativas tecnológicas (ensilajes, pastos de corta, lombricultura, semiestabulación y biodigestores) de bajos insumos que contribuyeran a disminuir la escorrentía y erosión y mejoren las condiciones hidrológicas del suelo. Luego se realizó una evaluación de adoptabilidad a seis productores líderes.

Las principales problemas en común de la cuenca media y alta fueron la falta de asistencia técnica, no poder aumentar su capital de trabajo, bajos precios para los productos, elevado precio de los insumos y estaciones lluviosas muy fuertes. Mientras que las principales potencialidades fueron la producción de buenas pasturas, suelos fértiles, carreteras principales en buen estado y existe la suficiente experiencia en la actividad que realizan.

Se encontró que existe mayor infiltración básica en los suelos bajo cobertura agrícola 1, seguido de la cobertura charral, pasto de corta, agrícola 2 y pasto de piso.

Los principales sitios de riesgo a erosión en la cuenca del Río Turrialba se localizó en la parte media, debido a la combinación del tipo de cubierta vegetal (caña y café), pendientes y la cantidad de precipitación que se da en esa zona. Así mismo se obtuvo un promedio de 6.64 m³/s con coberturas bien manejadas y 6.73 m³/s de escorrentía para la cuenca del Río Turrialba con mal manejo agronómico de las coberturas vegetales. La poca diferencia en la cantidad de escorrentía simulada bajo el método de (NC) se debe a las limitaciones de éste método utilizado.

La tecnología propuesta con mayor porcentaje de adopción por parte de los productores fue el biodigestor con 84% de aceptación seguida de forrajes de corta (75%), semiestabulación (72%), lombricultura (68%) y ensilajes con 64%.

SUMMARY

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales efectos hidrológicos del cambio del uso de la tierra.....	8
Cuadro 2. Promedio de precipitación anual 1990 – 1999 para estaciones cercanas a la cuenca.....	22
Cuadro 3. Número de repeticiones de pruebas de infiltración, textura, D.A. y pendiente en las diferentes coberturas.....	29
Cuadro 4. Mapas utilizados para obtener el mapa de riesgo a erosión.....	36
Cuadro 5. Valores de NC con buen manejo agronómico de las coberturas.....	40
Cuadro 6. Valores de NC con mal manejo agronómico de las coberturas.....	41
Cuadro 7. Calificaciones y pesos demostrativos para evaluar adoptabilidad de tecnologías.....	45
Cuadro 8. Principales variables del sistema de producción que contribuyen a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	47
Cuadro 9. Principales variables tecnológicas que contribuyen a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba.....	50
Cuadro 10. Principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las localidades de Santa Cruz, Las Virtudes, La Pastora y Calle Leiva pertenecientes a la cuenca alta del Río Turrialba.....	52
Cuadro 11. Principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las localidades de El Carmen y San Rafael pertenecientes a la cuenca media del Río Turrialba.....	53
Cuadro 12. Valores del coeficiente de infiltración básica (C.I.B.) para las cuatro coberturas evaluadas; agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso.....	57
Cuadro 13. Textura promedio y densidad aparente de los diferentes sitios para las cuatro coberturas evaluadas.....	60
Cuadro 14. Caudales totales con dos tipos de manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.....	71
Cuadro 15. Indicadores del estado de corta de plantas a ensilar.....	78
Cuadro 16. Presupuesto para la instalación de un silo montón y costos de ensilaje para una hectárea de maíz.....	81
Cuadro 17. Diferentes materiales necesarios para producir 1m ³ de biogás.....	85
Cuadro 18. Composición química del efluente según su procedencia (base seca BS).....	86
Cuadro 19. Presupuesto para la instalación de un biodigestor de bolsa de 22 m ³	87
Cuadro 20. Condiciones necesarias para una buena reproducción de lombrices.....	93
Cuadro 21. Presupuesto para la instalación de un módulo de lombrices de 70 m ²	95
Cuadro 22. Requerimientos de macroelementos (g/día) para una vaca de 500 kilogramos de peso y con una producción de 10 kg de leche con 4% de grasa.....	98
Cuadro 23. Presupuesto para la instalación de infraestructura para ganado semiestabulado con un área de 70 m ²	102
Cuadro 24. Valor nutricional de cinco forrajes de corta (Morera, Nacedero y King Grass) y pastoreo (Estrella y Brachiaria).....	104
Cuadro 25. Presupuesto para la instalación de 1.0 hectárea de pasto de corte.....	107
Cuadro 26. Porcentaje de adopción de las tecnologías propuestas para la cuenca alta del Río Turrialba.....	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio en la cuenca del Río Turrialba, Cartago, Costa Rica.....	21
Figura 2. Estratificación de los productores para realizar las pruebas de infiltración.....	27
Figura 3. Escala de riesgo a erosión para las diferentes categorías de cobertura vegetal de la cuenca del río Turrialba.....	32
Figura 4. Escala de riesgo a erosión para el mapa de precipitación en la cuenca del Río Turrialba.....	34
Figura 5. Valores de riesgo a erosión para las diferentes pendientes en la cuenca del Río Turrialba.....	35
Figura 6. Valores de riesgo a erosión para los tipos de suelos en la cuenca del Río Turrialba	36
Figura 7. Cruzamiento de los pesos de los diferentes mapas para la obtención del mapa de riesgo a erosión para la cuenca del Río Turrialba.....	37
Figura 8. Condición hidrológica de los suelos en la cuenca del Río Turrialba.....	38
Figura 9. Mapa de Número de Curva con buen manejo agronómico de las coberturas.....	40
Figura 10. Mapa de Número de Curva con mal manejo agronómico de las coberturas.....	41
Figura 11. Dendograma de la clasificación de fincas en base a las variables socioeconómicas y del sistema de producción en fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba, Costa Rica.....	46
Figura 12. Organización social de la cuenca alta del Río Turrialba (diagrama de Venn).....	55
Figura 13. Organización social de la cuenca media del Río Turrialba (diagrama de Venn).....	56
Figura 14. Infiltración acumulada promedio de las diferentes coberturas vegetales (agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso).....	61
Figura 15. Velocidad de infiltración promedio de las diferentes coberturas vegetales (agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso), en la cuenca alta del Río Turrialba.....	64
Figura 16. Riesgo a erosión en la cuenca del Río Turrialba.....	66
Figura 17. Precipitación en exceso con mal manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.....	69
Figura 18. Precipitación en exceso con buen manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.....	70

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La cuenca del Río Turrialba tiene una extensión aproximada de 74.5 km², las actividades agrícolas de la cuenca se extienden hacia la zona este de la misma, en lugares donde se dan continuos deslizamientos.

En el periodo 1992 – 1995, la cuenca tuvo tasas migratorias negativas, resultado de la baja del precio del café, lo que condujo a un cambio fuerte en la actividad agrícola y el desempleo. Las principales actividades agrícolas en la cuenca media y baja del Río Turrialba son el café, caña de azúcar y macadamia. En la cuenca alta la ganadería de doble propósito para la producción de leche y carne y la producción hortícola son las principales actividades (ICE 2000).

El tamaño de las unidades de producción en la cuenca se distribuye entre fincas de más de 100 ha, principalmente en la parte media y baja de la cuenca y fincas entre 5 y 20 ha comunes en la parte alta.

Las inundaciones en esta cuenca son severas y recurrentes y se presentan en los ríos Turrialba, Colorado, Aquiares y la Quebrada Poró, afectando los barrios de la Alegría, Mon Río, La Margot, San Rafael, Turrialba Centro, Dominica, Alto Cruz, Guaria, Repasto e Isabel. La población está expuesta continuamente a grandes inundaciones y deslizamientos lo que hace que la cuenca tenga una alta vulnerabilidad física, social, económica y ecológica.

1.2. Problemática

Los principales problemas en la cuenca del Río Turrialba son:

La alta precipitación: tomando como referencia la estación meteorológica de CATIE, ubicada en la parte baja de la cuenca, donde la mínima registrada ha sido de 1770 mm y la máxima de 4358 mm, con un promedio anual de 2598 mm. Otras estaciones meteorológicas tales como Pacayas, San Antonio y Rosemont ubicadas en la cuenca presentan precipitaciones promedios de 2264, 3482 y 3336 mm respectivamente.

Las precipitaciones son de duración variable desde 15 minutos hasta 2 o más horas e intensas, las cuales provocan gran erosión en laderas principalmente de cafetales y cañales; deslizamientos y derrumbes en orillas de ríos, y en las laderas de los cañones es muy común ver daños a la infraestructuras (carreteras y puentes) En el núcleo urbano de la ciudad de Turrialba, a orillas del Río Colorado y Turrialba también son comunes las inundaciones y los daños a la infraestructura.

Tradicionalmente el sector que presenta mayor riesgo por precipitaciones convectivas es la falda Oeste del Valle, en la cuenca media del Río Turrialba y del Río Aquiares.

La cuenca del Río Turrialba tiene una tasa media de erosión de 26 ton/ha/año y una tasa media de aporte de sedimentos de 21 ton/ha/año. La cifra de erosión es moderada en esta cuenca, pero no refleja la magnitud real de producción de sedimentos, dado que parte son producidos por movimientos en masa. Las zonas críticas son los taludes de erosión de los ríos y quebradas de la cuenca alta (ICE 2000).

El 61% de los suelos de esta cuenca son derivados de cenizas volcánicas (Hydrudands, Hapludands, Virudands), con relieves fuertemente ondulados a escarpados, esto hace que sean muy susceptibles a la erosión cuando se da un sobre uso del mismo. Además un 15% son aluviales, con influencia de cenizas volcánicas, pero en relieves plano a ligeramente ondulado, por lo que son de gran fertilidad (ICE 2000).

Debido a las características geomorfológicas como pendientes fuertes, suelos inestables con poca agregación, características pluviométricas (precipitaciones entre 2500 y 4000 mm) con intensidades que superan la capacidad de infiltración, y usos del suelo en

muchos sectores diferente a su capacidad, la cuenca del Río Turrialba es muy vulnerable a desastres naturales, especialmente a inundaciones y deslizamientos.

En la parte alta de la cuenca, el desarrollo económico se basa en la actividad lechera; los productores se clasifican como pequeños, ya que en promedio disponen de 6.9 ha de pasto y 11.9 vacas en ordeño. En esta zona los principales problemas en orden de prioridad son: la carencia de infraestructura y equipo adecuado de sus sistemas productivos, disminución de la producción e leche, problemas de comercialización, alto costos de los insumos, pocos conocimientos de nuevas prácticas tecnológicas, pasturas deterioradas y difícil acceso a recursos (MAG 2001).

Se realizó el presente estudio en la cuenca del Río Turrialba, debido a que en la parte media se encuentran cultivos perennes (café y caña) y en la parte alta, la ganadería de leche es predominante, contribuyendo a que exista una mayor cantidad de caudales picos en la estación lluviosa, lo que afecta fuertemente la población que se encuentra en la parte baja de la cuenca.

1.3. Objetivos

1.3.1. Generales

- ☞ Contribuir al manejo integral de la cuenca media y alta del Río Turrialba, mediante el análisis de interacciones socio ambientales y la propuesta de alternativas tecnológicas para los productores.

1.3.2. Específicos

- ☞ Identificar y analizar los principales problemas y potencialidades de la cuenca media y alta del Río Turrialba.
- ☞ Evaluar el efecto de los diferentes usos de la tierra (charral, hortalizas, pasto de piso y pasto de corta) en el comportamiento de la infiltración de la cuenca media y alta del Río Turrialba.
- ☞ Generar un mapa de riesgos de erosión de la cuenca del Río Turrialba.
- ☞ Determinar a partir del método del número de curva y el apoyo del Sistema de Información Geográfico (SIG), la cantidad de escorrentía producida en la cuenca media y alta del Río Turrialba en función del uso actual del suelo.
- ☞ Proponer cuatro prácticas tecnológicas para el manejo de la cuenca, que reúnan las características de potencialidad técnica, biológica y económica.
- ☞ Determinar si los productores están dispuestos a realizar cambios tecnológicos en sus fincas y sistemas de producción.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Impacto del uso de la tierra en la cuenca hidrográfica

A pesar de la larga historia que existe del cambio del uso de la tierra, especialmente la conversión de bosques y su impacto en el ambiente, el agua y el suelo han recibido muy poca atención. Sin embargo estudios recientes realizados por Bruijnzeel 1986 citado por Nik (1988), indica que para la zonas tropicales húmedas la conversión del bosque a otras actividades revelan incrementos en las tablas de agua después de realizar estas actividades. Concluye que a pesar del tipo de cobertura que se desarrolle en el área se nota un incremento inmediato el año siguiente al tratamiento, seguido de un mayor o menor declinamiento regular con el establecimiento de la nueva cobertura.

El cambio del uso de la tierra puede tener consecuencias hidrológicas locales, regionales o globales. En una escala global cambios grandes que pueden tener efectos hidrológicos se atribuyen principalmente a la deforestación y reforestación. Los bosques son los más plantados o recomendados para áreas donde la agricultura no es recomendable. Sin embargo, las plantaciones forestales interceptan más lluvias y agotan el suministro de agua de las corrientes abajo. Cortar árboles en gran escala conlleva a la erosión e incrementa la lixiviación de los nutrientes de los suelos (Calder 1992).

La agricultura intensiva involucra realizar drenajes en áreas extensas de suelo, uso de fertilizantes y pesticidas, establos y aves caseras. Estas actividades representan la mayor cantidad del cambio del uso de los suelos los cuales tienen impactos en la erosión del suelo y en la cantidad y calidad de agua que llegarán a las corrientes más cercanas (Calder 1992).

La corta de los bosques seguido de la quema de los mismos, y la siembra de cultivos en pendientes pronunciadas, afectan fuertemente la cantidad de agua que pasa a través del subsuelo, disolviendo sustancias y partículas que serán perdidas desde las capas superiores del suelo. Esta eliminación del bosque elimina la transpiración e incrementa la cantidad de agua que pasa a través de la vegetación residual y el suelo resultando en pérdidas de sedimentos y nutrientes a través de la escorrentía y percolación (Ramakrishnan y Toky 1981). El fuego no solo destruye el mantillo de hojarasca que protege el suelo sino que lo impermeabiliza. Estos efectos pueden durar varios meses y

según la cantidad de precipitaciones gran cantidad de suelo y nutrientes pueden ser arrastrados por las aguas elevándose el nivel de estas (Bruijnzeel 1991).

Otro factor que hay que considerar dentro de una cuenca y que tiene un impacto relevante en el movimiento de las aguas es la urbanización que se puede realizar dentro de ella. Las urbanizaciones tienen un efecto directo en el incremento de la escorrentía superficial modificando la calidad de esta agua. Como las áreas urbanizadas están cubiertas por pavimentos, carreteras, estacionamientos y techos los cuales protegen de las lluvias e impiden la infiltración en los suelos. La Natonwide Urban Runoff Program (NURP) citado por Urbonas y Roesner (1992), reportan que para 1983 en una cuenca en Denver donde se urbanizó, la escorrentía superficial incrementó proporcionalmente al incremento de la lluvia.

La escorrentía superficial en las zonas urbanas adquieren grandes velocidades comparado zonas no urbanas debido a que las superficies impermeables son mas lisas que las praderas, tierras agrícolas, bosques y pasturas (Urbonas y Roesner 1992).

2.2. Efectos del uso de la tierra en el rendimiento hídrico

En cuanto al rendimiento hídrico que puedan brindar las diferentes coberturas del suelo Huber y López (1993) afirman que la eliminación de la cobertura boscosa produce alteraciones en la redistribución y cantidad de las lluvias las cuales llegan a la superficie del suelo, modifican la distribución espacial y temporal de las reservas de agua del suelo y afectan el balance hídrico (Cavelier y Vargas 2002). Pueden ocurrir disminuciones de las lluvias locales pero siempre y cuando estas sean de tipo convectivo; es decir si dependen en gran parte de evapotranspiración del bosque.

Según Bruijnzeel (1991) la remoción de bosques húmedos tropicales provocó un aumento de los caudales totales durante los primeros tres años con un valor promedio de 400 mm al año. Además el aumento del rendimiento hídrico es proporcional a la cantidad de masa boscosa que se eliminó del bosque. Los rendimientos hídricos de esta cuenca pueden permanecer por encima de del caudal original total en caso de que la conversión a cultivos anuales, pastos o plantaciones de té, cacao o caucho, o podría regresar a su caudal original al cierre de las copas si es que se deja que estas áreas se regeneren naturalmente o se realicen plantaciones forestales de rápido crecimiento. Por lo tanto

existen diferencias en la evapotranspiración entre las vegetaciones altas y de raíces profundas y la vegetación baja y de raíces superficiales. Una de las consecuencias más relevantes de este hallazgo es que la reforestación de las tierras agrícolas y pastizales degradados con especies forestales de rápido crecimiento provocarán una disminución de los caudales totales.

Fritsch, citado por Cavelier y Vargas (2002) encontró al estudiar seis microcuencas en la Guyana francesa que después de los primeros 12 meses de la deforestación el rendimiento hídrico aumentó hasta en un 146% comparada con las cuencas boscosas. Para esas mismas cuencas el rendimiento hídrico sufrió una disminución al darse un cambio del uso de la tierra el cual incluía regeneración natural, plantaciones comerciales de *Pinus*, eucalyptus, toronja y pasturas.

Seuna, citado por Huber y López (1993) determinó, en el norte de Finlandia que la escorrentía se incrementó entre un 15 y 20% comparado con la media normal producto de la eliminación del 55% de la vegetación boscosa.

En Chile Huber y Oyarzun (1990) encontraron que las plantaciones de la conífera *Pinus radiata* ha reemplazado grandes áreas de vegetación nativa conduciendo a variaciones en las reservas de agua del suelo, especialmente en zonas de bajas precipitaciones.

El cuadro 1 muestra los principales efectos hidrológicos que causa el cambio del uso de la tierra con énfasis en la reforestación y deforestación del bosque en la cuenca hidrográfica.

Cuadro 1. Principales efectos hidrológicos del cambio del uso de la tierra.

Cambio del uso de la tierra	Componente afectado	Principales procesos hidrológicos implicados
Reforestación	Flujo anual	Incrementa la intercepción en los periodos húmedos.
		Incrementa la transpiración en la época seca.
	Flujo estacional	Incrementa la intercepción e incrementa la transpiración durante el periodo seco lo que aumentará el déficit de humedad del suelo y reducirá el flujo de la estación seca.
		Actividades de drenaje: Asociado con plantaciones puede incrementar el flujo en la estación seca a través de toda la red de drenaje.
		Niebla o neblina: La deposición puede aumentar los flujos en la estación seca.
	Inundaciones	La intercepción reduce las inundaciones por remover la cantidad de lluvia y permitir aumentar el almacenamiento de humedad en el suelo.
		Actividades: cultivos, drenajes, construcción de carreteras, todas estas actividades incrementan las inundaciones.
	Calidad del agua	Lixiviación de nutrientes es menor en los bosques debido a la reducida escorrentía superficial y a la baja aplicación de agroquímicos.
		Depósito de contaminantes atmosféricos es elevado en los bosques debido a que reduce la resistencia aerodinámica.
	Erosión	Altas tasas de infiltración en bosques mixtos reducen la escorrentía superficial y la erosión.
Incrementa la estabilidad de las pendientes debido a que se reduce la presión del agua hacia los poros del suelo y se traslapan las raíces.		
La erosión aumenta debido al salpique en bosques donde no hay presencia de sotobosque o vegetación pequeña.		
Actividades: cultivos, drenajes, construcción de carreteras, todas estas actividades incrementan la erosión.		
Clima	Incrementa la evaporación y reduce los flujos sensibles de calor del bosque hacia la atmósfera.	
Agricultura	Cantidad de agua	Alteración en las tasas de transpiración las cuales afectan la escorrentía.
		Se altera el tiempo de escorrentía a través del drenaje del suelo.
	Calidad de agua: Fertilizantes	Aplicación de fertilizantes inorgánicos.
	Pesticidas	La aplicación no selectiva y adecuada de los pesticidas ponen en riesgo la salud de las personas y la vida animal.
	Desechos de Finca	Inadecuado manejo de las fincas pueden contaminar cuerpos de aguas superficiales y subsuperficiales.
Erosión	Cultivar sin medidas apropiadas de conservación de suelos incrementan la erosión.	

Fuente: Calder 1992

2.3. Impacto del uso del suelo en el proceso de infiltración del agua

Las propiedades hidráulicas del suelo están en función de la textura y estructura del mismo. La velocidad y cantidad de infiltración de agua en un suelo con buena estructura esta influenciado por las condiciones superficiales, tipo de laboreo y prácticas culturales (Burwell et al, Millar, Sukharev y Sukhareva citado por Vidal et al. 1981; García et al. 1996).

Las operaciones forestales están continuamente asociadas con el incremento de la escorrentía y erosión. Operaciones como drenaje, construcción de vías de acceso están relacionadas con el compactado y disturbado del suelo los cuales ayudan a causar inundaciones (Calder 1992).

Bruijnzeel (1991) afirma que los suelos de las vías de acceso al bosque de los tractores suelen tener una baja capacidad de infiltración hasta incluso después de diez años de la última utilización. Estas áreas compactadas no solo pueden originar grandes acumulaciones de agua y sedimentos durante las tormentas si no que también a las plantas les resulta difícil producir raíces en estas tierras.

Por otro lado, en comparación con los suelos agrícolas, los suelos forestales especialmente los que poseen cobertura boscosa madura no intervenidos generalmente presentan valores más altos de infiltración y relativamente menos escorrentía y erosión. Sin embargo cuando se realizan extracciones forestales con maquinaria pesada (tractores forestales) y la subsecuente preparación del sitio para la regeneración natural o plantar la siguiente rotación de árboles causan disturbaciones y/o compactación en el suelo el cual afecta la estructura (arreglo espacial del suelo y el tamaño de los poros) y posteriormente causa cambios en las propiedades hidráulicas y distribución del agua en el suelo (Huang et al. 1996).

Así también Sosa et al. (2001) encontró que un suelo con cobertura de pasto (*Hyparrhenia rufa*) comparado con coberturas como café, bosque de robles y pino tuvo mayor infiltración y menor escorrentía.

Sin embargo cuando el pastizal es utilizado para pastorear ganado, Tomasella y Donet 1996 citados por Cavelier y Vargas (2002) afirman que en la Amazonía se encontró que la conductividad hidráulica en suelos superficiales (0 – 20 cm) con cobertura de pastizales era significativamente menor comparado con bosques, lo que atribuyó al pisoteo de los animales sobre el suelo del pastizal.

Las operaciones de mecanización agrícola influyen en las condiciones superficiales o subsuperficiales del suelo que afecta directamente la velocidad de infiltración. Es así que en una región semiárida de Argentina los suelos con cobertura boscosa presentaron valores básicos de infiltración aproximados a 15 cm h^{-1} llegando a reducir a 1 cm h^{-1} luego de 25 años de actividad agrícola (García et al 1996). Sin embargo, prácticas de labranza mínima crean condiciones apropiadas para una mejor infiltración y almacenamiento del agua en el subsuelo, de esta manera los cultivos pueden aprovechar esta agua en periodos de limitación (Vidal et al. 1981).

2.4. Efectos de la lluvia en la escorrentía superficial y sedimentación

2.4.1. Escorrentía y erosión

La escorrentía superficial o flujo superficial es descrito por Horton 1933 citado por Chow et al. (1994) de la siguiente manera: “despreciando la intercepción por la vegetación, la escorrentía superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración”. Pues si un suelo tiene una capacidad de infiltración (f) la cual se puede expresar en cm h^{-1} , entonces cuando la intensidad de la lluvia (i) es menor que (f) la lluvia es absorbida completamente por el suelo y no existe escorrentía superficial, pero si (i) es mayor que (f) la escorrentía superficial se dará a una tasa de $(i - f)$.

La escorrentía superficial adquiere gran importancia ya que dependiendo del caso, ésta puede convertirse en un importante agente de erosión. Cuando el suelo se satura rápidamente, las lluvias intensas pueden ocasionar escorrentías importantes aún en pendiente leves. La cantidad de escorrentía dependerá de la porosidad del suelo, contenido de humedad, intensidad de la lluvia y cobertura del suelo (Heuveldop et al. 1986).

Cuando la precipitación empieza el agua es depositada en diferentes superficies, que posteriormente tomarán diferentes rutas para llegar hacia una quebrada local, regresa a la atmósfera o a la tabla de agua local. Tres procesos intervienen en la prevención de la escorrentía principalmente: Intercepción, es el agua que es retenida por la vegetación y otras superficies; Depresiones de almacenamiento, que son las innumerables depresiones que existen en la superficie del suelo; Infiltración, que es el agua que atraviesa el perfil del suelo (Pilgrim y Cordery 1993).

Se ha visto que las causas básicas de la denudación superficial del suelo son: la acción de la escorrentía y el impacto de las gotas de lluvia. En cuanto a la primera su capacidad erosiva estará condicionada por la cantidad de agua que escurra, velocidad del flujo y características del suelo para ser arrastrado. En el segundo caso sus efectos serán de mayor o menor importancia dependiendo de la cantidad de energía que lleve la precipitación en el instante que alcanza el suelo y las características de este ha ser disgregado (López y Blanco 1968).

Calder (1992) expone que el potencial de salpique es mayor en suelos descubiertos y por lo tanto, mayor bajo bosques de doseles altos comparado con una vegetación pequeña. Sin embargo, para tormentas de alta intensidad que precipitan gotas de grandes tamaños, éstas se ven reducidas al impactar con en el dosel de la vegetación y por lo tanto, se reduce la energía cinética de la gota y el impacto de la lluvia. En estudios realizados recientemente en tres tipos de vegetación (*Pinnus caribea*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Tectona grandis*) para comprobar la fuerza de impacto con la cual caen las gotas de lluvia, dio como resultado que la vegetación compuesta por *Tectona grandis* fue la que tuvo mayor fuerza de impacto en el suelo (energía cinética).

La fuerza de salpique que ejercen las gotas en el suelo descubierto movilizan las partículas del suelo las cuales pueden ser transportadas si es que existe escorrentía superficial. Estas pequeñas partículas pueden obstruir los microporos de la superficie del suelo formándose una capa impermeable la cual reduce la infiltración e incrementa la escorrentía superficial (Calder 1992).

Sin embargo en bosques mixtos naturales donde el suelo generalmente está cubierto por un mantillo de hojarasca el impacto de las gotas es reducido, por lo que en estas áreas, la infiltración es alta y la escorrentía superficial y erosión son mínimas (Calder 1992).

Sosa et al. (2001) mediante un simulador de lluvias, obtuvo resultados donde el tratamiento con cobertura de bosque de roble fue el que mayor escorrentía superficial produjo, seguida por pino, café y pasto este último presentó la menor escorrentía de los cuatro tratamientos.

2.4.2. Sedimentos

Los sedimentos son el resultado de la destrucción de las rocas, varía dependiendo del origen de las rocas, relieve topográfico donde ocurre la destrucción de estas, la distancia desde la formación hasta el sitio donde se depositan, la forma como las rocas se destruyen, el tiempo que ocurre entre la formación de sedimentos y el depósito del mismo, el clima y otras condiciones que ocurren en la región de formación y depósito de los sedimentos (Twenhofel 1961).

Los sedimentos son transportados a través de las corrientes de agua de diferentes maneras. Las partículas granulares que forman parte del sedimento pueden ser trasladadas por saltos, deslizamiento y rodadura sobre el fondo o pueden ser arrastrados fuera del lugar y quedar en suspensión. El tipo de movimiento de las partículas dependerá de sus propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico etc.) (OMM 1994).

Los efectos globales causados por los cambios de uso de las tierras en cuanto a la acumulación de sedimentos en una cuenca están determinados en gran medida por los diferentes procesos que aportan y eliminan los sedimentos de la red fluvial en condiciones naturales (Bruijnzeel 1991).

En el caso de un lugar donde se produce grandes cantidades de sedimentos como consecuencia de deslizamientos en terrenos inclinados, tectónicamente activos y que exista una precipitación abundante, las actividades humanas tendrán una influencia mínima. En cambio en lugares geológicamente más estables y con buena cobertura vegetal, esta influencia puede ser considerable (Bruijnzeel 1991).

2.5. El agua en el suelo

2.5.1. *Propiedades físicas del suelo*

2.5.1.1. Propiedades del tamaño de partículas

Las propiedades del tamaño de las partículas del suelo están determinadas por la distribución individual de las partículas en una muestra de suelo. Partículas menor a 2 mm se dividen en tres tipos de textura dentro del suelo; arenoso, limoso y arcilloso. El porcentaje de cada grupo textural dentro del suelo tiene un gran efecto en la retención de agua (Rawls et al.1992).

La textura se puede agrupar en cuatro clases fundamentales, que permiten definir a grandes rasgos las principales propiedades del suelo:

Textura arenosa: caracteriza suelos aireados, pobres en reservas de agua y elementos nutritivos, y con baja capacidad de cambio catiónico e iónico. Textura limosa caracterizada por un exceso de limo e insuficiencia de arcilla lo que puede provocar la formación de estructuras masivas y malas propiedades físicas. Textura arcillosa, suelos ricos químicamente pero con malas propiedades físicas, mal aireados y mala permeabilidad, presentando dificultad para la penetración de raíces. Textura franca, situación optima ya que presenta la mayor parte de las cualidades de las texturas mencionadas anteriormente (Ministerio de Medio Ambiente 1998).

2.5.1.2. Propiedades morfológicas

Las propiedades morfológicas tienen también un gran efecto en las propiedades del agua del suelo, como la densidad aparente, materia orgánica y tipo de arcilla. Estas propiedades están muy relacionadas con la estructura del suelo y la superficie del mismo. Estas propiedades están estrechamente relacionadas con la estructura y la superficie del suelo (Rawls et al.1992).

La estructura de los suelos es el resultado de la unión y ordenación de las partículas por medio de cementos como coloides húmicos, arcillas, óxidos de hierro o microorganismos en partículas compuestas o agregados. Cabe mencionar que mientras un suelo presente

una misma textura puede tener estructuras diferentes (Ministerio de Medio Ambiente 1998).

La densidad aparente “expresa la relación entre la masa de partículas del suelo después que han sido secadas y el volumen total del suelo”, sin embargo la densidad de partículas expresa la relación entre el peso de las partículas entre el volumen real de las mismas (Gurovich 1985).

La porosidad del suelo, es la proporción del volumen del suelo no ocupado por su parte sólida. La porosidad es definida por la forma, dimensiones y agrupaciones de las partículas y es una de las características importantes de los terrenos en cuanto a sus propiedades acuíferas. La porosidad es una muestra del estado de la estructura del suelo en un momento determinado, y nos puede brindar información en cuanto a las demás propiedades físicas del suelo, que aseguran la alimentación de las plantas y la respiración de raíces (Ministerio de Medio Ambiente 1998).

Las propiedades químicas del suelo también son importantes ya que afectan la integridad de los agregados del suelo (Rawls et al.1992).

El contenido de materia orgánica del suelo disminuye con la profundidad, a excepción de las turberas donde se mantiene constante, o en los suelos spodosoles donde tiene un segundo horizonte de acumulación húmica. Es por eso que la influencia de la materia orgánica del suelo se ejerce principalmente es las capas superiores del suelo (MOPT 1995).

2.5.2. Propiedades del agua del suelo

2.5.2.1. Contenido del agua en el suelo

El suelo es un medio poroso conformado de partículas minerales, agua, aire y habitado por raíces de plantas y población microbiana. Este medio puede estar ocupado parcial o totalmente de agua; si la porosidad está ocupada por aire y por agua, la parte líquida se llama humedad del suelo y si el medio está completamente lleno de agua se dice que está en condiciones de saturación (Martínez 1987).

En un suelo mineral saturado el contenido de humedad puede variar entre un 25% y 60%, según la densidad aparente. El contenido de agua en condiciones de saturación es generalmente mayor en suelos arcillosos (Gurovich 1985).

2.5.2.2. Características de retención del agua

La característica de retención del agua en el suelo describe la habilidad del suelo de almacenar y liberar agua y es definida como la relación entre el contenido de agua en el suelo y el potencial matricial (Rawls et al.1992).

El agua en el suelo como otros cuerpos dentro de la naturaleza, puede contener energía de diferentes formas y cantidades. La física clásica reconoce dos tipos principales de energía: cinética y potencial. Dado que el movimiento del agua dentro del suelo es relativamente lenta a condiciones normales, su energía cinética generalmente no es de mucha importancia. Sin embargo la energía potencial debido a la posición o condición interna dentro del sistema es muy importante para determinar el movimiento de agua en el suelo. La tendencia espontánea de toda materia en la naturaleza es moverse desde la energía potencial es alta hacia donde ésta sea baja. El agua del suelo obedece a estos principios moviéndose constantemente en la dirección de la energía potencial descendente (Gurovich 1985).

2.5.2.3. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la habilidad que tiene el suelo de transmitir agua y depende de las propiedades del suelo y las características del fluido. La porosidad total, tamaño de poros y su distribución son características importantes que afectan la conductividad hidráulica. Las características del fluido, tales como la viscosidad y la densidad, también afectan las características del suelo (Rawls et al.1992).

El movimiento de agua en el perfil del suelo está regida por la ecuación de Darcy que manifiesta que el flujo de agua es directamente proporcional al producto entre la conductividad hidráulica del suelo y la gradiente hidráulica, es decir, es proporcional a las propiedades del medio para transmitir el líquido (Jaramillo 1977).

La conductividad hidráulica para flujo no saturado es conocida como conductividad hidráulica capilar, la cual es la constante de proporcionalidad de la Ley de Darcy. Ésta

ocurre debido a que el flujo de humedad se da principalmente por los poros capilares del suelo. Así como la conductividad hidráulica para flujo saturado depende de la porosidad, la conductividad capilar está en función de la succión y el contenido de humedad (Martínez 1986).

La conductividad hidráulica capilar decrece a medida que aumenta la succión, debido a que con la pérdida de humedad los macroporos, que son los que tienen mayor capacidad de conducir agua, se secan y aumenta la tortuosidad al tener que discurrir el agua por los poros capilares (Martínez 1986).

2.5.3. Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Varios factores influyen en el proceso de infiltración donde se incluyen las condiciones superficiales del suelo y cubierta vegetal, propiedades del suelo como porosidad y la conductividad hidráulica y el contenido de humedad del suelo (Chow et al. 1994).

Kostiakov, citado por Gurovich (1985) propone la siguiente ecuación para determinar la infiltración:

$$I = K T^n \quad -1 < n < 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- I** = Velocidad de infiltración instantánea (L / T)
- T** = Tiempo (minutos)
- K** = Constante que representa la velocidad de infiltración para T = 1
- N** = Pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

2.5.3.1. Factores que afectan el proceso de infiltración

2.5.3.1.1. Sellamiento superficial

La formación de una capa fina y compacta en la superficie del suelo reduce el paso del agua a través del perfil del suelo. Esta acción se da debido al rompimiento de la estructura del suelo producido en parte por la erosión que pueden causar las lluvias, riegos por aspersión debido a que las partículas finas son fijadas alrededor de las partículas

mayores lo que sella los poros de la superficie, formándose una capa impermeable (Gurovich 1985).

También algunas prácticas de mínima labranza crean condiciones apropiadas que conducen a la infiltración y almacenamiento de la lluvia en el subsuelo, pudiendo así, el agua ser usada por periodos mas prolongados por parte del cultivo (Vidal et al. 1981).

2.5.3.1.2. Compactación del suelo

La preparación de los suelos especialmente los arados que se realizan en suelos húmedos pueden producir compactación y formación de capas impermeables debajo de la sección removida por el implemento llamada pie de arado. A partir de esta profundidad impide el movimiento del agua y reduce la velocidad de infiltración (Gurovich 1985).

García et al (1996) reportan que la infiltración básica, con valores aproximados a 15 cm h⁻¹ en suelos bajo monte, llega a reducirse a 1 cm h⁻¹, luego de 25 años de actividad agrícola.

En el caso de los terrenos dedicados a la ganadería, estos se ven afectados notablemente por el pisoteo continuo del ganado y el poco tiempo que se les brinda a estos terrenos para la recuperación del pasto. Muchas veces el ganado pastorea en épocas lluviosas lo que causa aún un mayor problema de compactación.

2.5.3.1.3. Preparación del suelo

Los diferentes métodos de preparación del terreno crean condiciones físicas diferentes en la superficie del suelo, las cuales pueden influenciar en la retención y movimiento de agua en el perfil del suelo (Vidal et al. 1981).

La velocidad de infiltración se puede ver aumentada por las araduras, rastraje u otros procedimientos que se pueden hacer en el terreno; sin embargo el efecto beneficioso en la porosidad del suelo por el paso de estos instrumentos es temporal, ya que dura solamente hasta que el terreno recupere su condición natural de densidad como consecuencia de lluvias o riegos subsecuentes (Gurovich 1985).

2.5.3.1.4. Materia orgánica y rotación de cultivos

Los macroporos del suelo están asociados a la materia orgánica presente en el suelo, aunque depende del estado de descomposición de esta. En el caso de raíces de las plantas, las que se encuentran vivas penetran dentro del suelo causando agujeros y siguen los agujeros que dejaron las raíces muertas. Las raíces dejan espacios vacíos dentro del suelo facilitando de esta manera el proceso de infiltración (Beven y Germann 1982).

Según Gurovich (1985) la materia orgánica también ayuda a mantener la porosidad del suelo durante periodos largos; esto depende del grado de descomposición en que se encuentra. De esta manera altera la velocidad de infiltración e incluso puede aumentar mediante la siembra de cultivos que aporten gran cantidad de materia orgánica.

2.5.3.1.5. Sedimentos

La infiltración está influenciada, de gran manera, por las condiciones físicas de la superficie del suelo, aún cuando las capas inferiores también pueden ser limitantes (Burwell et al citados por Vidal et al. 1981).

Especialmente las partículas de limo y arcilla que se encuentran suspendidas en el agua proveniente de la escorrentía superficial o riego producen un encostramiento en el suelo, que reduce notoriamente el proceso de infiltración (Gurovich 1985).

Perfil del suelo

El encostramiento superficial es un problema crucial en los suelos de muchas partes del mundo, afectando la infiltración y escurrimiento favoreciendo los procesos de erosión (García et al. 1996).

La presencia de diferentes estratos en el perfil del suelo afecta el proceso de infiltración, ya que pueden haber estratos arcillosos o arenosos de diferentes espesores en el perfil del suelo (Gurovich 1985).

2.5.3.2. Medición de la infiltración

Se utilizan varios métodos para medir la velocidad de infiltración. En caso de aplicación de riego se utiliza el método más aproximado al método a aplicar, en la zona de trabajo.

Según Gurovich (1985) el grado de confianza de las mediciones de infiltración con respecto a la velocidad de infiltración real se relaciona con la superficie que se desea representar y la variabilidad del perfil, debido a la heterogeneidad de los suelos, incluso dentro de áreas comparativamente pequeñas originan rangos de las mediciones experimentales. Por lo tanto, la variabilidad de los resultados de campo resultante de la heterogeneidad de los suelos y de las condiciones de humedad y gradiente de potencial (mátrico y gravitacional) hace que estos resultados solo sean aplicables para superficies pequeñas y para esas condiciones iniciales.

Existen diferentes métodos que se utilizan para medir la infiltración en campo. El método a utilizarse depende de las condiciones físicas del suelo y de la disponibilidad de equipos para su medición. Por lo tanto no existe un procedimiento estándar para todos los casos. Todos los métodos para la medición de la infiltración en campo se basan en la inundación y estancamiento del agua en la superficie del suelo, aplicación de aspersion y medidas de entradas y salidas de agua por surco y zanjas (Gurovich 1985).

A continuación se explicará brevemente los principios de los principales métodos de medidas de infiltración:

2.5.3.2.1. Cilindros infiltrómetros

En 1935 Musgrave ideó los cilindros infiltrómetros, posiblemente los instrumentos más utilizados en el estudio de la velocidad de infiltración de los suelos. En un inicio se utilizaron los cilindros simples que constaban de solo un cilindro; sin embargo los resultados obtenidos presentaron una gran variabilidad, probablemente al movimiento lateral del agua no controlado. Posteriormente se emplearon los cilindros dobles para minimizar el movimiento lateral del agua, el cual funciona como un área tampón alrededor del cilindro central. El movimiento de agua en el cilindro en forma descendente, debido a la aplicación de una lámina de agua medida en el cilindro a diferentes tiempos. Generalmente los resultados indican a menudo mucha variación en los valores de infiltración en áreas aparentemente muy similares (Gurovich 1985).

2.5.3.2.2. Surcos infiltrómetros

Este método se denomina de entrada y salida. Este método fue descrito por Shockley, el cual determina la velocidad de infiltración mediante el aforo de agua a la entrada y salida de un surco. La diferencia entre cantidad de agua que entra y que sale en un determinado tiempo puede considerarse muy representativa de la infiltración. La infiltración total de un área determinada dependerá de la infiltración vertical como de la infiltración lateral entre surcos consecutivos. Este método solo proporciona valores promedios de un rango de infiltración (Gurovich 1985).

2.5.3.2.3. Represa o poceta

Este método consiste en represar agua sobre un área determinada mediante bordes o pretilas construidos alrededor de ella. Con la ayuda de una regla o un flotador se mide el nivel de agua que pasa a través de ella. El grado con la que baja el agua en una parcela grande es probablemente la mejor indicación de la velocidad de infiltración. Sin embargo pocetas pequeñas tienen serias limitaciones al igual que el doble cilindro; el factor del aire que queda atrapado en las cavidades del suelo probablemente puede originar un movimiento vertical retardado. El uso de pocetas grandes se hace complicado por que no son prácticas debido a las grandes cantidades de agua que se requieren para realizar las mediciones y el relieve del área experimental (Gurovich 1985).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la cuenca alta del Río Turrialba la cual se encuentra ubicada entre las coordenadas 9° 53' 20" a 10° 00' 00" Latitud Norte y 83° 40' 00" a 83° 50' 00" Longitud Oeste, insertándose en la región geográfica denominada Vertiente Atlántica. La altitud de esta cuenca se encuentra entre 580 y 3300 msnm con una superficie de 74.5 km² (Calvo 1993).

La administración de la de la cuenca, corresponde a la provincias de Cartago y comprende los cantones de Jiménez, Turrialba y Alvarado (Calvo 1993).

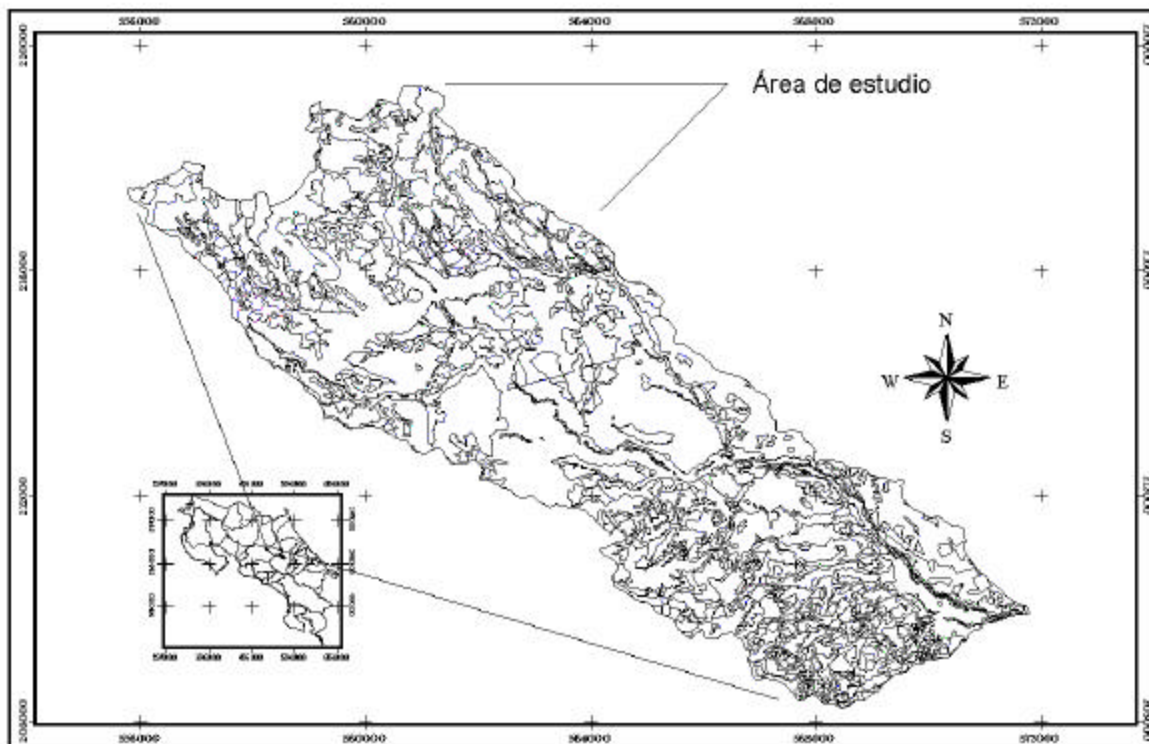


Figura 1. Área de estudio en la cuenca del Río Turrialba, Cartago, Costa Rica.

3.2. Caracterización del área de estudio

3.2.1. Características climáticas

El clima de la cuenca del Río Turrialba es bien heterogéneo debido a que está en función de las variables microclimáticas. La cuenca del Río Turrialba existe un sistema climatológico el cual propicia lluvias torrenciales y se caracteriza por tres fenómenos principales: el efecto de Foehn, estancamiento y circulaciones locales. Estos afectan los vientos llenos de humedad que ingresan desde el Caribe por el Valle del Río Reventazón (García 1990).

Las veces que se producen tormentas en la zona del Caribe, se corre el riesgo de que las masas húmedas se alojen en las laderas del volcán Turrialba, lo que provoca fuertes lluvias en toda la cuenca, especialmente en la parte alta, la que se encuentra en la ladera del volcán. Cuando se intensifican las lluvias en la cuenca del Río Colorado, éstas caen sobre la superficie del bloque basculado por la falla Chiz, con áreas de fuertes pendientes y suelos desarrollados de cenizas volcánicas diferencialmente meteorizadas. El área es propensa a erosión y debido a las pronunciadas pendientes se producen avenidas rápidas las cuales se incorporan al Río Turrialba por medio del Río Colorado (Calvo 1993).

3.2.2. Precipitación

En cuanto a la precipitación los meses de enero febrero marzo y abril se registran menor precipitación que en resto del año. El periodo de mayo a diciembre son los meses donde se registra la mayor precipitación. A continuación se muestra el promedio de precipitación anual para cada estación de la cuenca (cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de precipitación anual 1990 – 1999 para estaciones cercanas a la cuenca.

	CATIE	Rosemont	San Antonio	Pacayas
Precipitación promedio anual (mm)	2598	3336	3482	2264

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2000.

Cabe mencionar la importancia crucial de la distribución temporal de la precipitación. Si esa cantidad de agua se distribuye uniformemente en el tiempo, bajo condiciones regulares no ocurrirán condiciones para la inundación. Las ocurrencias de las crecidas de los niveles de agua en la parte alta de la cuenca del Río Turrialba es un efecto de ciertos picos de precipitación en el mismo día de la inundación y el día anterior, conjuntamente con el uso inadecuado de los suelos debido a la falta de planificación del uso de la tierra de acuerdo con su capacidad de uso (Neeff 2000).

3.2.3. Temperatura

La temperatura promedio de la cuenca alta del Río Turrialba es de 8.1 °C, el régimen de temperatura presenta estaciones diferenciadas, siendo más cálida entre mayo y noviembre y más fría entre diciembre y abril (Calvo 1993).

La temperatura media anual de la parte baja de la cuenca es de 21.7 °C de acuerdo a la estación del CATIE, en la parte media de la cuenca la temperatura promedio es de 16.9 °C y en la parte alta de la cuenca la temperatura promedio es de 8.2 °C registrado por la estación meteorológica Irazú.

3.2.4. Características edafológicas

La cuenca del Río Turrialba presenta fuertes pendientes los cuales generan relieves muy accidentados influenciado principalmente por la cercanía de los volcanes Irazú y Turrialba de los cuales se originaron procesos morfológicos que dieron estas condiciones topográficas. El rango entre 15% hasta 25% de pendiente es el que ocupa la mayor área (23.32% del área total) y está distribuida por toda la cuenca, posee coberturas como pastos, cultivos y bosque. Un 17.37% del área total de la cuenca posee pendientes mayores al 50%, que se utiliza principalmente para pastoreo y bosque y se ubican principalmente en la parte alta y media de la cuenca (Calvo 1993).

El 44.01% del área total de la cuenca del Río Turrialba, está bajo un uso crítico o conflictivo, donde los productores realizan actividades de agricultura y ganadería sin ninguna medida de conservación de suelo y agua. Además menciona que el uso de la tierra entre los años de 1978 y 1988 en promedio la parte agrícola posee un 29.25 %, la parte de pastos un 39.87%, la parte de bosques un 29.40 % del área total de la cuenca del Río Turrialba (Calvo 1993).

Según Méndez (2001) en la cuenca se encuentran tres profundidades las cuales oscilan entre profundo (mayor de 90 cm), medio profundo (40 – 90 cm) y delgado (20 – 40 cm). Además los suelos considerados como poco profundos representan el 57% de la superficie total de la cuenca, localizada en principalmente en la parte alta, el 22% del área total se encuentra en la categoría medio profundo, situados en la parte media y parte de la

cuenca baja y el 21% restante ubicados también en la parte alta y media de la cuenca del Río Turrialba.

3.2.5. Características socioeconómicas

La cuenca del Río Turrialba en el período 1992 - 1995 tuvo saldos y tasas migratorias negativas, resultado de la baja del precio del café, lo que condujo a un cambio fuerte en la actividad agrícola y al desempleo. Las principales actividades agrícolas en la cuenca media y baja del Turrialba son el café, caña y macadamia; en la parte pecuaria la ganadería de doble propósito para la producción de leche y carne (ICE 2000).

Según ICE citado por Méndez (2001), a lo largo de la cuenca del Río Turrialba el 54% del área esta cubierta por fincas de más de 100 ha, un 44% del área cubierta por fincas entre 5 – 20 ha y un 2% del área dedicadas a protección.

La cuenca alta del Río Turrialba se basa en la actividad lechera la cual representa las principales fuentes de ingreso y empleo, ya que anualmente abastecen a la Meseta Central con 21900 kg de leche. (MAG 2001).

Los productores se ubican dentro de la clasificación de pequeños productores ya que el área promedio de producción que disponen es de 6.9 ha de pasto y 11.9 vacas en ordeño, siendo la carga animal promedio diaria de 4.04 U.A./ ha / día (MAG 2001).

3.3. Procesamiento y análisis de la información

3.3.1. Definición de la población

La población objetivo del presente estudio comprende a los productores que posean áreas dedicadas a la ganadería y agricultura en la cuenca alta del Río Turrialba.

Como marco muestral se tomó a todos los productores que han sido seleccionados por el ICE y el MAG los cuales conforman dos grupos que están ubicados en las comunidades de El Carmen y Santa Cruz, pertenecientes a la cuenca media y alta del Río Turrialba.

Identificación y análisis integral de los principales problemas y potencialidades de la cuenca media y alta del río Turrialba.

Para la identificación de los principales problemas y potencialidades se realizó una encuesta con el propósito de obtener información del sistema de producción, se realizó dos talleres participativos y se analizó la información secundaria del área de estudio.

3.3.2. Encuestas

Se encuestaron un total de 47 productores de la cuenca media y alta del Río Turrialba; dentro de las localidades encuestadas se encuentran; Las Virtudes, Calle Leiva, La Pastora, y Santa Cruz (cuenca alta) y San Rafael y El Carmen (cuenca media). Se aplicó una encuesta estructurada (anexo 5) mediante una entrevista en la finca de cada productor, donde se recogió información del sistema de producción, sanidad animal, producción agrícola, cambio tecnológico y capacitación y organización de los productores.

3.3.2.1. Análisis estadístico de las encuestas

Se analizaron las encuestas mediante el programa SAS donde se realizó un análisis multivariado de “cluster” y para determinar si existen diferentes tipos de productores y así poder identificar y analizar los principales problemas y potencialidades de la zona de estudio.

3.3.3. Talleres FODA

Se realizaron dos talleres participativos que incluyeron un análisis FODA y un análisis institucional a los productores encuestados. El taller FODA se realizó con el propósito de determinar las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del grupo de productores y la realización del análisis institucional con el propósito de ver la relación que existe entre las instituciones que trabajan en la zona de estudio y los productores.

El primer taller participativo (FODA y análisis institucional) se realizó en la localidad de Santa Cruz debido a que en esta localidad se encontraron la mayor cantidad de los productores encuestados y además que las distancias entre esta y las demás localidades son más cercanas, lo que facilitó la participación de los productores de la cuenca alta.

Posteriormente se realizó el segundo taller (FODA y análisis institucional) en la localidad de El Carmen, la cual esta ubicada en la cuenca media del Río Turrialba.

El taller FODA consistió en identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la comunidad. Para ello se explicó el concepto y se dio ejemplos de cada variable del FODA. Seguidamente se repartió tarjetas de cartulina de un color diferente para cada variable, donde los productores colocaron a criterio de ellos mismos las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Seguidamente, después de terminar el FODA, se realizó el análisis institucional mediante la metodología del diagrama de Venn, el cual sirve para conocer sobre las organizaciones y grupos activos que trabajan en la comunidad.

Con la ayuda de las tarjetas de cartulina, se pidió a los productores que colocaran los nombres de las instituciones que ellos consideran que tienen relación con sus comunidades. Seguidamente los productores determinaron cuales instituciones tenían mayor participación en la comunidad, colocando las tarjetas con nombres de instituciones o grupos activos en la pizarra. Las instituciones que tenían mayor participación en la comunidad se colocaron más cerca de un círculo que se colocó al centro de la pizarra la cual simbolizaba la comunidad. Las tarjetas con nombres de instituciones que se colocaron más cerca al círculo fueron las instituciones que tenían mayor relación con la comunidad, mientras que las que se colocaron más lejos fueron las instituciones que menos relación tenían con la comunidad.

En el taller participativo que se realizó en la localidad de Santa Cruz, se tuvo la participación de doce productores, y el que se realizó en El Carmen contó con la participación de 5 productores.

3.3.4. Procesamiento de información secundaria

Se realizó la identificación y sistematización a partir de información secundaria (Estudios del MAG y del ICE) de los principales problemas y potencialidades de la cuenca alta del Río Turrialba. El análisis se basó en identificar las causas consecuencias y posibles soluciones a los problemas.

Posteriormente esta información fue corroborada con los datos obtenidos en los talleres participativos y las encuestas realizadas en las comunidades de El Carmen y Santa Cruz, ubicadas en la cuenca media y alta del río Turrialba.

3.3.5. Determinación de la infiltración con el doble cilindro (Tipo inundado)

Como marco muestral se tomó a todos los productores que han sido seleccionados por el ICE y el MAG los cuales conforman dos grupos que están ubicados en las comunidades de El Carmen y Santa Cruz, pertenecientes a la cuenca media y alta del Río Turrialba.

En base a la lista de productores del marco muestral, se realizó una estratificación de los 47 productores que fueron encuestados (figura 2). Se estratificó en cuatro grupos, basándose en la cobertura vegetal que tenía cada productor dentro de la finca; los productores que tenían pasto de corte, pasto de piso, suelo agrícola y charral.

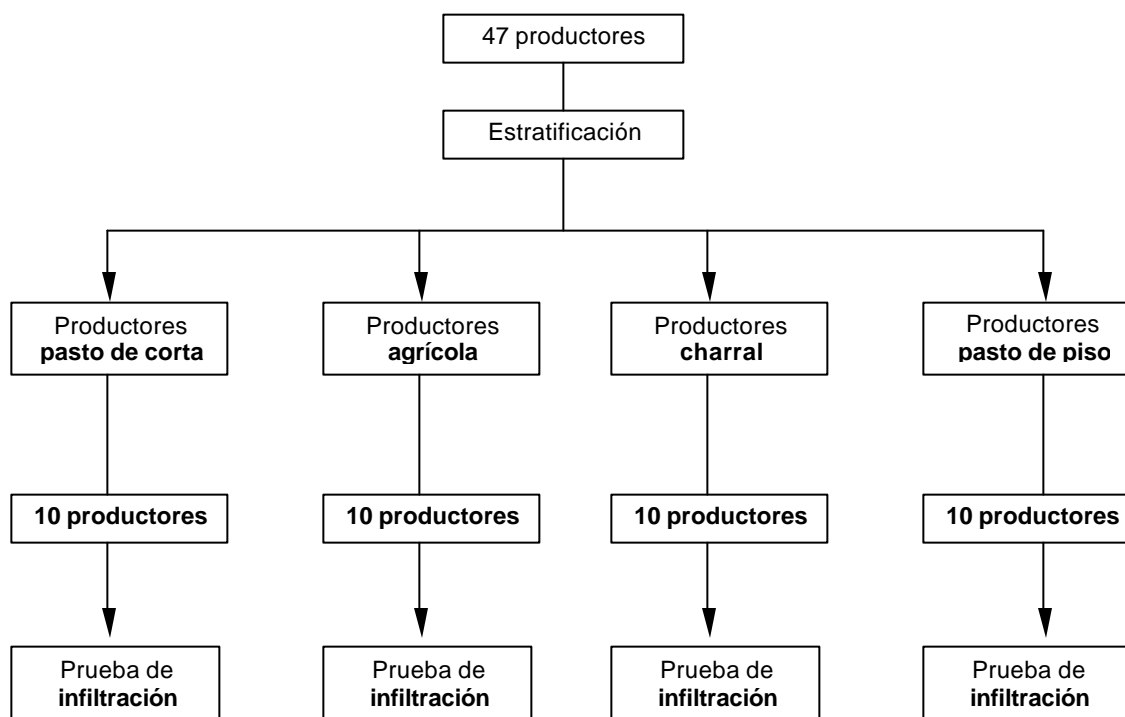


Figura 2. Estratificación de los productores para realizar las pruebas de infiltración.

Seguidamente se escogieron al azar 10 productores dentro de cada estrato, los cuales fueron elegidos para realizar las pruebas de infiltración en sus respectivas fincas.

Las pruebas de infiltración se realizaron por el método citado por Black, C.A. (ed.). 1965. Methods of Soil Analysis. Part I. American Soc. of Agronomy, Inc. Madison Wisconsin.

Los siguientes materiales se emplearon para realizar las pruebas de infiltración:

~~///~~ **Cilindro metálico;** se utilizaron dos cilindros metálicos con una altura de 20 cm, el primero con un diámetro de 30 cm y el segundo con 40 cm. Estos cilindros fueron construidos con acero suave y con un espesor de aproximadamente 2 mm con el propósito de minimizar la fricción al penetrar el suelo y a la vez que sea resistente para soportar los golpes del martillo.

~~///~~ **Martillo:** se utilizó un martillo de 8 libras de peso, con un mango de madera de 45 cm de largo.

~~///~~ **Recipientes de agua:** se utilizaron 10 recipientes de agua de 5 galones y dos baldes de 10 litros.

~~///~~ **Reloj:** se utilizó un reloj que se pudo leer con aproximación de un segundo.

~~///~~ **Regla milimetrada:** se utilizó una regla milimetrada de 30 cm.

~~///~~ **Trozo de madera:** el trozo de madera que se utilizó fue de 7 x 7 x 50 cm

El procedimiento para realizar la prueba de infiltración se menciona a continuación:

~~///~~ Se seleccionó cuidadosamente un lugar donde no existiera alteración física del suelo, deposiciones de animales o piedras que puedan impedir la penetración del cilindro.

~~///~~ Se colocó el cilindro verticalmente y se penetró firmemente en el suelo con la ayuda del martillo y el trozo de madera. El cilindro de 30 cm de diámetro se colocó a una profundidad de 10 cm. Luego el cilindro de 40 cm de diámetro "buffer" se colocó alrededor del primero a la misma profundidad.

~~///~~ Se marcó el cilindro interno (30 cm) a los 10 cm y 20 cm, desde la base del cilindro

Se llenó el buffer (cilindro externo) a una altura de 5 cm de agua y se mantuvo este nivel durante toda la medición. Inmediatamente después se colocó agua dentro en el cilindro interno hasta llegar a los 10 cm de altura desde el suelo. A partir de este momento se cuantifica la cantidad de agua agregada en el cilindro interno a intervalos de tiempo determinados para mantener una altura de agua constante de 10 cm.

Se mantuvo una carga de agua constante, aproximadamente al minuto 1, 4, 6, 11, 21, 36, 46, 61, 76, 91 y 121 minutos de manera que se tuvo que cuantificar la cantidad de agua agregada en el cilindro interno en los intervalos de tiempo antes mencionados. Posteriormente se tabuló y graficó los resultados de infiltración.

A continuación se muestran el número de repeticiones de las pruebas de infiltración, textura y densidad aparente (D.A.) para cada suelo con diferente cobertura vegetal evaluada:

Cuadro 3. Número de repeticiones de pruebas de infiltración, textura, D.A. y pendiente en las diferentes coberturas.

Repeticiones	Charral	Agrícola 1	Agrícola 2	Pasturas	
				Corta	Piso
Pruebas de infiltración	10	4	6	10	10
Textura	10	10	10	10	10
Densidad Aparente	10	10	10	10	10

3.3.5.1. Características de los suelos con diferentes coberturas vegetales

Agrícola 1: es un suelo que tenía menos de dos meses de haber sido arado y rastreado para la siembra de hortalizas; las pruebas de infiltración se realizaron en la época de siembra de este cultivo.

Agrícola 2: suelo cubierto por cultivos de ayote, maíz y repollo, con más de dos meses de haber sido arado y rastreado para la siembra; al momento que se realizó la prueba de infiltración ya habían sido cosechados e iban a entrar a ser preparados para la siembra. Cabe mencionar que estos cultivos han sido desmalezados con herbicidas y se mantuvieron limpios (suelo desnudo) durante toda la época de producción.

Charral: suelos con cobertura arbórea, remanentes de bosques riparios, los cuales han sido pastoreados también con ganado vacuno en años anteriores. Todos los sitios muestreados de charral estaban ubicados cercano a los ríos.

Pasto de corta: suelos cubiertos principalmente por King Grass y Taiwán (*Pennisetum purpureum*) e Imperial (*Axonopus scoparius*). Tienen en promedio dos años de haber sido dedicados a este uso, donde se realizó la preparación de terreno, mediante un pase de arado.

Pasto de piso: el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) fue la cobertura vegetal para el pasto de piso, aquí; el ganado pastorea encima de ella, quedando los suelos muy pisoteados.

3.3.5.2. Procesamiento de la información referente a infiltración

3.3.5.2.1. Infiltración acumulada

Para el cálculo de la infiltración acumulada (h), la información de cada cilindro infiltrómetro es registrada en una tabla, donde está la información de la cantidad de agua añadida en diferentes periodos de tiempo. La infiltración acumulada viene a ser la cantidad total de agua que se colocó dentro del cilindro infiltrómetro en el tiempo que duró la medición.

3.3.5.2.2. Velocidad de infiltración

Para la determinación de la velocidad de infiltración, se relaciona los intervalos de tiempo con la infiltración acumulada, luego se obtienen los logaritmos de estas dos variables y se corre una regresión lineal. Con esta operación se obtiene los coeficientes de C (antilogaritmo del intercepto) y b (pendiente), ahora conociendo estos dos coeficientes, se puede calcular el coeficiente (K) y el exponente (n).

La velocidad de infiltración (I) viene dada por las relaciones:

$$I = K T^n \quad K = 60Cb \quad n = b - 1$$

I = Velocidad de infiltración instantánea (L / T)

T = Tiempo (minutos)

K = Es la constante que representa la velocidad de infiltración para T = 1

n = Es la pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

3.3.5.2.3. Infiltración básica

La infiltración básica se determinó mediante la ecuación de Kostiakov, es decir, el valor de la cantidad de agua infiltrada cuando ésta en el tiempo se vuelve constante.

3.3.6. Medición de la textura

Para la determinación de la textura del suelo se tomaron muestras en el mismo sitio donde se realizó la prueba de infiltración, a un radio de 20 cm del infiltrómetro doble y a una profundidad de 15 cm para todas los muestreos. Las muestras de suelo se tomaron con la ayuda de un barreno, tomando de tres puntos alrededor del infiltrómetro, con el propósito de homogeneizar la muestra.

Posteriormente se determinó la textura en el laboratorio del CATIE por el método de Bouyucos.

3.3.7. Medición de densidad aparente

Los muestreos de densidad aparente (DA) al igual que las muestras de textura se tomaron en el mismo sitio donde se realizaron las pruebas de infiltración, siendo estas a un radio de 20 cm del infiltrómetro doble. Para la toma de muestra del suelo se utilizó un anillo con un volumen de 68.71 cm³, el cual se penetró en el suelo a una profundidad de 6 cm, tratando de no disturbar la muestra.

Posteriormente se llevó al laboratorio de CATIE donde se determinó la DA por el método del cilindro con volumen conocido.

3.3.8. Identificación de los principales sitios de aporte de erosión y sedimentos en la cuenca del Río Turrialba.

Primeramente se hizo una escala de valores de riesgo a erosión (1,2,3,4,5), siendo el valor 1: **muy bajo riesgo**, el valor 2: **bajo riesgo**, el valor 3: **regular riesgo**, el valor 4: **alto riesgo** y el valor 5: **muy alto riesgo** a la erosión.

Para la identificación de los principales sitios de riesgo a erosión dentro de la cuenca del Río Turrialba, se utilizaron los mapas de uso actual del suelo, precipitación, suelos y el mapa de pendientes. Toda esta información fue tomada del centro de sistemas de información geográfica del CATIE.

3.3.8.1. Escala de riesgo a erosión para el mapa de uso actual del suelo.

Se reclasificó el mapa de uso actual del suelo (anexo 5) perteneciente a la cuenca del Río Turrialba, en cinco coberturas principales (figura 3), que tienen similar riesgo a erosión.

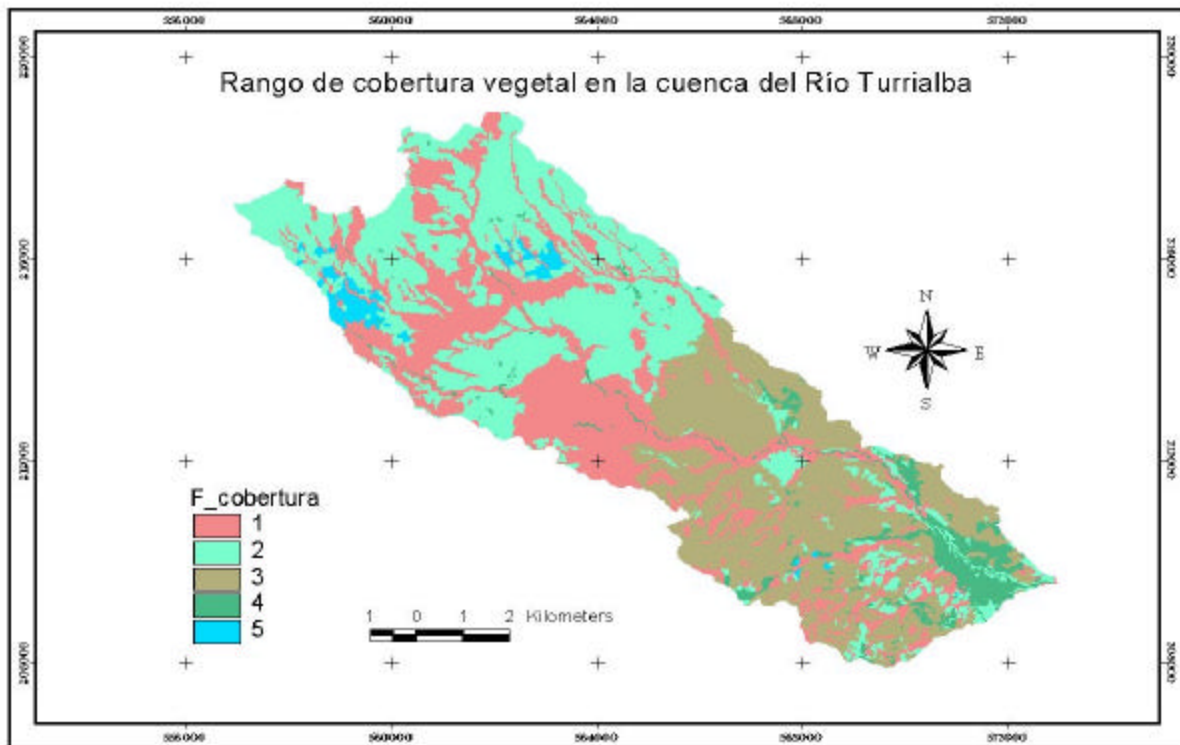


Figura 3. Escala de riesgo a erosión para las diferentes categorías de cobertura vegetal de la cuenca del río Turrialba.

Las coberturas vegetales de categoría 1, representan bosques y plantaciones forestales y se encuentran ubicadas básicamente en la parte alta de la cuenca del Río Turrialba, lo que nos indica que es la zona menos intervenida de la cuenca.

La categoría 2, corresponde básicamente a pasturas las cuales también se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Turrialba, debido a que esa zona es dedicada a la ganadería lechera y de doble propósito.

Las coberturas vegetales de categoría 3, corresponden a los cultivos de caña y café, estando ubicado en la parte media y baja de la cuenca, debido a las buenas condiciones climáticas que presentan estas áreas para la producción de estos cultivos agrícolas.

La categoría 4 es básicamente para la zona habitacional, la cual ocupa principalmente la ciudad de Turrialba y los poblados que se encuentra en el eje de la carretera.

La cobertura hortalizas es la que menos área ocupa dentro de la cuenca del Río Turrialba y pertenece a la categoría 5 (mayor riesgo a erosión) debido al tiempo que los suelos están desnudos, además de las continuas labranzas que se realizan en estas áreas, y las fuertes pendientes de los terrenos.

3.3.8.2. Escala de riesgo a erosión para el mapa de precipitación

Se reclasificó el mapa de isoyetas con los datos de las estaciones presentes en la cuenca y cercanas a ella, en cinco categorías, donde cada categoría tenía un rango de precipitación. Posteriormente se dieron los cinco valores de riesgo a erosión desde los rangos de precipitación más bajos hasta los más altos.

La figura 4 muestra los valores de riesgo a erosión dada para los diferentes rangos de precipitación para toda la cuenca del Río Turrialba: de 2149.2 a 2531.4 mm = **valor 1**: de 2531.4 a 2913.5 mm = **valor 2**: de 2913.5 a 3295.7 mm = **valor 3**: de 3295.7 a 3677.9 mm = **valor 4** y de 3677.9 a 4060.0 mm = **valor 5**.

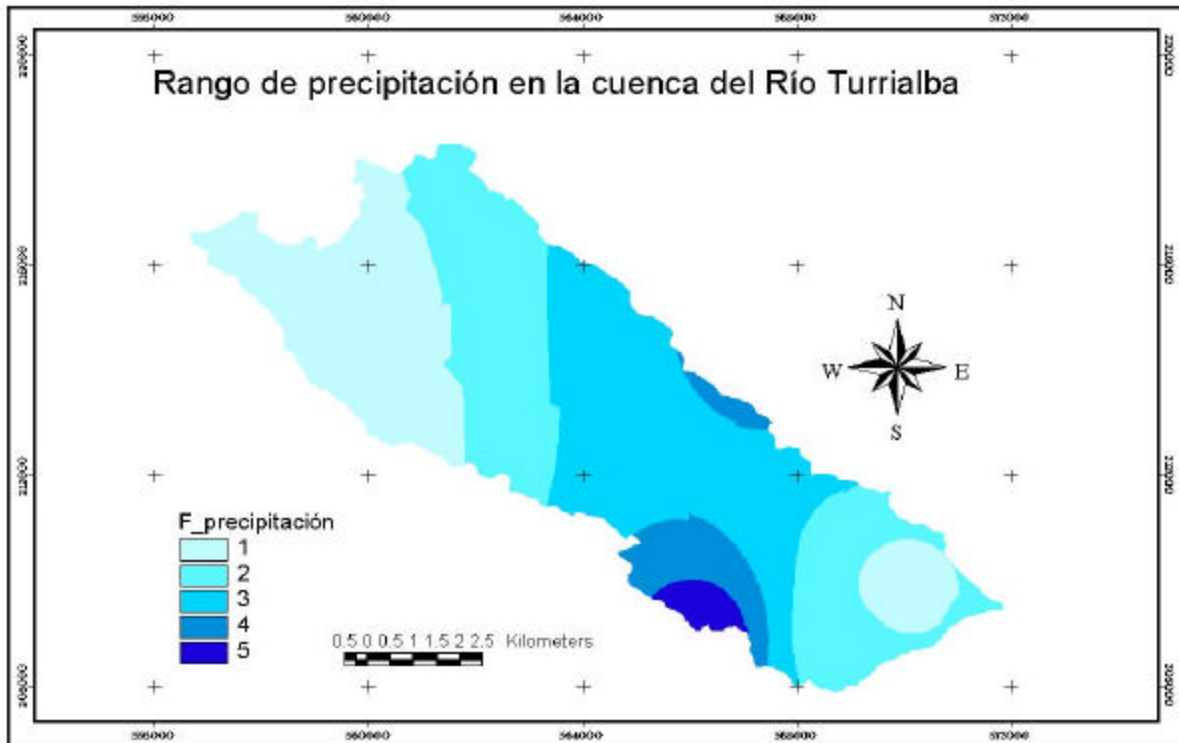


Figura 4. Escala de riesgo a erosión para el mapa de precipitación en la cuenca del Río Turrialba.

3.3.8.3. Escala de riesgo a erosión para el mapa pendientes

Con ayuda de el mapa de elevación digital, se obtuvo el mapa de pendientes en porcentaje y se reclasificó en cinco categorías al igual que el mapa de precipitación, cada categoría tenía rangos de pendientes en base al riesgo a erosión (1 a 5). La figura 5 muestra los rangos de pendientes para la cuenca del Río Turrialba. Los valores de las pendientes se dieron de la siguiente manera: **valor 1** = 0 a 3%, **valor 2** = 3 a 8%, **valor 3** = 8 a 15%, **valor 4** = 15 a 30% y el **valor 5** = 30% a más.

Los valores mayores de pendiente (valor 5) se encontraron principalmente en todos los trayectos de los ríos, y en mayor proporción en la parte alta de la cuenca. Mientras que las pendientes más bajas (valores 1 y 2) se encontraron en la parte media y baja principalmente. Las pendientes con valores 3 y 4 se encuentran en toda la cuenca del Río Turrialba, sin embargo existe una mayor proporción en la parte alta.

El hecho de que la mayoría de las pendientes fuertes se ubiquen en la parte alta de la cuenca y mas pendientes más bajas se ubiquen en la parte baja ocurre debido a que la cuenca del Río Turrialba se encuentra ubicada en las faldas del volcán que lleva el mismo nombre.

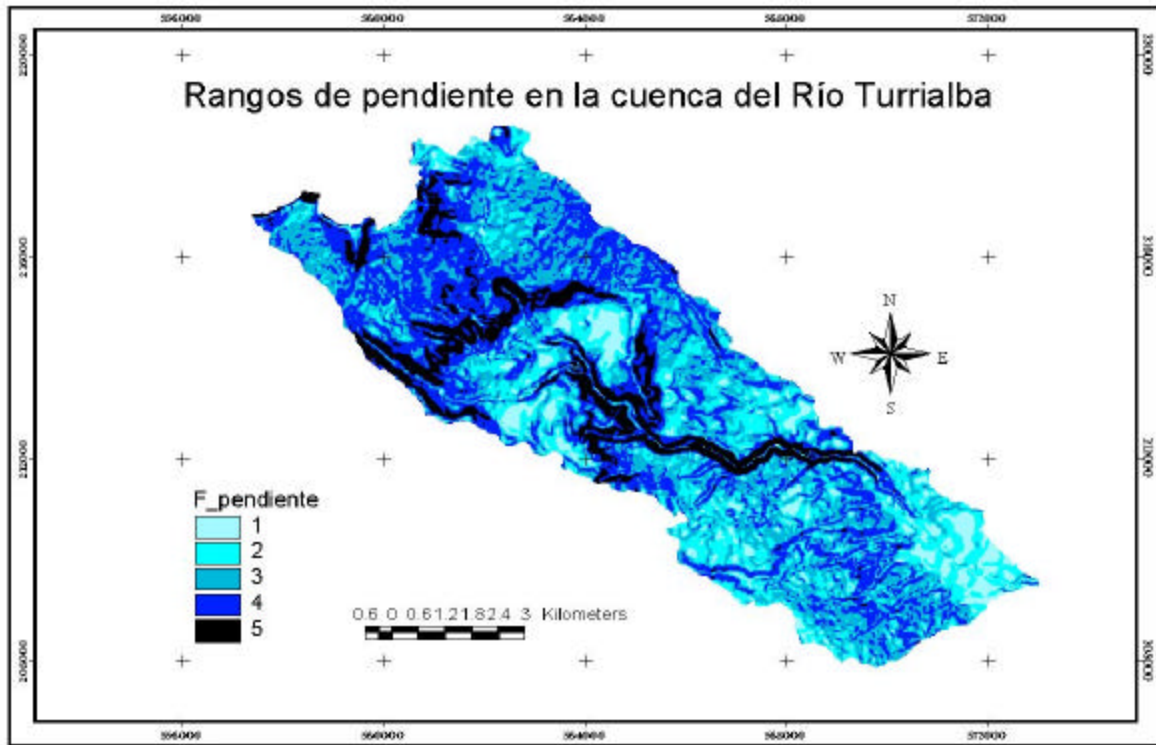


Figura 5. Valores de riesgo a erosión para las diferentes pendientes en la cuenca del Río Turrialba.

3.3.8.4. Escala de riesgo a erosión para el mapa de suelos.

Por último, se tomó el mapa de suelos y se le dio solamente dos valores de riesgo a erosión (1 y 5) debido a que el mapa de suelos de la cuenca del Río Turrialba no presentaba muchos detalles.

Se dieron valores de 1 para los suelos pertenecientes a las familias troporthent, haplohumult y eutropept y valores de 5 para los suelos dystrandept, esto debido a que los primeros poseen características como texturas y densidades aparentes menos susceptibles a erosionarse, mientras que los segundos poseen texturas y densidades aparentes más livianas.

El factor suelo fue la variable donde no se dieron categorías de riesgo a erosión 2, 3 y 4, debido a que no se obtuvo un mapa detallado de suelos para la cuenca del Río Turrialba, por lo que se tuvieron que dar solamente dos valores de riesgo (1 y 5).

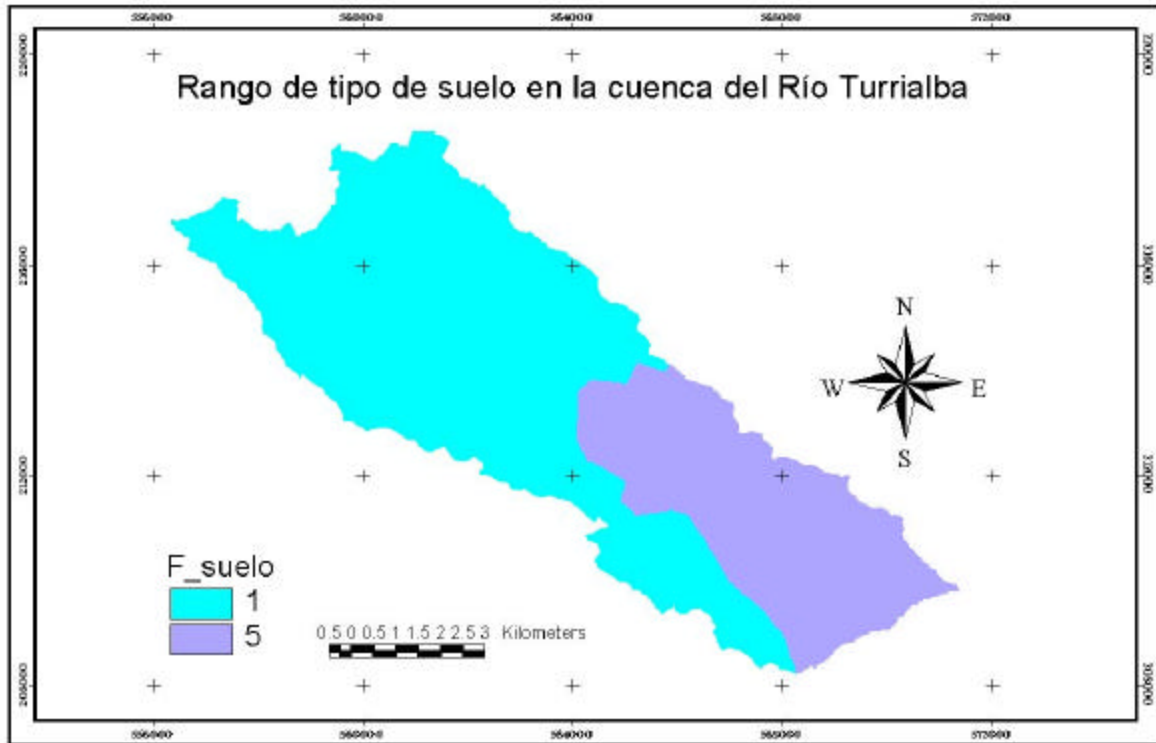


Figura 6. Valores de riesgo a erosión para los tipos de suelos en la cuenca del Río Turrialba

Seguidamente se dieron pesos (%) a los diferentes mapas, en base a la importancia que juega cada uno de ellos en el proceso de erosión. A continuación se muestra en el cuadro 4, los pesos dados para cada mapa.

Cuadro 4. Mapas utilizados para obtener el mapa de riesgo a erosión.

Mapas procesados para obtener el mapa de riesgo	Pesos atribuidos que afectan el proceso de erosión
Isoyetas (precipitación)	0.20
Uso actual	0.25
Suelos	0.20
Pendientes	0.35
Total	100%

Posteriormente, mediante la extensión Model Builder del Arc View se realizó el siguiente modelo con los diferentes mapas (isoyetas, uso actual, suelos y pendientes) para determinar el riesgo a erosión dentro de la cuenca del Río Turrialba.

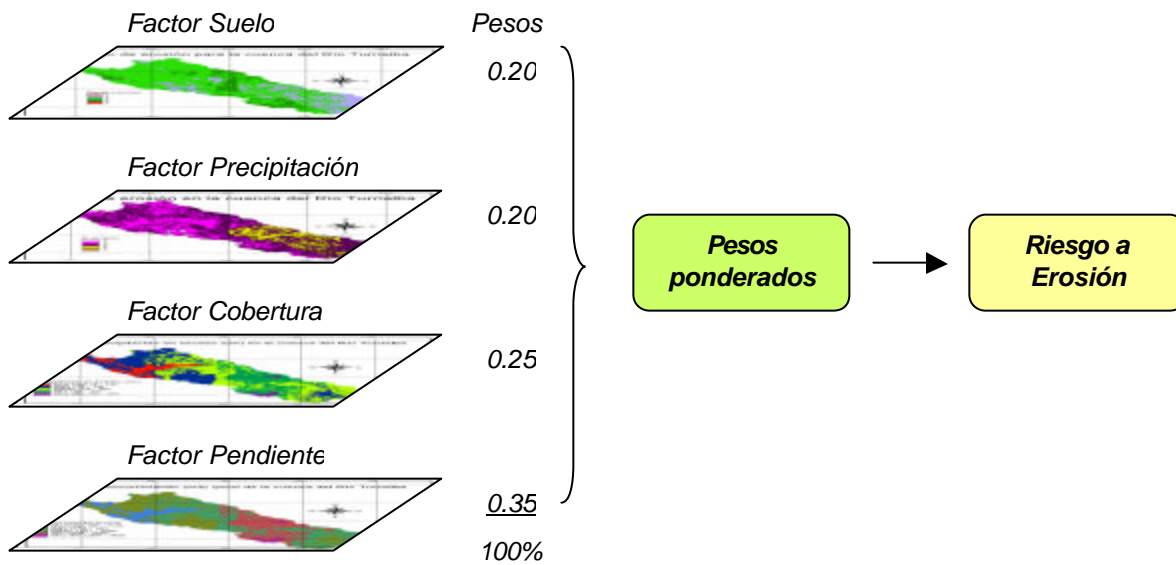


Figura 7. Cruzamiento de los pesos de los diferentes mapas para la obtención del mapa de riesgo a erosión para la cuenca del Río Turrialba.

3.3.9. Determinación de la escorrentía superficial de la cuenca del Río Turrialba en función al uso actual del suelo con ayuda de SIG.

Se realizó con el método de abstracciones del servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, desarrollada en 1972.

Para la determinación de la escorrentía de la cuenca del Río Turrialba se utilizaron los mapas de cobertura vegetal (uso actual), mapa de suelos y el mapa de isoyetas (precipitación).

Los mapas de isoyetas, cobertura vegetal y el mapa de suelos fueron obtenidos de la base de datos de la oficina de sistemas de información geográfica de CATIE.

3.3.9.1. Cálculo del Número de Curva

Primeramente se reclasificó el mapa de suelos en base a su capacidad de drenaje, para asignarles diferentes grupos hidrológicos (figura 8). Para la cuenca del Río Turrialba se asignaron tres grupos hidrológicos B, C y D.

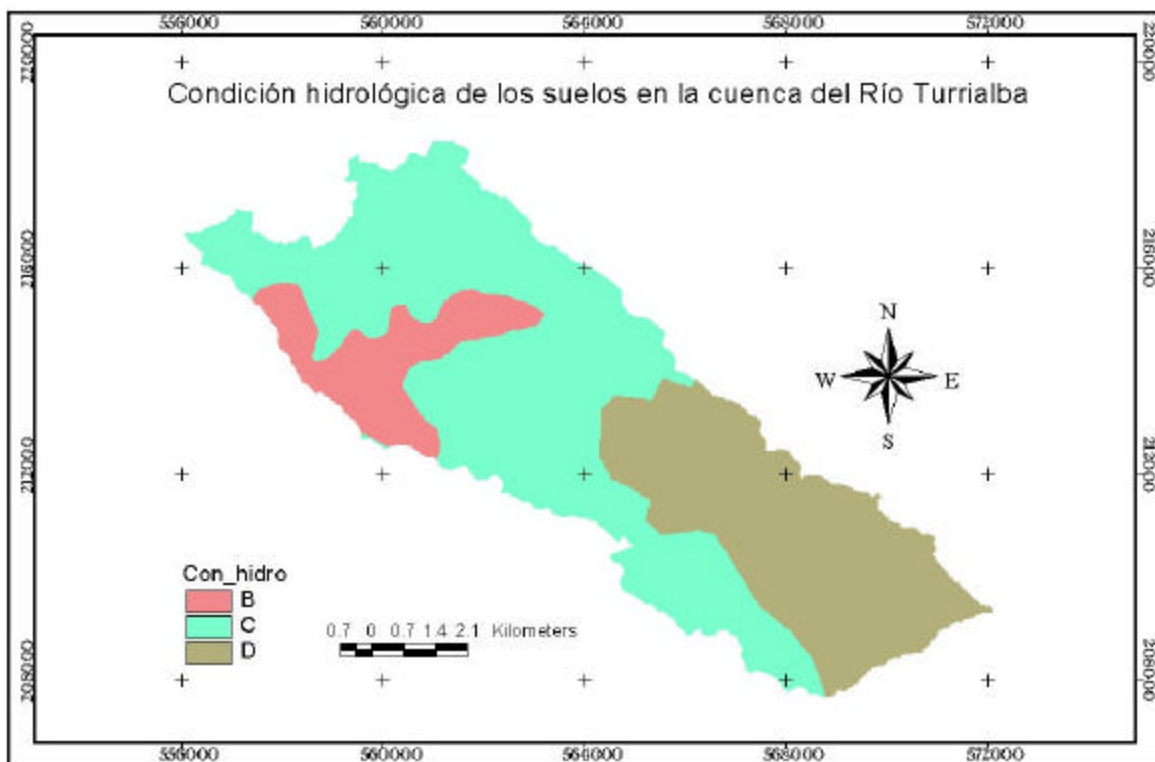


Figura 8. Condición hidrológica de los suelos en la cuenca del Río Turrialba.

Según SCS – USDA (1972) existen cuatro grupos hidrológicos (A, B, C, D) los cuales agrupan a todos los tipos de suelos existentes.

Grupo A. Suelos muy permeables: suelos muy permeables, suelos arenosos profundos. Suelos con bajo potencial de escorrentía y buena capacidad de infiltración. No se dio esta clasificación a ningún tipo de suelo presente en la cuenca del Río Turrialba.

Grupo B. Suelos permeables: suelos franco arenosos, suelos arenosos superficiales. Suelos con tasas moderadas de infiltración y moderada producción de escorrentía. Se asignó este grupo hidrológico a suelos ubicados en la parte alta de la cuenca del Río Turrialba.

Grupo C. Suelos impermeables: suelos franco arcillosos, suelos franco arenosos superficiales. Presentan una tasa baja de infiltración y es posible que tengan una capa subterránea que impiden el flujo normal del agua a través del perfil. Se asignó a la mayor parte de la cuenca esta clasificación hidrológica.

Grupo D. Suelos muy impermeables: suelos arcillosos expansivos, suelos franco arcillosos superficiales. Presentan tasas de infiltración muy baja. En la cuenca del Río Turrialba se asignó esta condición hidrológica a suelos ubicados especialmente en la parte baja de la cuenca.

El mapa de uso actual del suelo (anexo 5), fue utilizado en combinación con el mapa de grupos hidrológicos de los suelos, para lo cual se utilizó una tabla de valores de número de curva propuesta por el SCS – USDA (1972). Los valores obtenidos de número de curva para las coberturas de uso actual con buen y mal manejo agronómico se presentan en el cuadro 5 y 6 respectivamente.

Se obtuvieron dos mapas de Número de curva figura 9 y 10. Se dieron valores óptimos de manejo agronómico para la cobertura de uso actual y valores con mal manejo agronómico. Los valores altos de número de curva indican que existe una mayor cantidad de escorrentía en ese terreno y por lo tanto menor capacidad de infiltración de agua, mientras que valores menores de número de curva indican menor escorrentía y por lo tanto mayor capacidad de infiltración.

Cuadro 5. Valores de NC con buen manejo agronómico de las coberturas.

Uso actual del suelo (Buen manejo agronómico de la cobertura vegetal)	Grupos hidrológicos de los suelos de la cuenca del Río Turrialba		
	B	C	D
Bosque	55	70	77
Café puro	78	85	89
Café sombra	No existe	82	86
Caña	No existe	82	86
Cauce	98	98	98
Habitacional	90	90	90
Hortalizas	78	85	89
Japah (jardines y parques)	61	74	80
Pasto Puro	61	74	80
Pasto sombra	35	70	79
Plafor (plantaciones forestales)	55	70	77
Sabana	61	74	80
Suelo café (recién removido)	No existe	85	89
Suelo caña (recién removido)	No existe	82	86
Suelo hortalizas (recién removido)	78	85	89
Suelo pasto (recién removido)	No existe	74	80

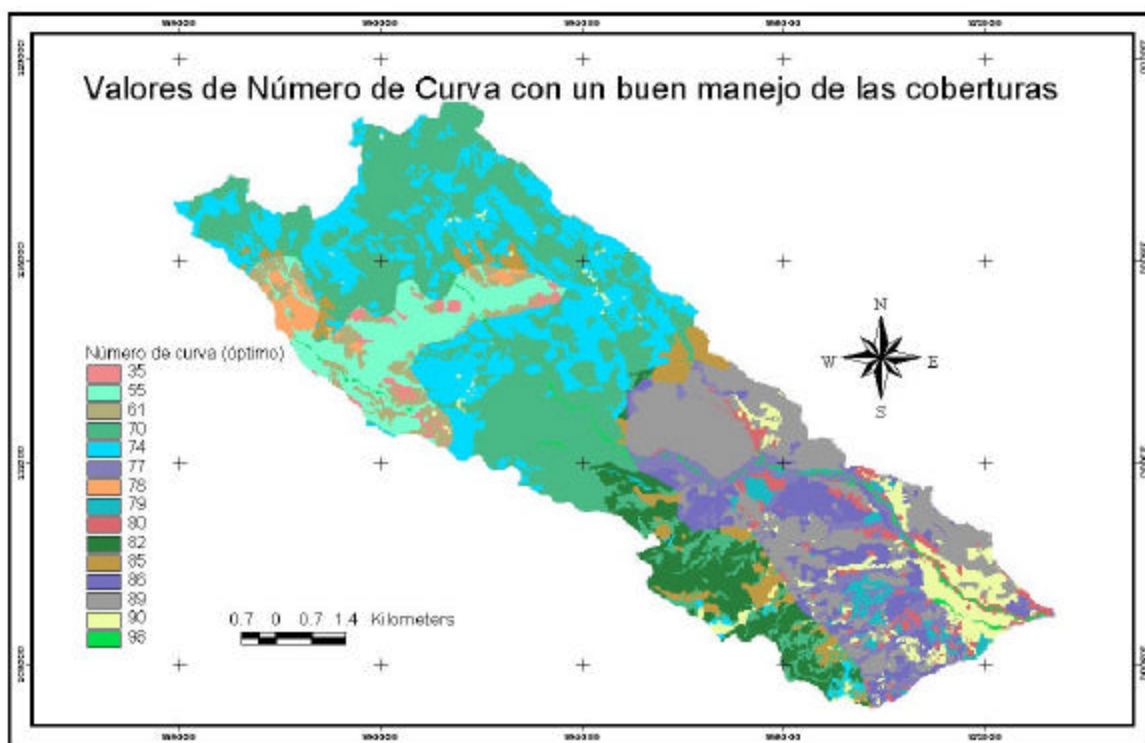


Figura 9. Mapa de Número de Curva con buen manejo agronómico de las coberturas.

El cuadro 6 presentan los valores de Número de Curva para la cuenca del Río Turrialba con mal manejo agronómico de las coberturas de uso actual del suelo.

Cuadro 6. Valores de NC con mal manejo agronómico de las coberturas.

Uso actual del suelo (Mal manejo agronómico de la cobertura vegetal)	Grupos hidrológicos de los suelos de la cuenca del Río Turrialba		
	B	C	D
Bosque	66	77	83
Café puro	81	88	91
Café sombra	No existe	84	88
Caña	No existe	84	88
Cauce	98	98	98
Habitacional	90	90	90
Hortalizas	81	88	91
Japah (jardines y parques)	79	86	89
Pasto Puro	79	86	89
Pasto sombra	67	81	88
Plafor (plantaciones forestales)	66	77	83
Sabana	79	86	89
Suelo café (recién removido)	No existe	88	91
Suelo caña (recién removido)	No existe	84	88
Suelo hortalizas (recién removido)	81	88	91
Suelo pasto (recién removido)	No existe	86	89

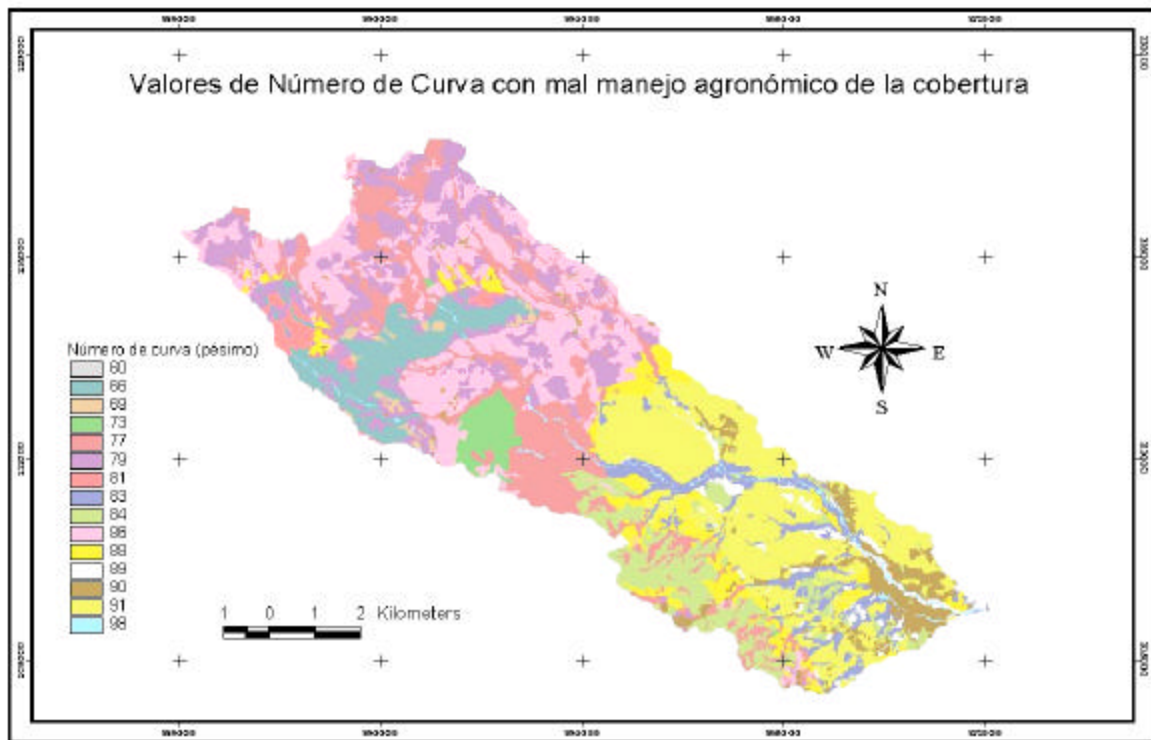


Figura 10. Mapa de Número de Curva con mal manejo agronómico de las coberturas.

3.3.9.2. Cálculo del factor de precipitación (P) mapa de isoyetas

Para el cálculo de las precipitación se recopiló datos de los últimos 10 años de las estaciones meteorológicas ubicadas en toda la cuenca del Río Turrialba. Se diseñó una base de datos en Excel con los valores promedios anuales.

Esta base de datos se guardó en formato “dbf” y luego la misma fue insertada al programa Arc View mediante el comando “Add Even Theme” del menú “View”. Seguidamente se generó un mapa en formato “grid” para obtener cuadrículas de iguales dimensiones (28.5 x 28.5m).

3.3.9.3. Cálculo de la precipitación en Exceso (P_e)

La estimación de la precipitación en exceso se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación 1, y con la ayuda de Arc View empleando la herramienta “Map Calculator”.

$$P_e = \frac{((P*NC) + (5.08Asgrid * NC) - (508Asgrid))^2}{(NC * ((P*NC) - (20.32Asgrid *NC) + (2032Asgrid)))} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

NC = Número de curva (mapa)
P = Precipitación (mapa)
P y P_e están en cm.

El resultado de la ecuación anterior nos brinda un mapa de rangos de precipitación en exceso en toda la cuenca del Río Turrialba en cm/año.

3.3.9.4. Cálculo del caudal promedio

Se utilizó el mapa de precipitación en exceso y con la ayuda de la herramienta “Map Calculator” se aplicó la ecuación N° 2:

$$Q = P_e * (28.5)^2 / 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Q = caudal (m³ / píxel / año)
28.5 = dimensión del lado del grid
100 = convertir de centímetros a metros

Seguidamente, al mapa de caudal, fue utilizado para obtener una sumatoria de todos los “grid” de la cuenca del Río Turrialba los cuales contenían caudales. Seguidamente, con la ayuda de la herramienta “Sumarize Zones” de Arc View y un mapa de la cuenca del Río Turrialba, el cual contenía solamente el área total, se procedió a calcular el caudal total de la cuenca.

3.3.10. *Proposición y análisis de factibilidad de prácticas tecnológicas*

Para las propuestas de prácticas tecnológicas para la cuenca media y alta del Río Turrialba, se tomó como información base el análisis de la encuesta socioeconómica aplicada a los 47 productores encuestados, análisis de los dos talleres FODA, pruebas de infiltración en cuatro diferentes tipos de coberturas (pasto de piso, pasto de corta, agrícola y charral) e información secundaria brindada por el MAG e ICE, los cuales ayudaron a complementar la información generada en el presente estudio.

Se elaboró una lista de posibles alternativas tecnológicas (lluvia de ideas) de las posibles recomendaciones tecnológicas para la zona en estudio. Cada recomendación se sometió a un escrutinio exigente y objetivo, donde se detalló las ventajas y desventajas de cada recomendación. Finalmente se priorizó y seleccionó las recomendaciones que serán presentadas a los productores.

Las propuestas tecnológicas presentadas minimizan el riesgo a erosión y son de bajo costo de implementación, con lo que se pretende que sean bastante adoptable por parte de los productores.

3.3.11. *Determinación de la disposición de los productores a realizar cambios en el uso de la tierra*

Para determinar si los productores de la cuenca media y alta del Río Turrialba están dispuestos a realizar cambios en el uso de la tierra (adoptar nuevas prácticas tecnológicas) se aplicó la metodología de planificación agroforestal de fincas elaborada por (Somarriba y Calvo 2004).

Este ejercicio se realizó en la comunidad de Santa Cruz, donde se entrevistaron a un total de 6 productores líderes de la comunidad en sus respectivas fincas. La evaluación se

realizó en la comodidad de sus casas donde se evaluó la disposición de los productores a realizar cambios en el uso de la tierra.

Una vez enunciada con claridad y detalle la recomendación, se califican sus atributos utilizando una escala de 1 (mínimo) y 5 (máximo). Se muestran a continuación los atributos que fueron evaluados, los cuales explican buena parte de la tasa de adopción de una práctica tecnológica:

Superioridad: fuerte ventaja comparativa de la recomendación de cambio y uso de la tierra sobre la situación inicial.

Compatibilidad: de la recomendación con las características del finquero, del sistema de producción donde se implementarán, con la disponibilidad de recursos etc.

Simplicidad: de la recomendación.

Factibilidad: de implementar o experimentar la recomendación a baja escala, bajo costo y bajo riesgo.

Observabilidad: de los resultados del experimento.

Debido a que los atributos antes mencionados no son de igual importancia para todos los productores, ya que para un productor el criterio de simplicidad puede ser más importante que la observabilidad de los resultados, otro productor puede dar mayor importancia a la superioridad. Entonces esta variabilidad en las preferencias y actitudes pueden capturarse en el análisis de adoptabilidad de las recomendaciones tecnológicas, asignando pesos a los atributos. Los pesos de los atributos se miden en una escala continua entre 0 y 1.

Entonces:

$$V_a = \sum (W_{ia} C_{ia}), \text{ donde } i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (\text{Ec. 3})$$

V_a = Valor de la recomendación.

W_{ia} = Pesos (escala 0 – 1) asignado al atributo “i”

C_{ia} = Calificación al atributo “i”

El cuadro 7, muestra los valores dados para una práctica tecnológica la cual tiene un valor de recomendación máximo. Los números en negrita son las calificaciones y los pesos asignados para cada atributo.

Cuadro 7. Calificaciones y pesos demostrativos para evaluar adoptabilidad de tecnologías.

	Peso (0-1)	Tecnología propuesta				
		Calificación				
<i>Superioridad</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Compatibilidad</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Simplicidad</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Factibilidad</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Observabilidad</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Valor</i>	1	1	2	3	4	5
<i>Probabilidad</i>	1	1	2	3	4	5

Entonces:

$$V_a = ((5 \times 1) + (5 \times 1) + (5 \times 1) + (5 \times 1) + (5 \times 1)) = 25 \quad (\text{Ec. 4})$$

Notar que $0 < V_a = 25$. El valor máximo se obtiene cuando todos los atributos son igualmente importantes (1 en todos) y se califican con valor 5 a cada atributo (máxima superioridad, máxima compatibilidad, máxima observabilidad, máxima simplicidad y máxima factibilidad). La estimación de la probabilidad de adopción de la recomendación tecnológica se estimó de la siguiente manera:

$$P_a = 100 \times (V_a / 25) \quad (\text{Ec. 5})$$

$P_a =$ Probabilidad de adopción de la recomendación tecnológica.

Si tomamos los valores de recomendación de la ecuación 4, tendremos un 100% de probabilidad de adopción de la tecnología por parte de los productores.

$$P_a = 100 \times (25 / 25) = 100\% \text{ adopción}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificar y analizar los principales problemas y potencialidades de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

4.1.1. Tipología de los productores de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

Para determinar si existen diferentes tipos de productores, y de esta manera poder identificar y analizar los principales problemas y potencialidades de la zona, se realizó un análisis de “cluster”. En este análisis se incluyó 47 fincas (se excluyó una atípica) y 27 variables, de las cuales 13 fueron cualitativas y 14 fueron cuantitativas. Se formaron tres grupos de productores (Figura 11). En el primer cluster se encontraron 23 fincas, en el segundo 4 fincas y en el tercero, 20 fincas. Las fincas que integran el primer y tercer cluster pertenecen a las comunidades de Santa Cruz, La Pastora, Las Virtudes, Calle Vargas y Calle Leiva, las cuales se encuentran ubicadas en la parte alta de la cuenca a excepción de 4 fincas que se encuentran en las comunidades de El Carmen y San Rafael, ubicadas en la parte media de la cuenca que pertenecen al cluster 2. Trece componentes principales explican el 90% de la variabilidad de los datos (anexo 1).

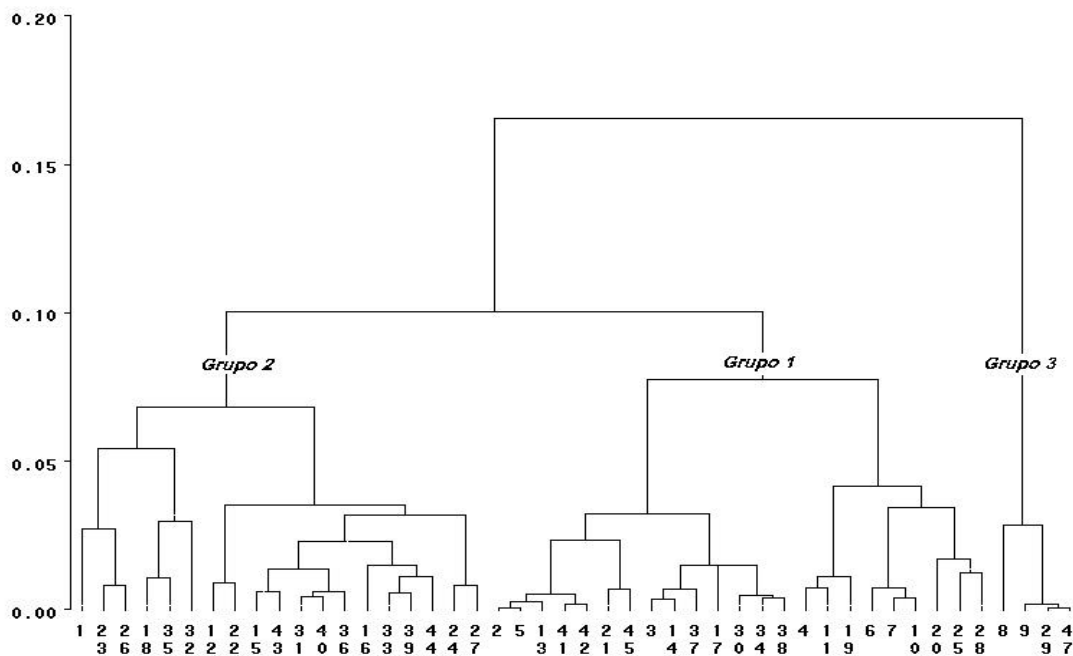


Figura 11. Dendrograma de la clasificación de fincas en base a las variables socioeconómicas y del sistema de producción en fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba, Costa Rica.

En el cuadro 8 se muestran las principales variables del sistema de producción que contribuyeron a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

Las variables que más contribuyeron para diferenciar los grupos estuvieron relacionadas al sistema de producción y con la economía de la finca (actividad de la cual depende el productor, que tipo de producto vende y el número de vacas que tiene en el hato), los cuales explican el 21.7% del total; ocho variables netamente del sistema de producción (producción de leche, área de la finca, área de la principal pastura y tipo de pastura) que explican el 11.3% y las variables (años dedicado a la producción, existencia del pasto de corta, fertilización del pasto de corta y tenencia de pasto kikuyo) que explica el 10.8%.

Cuadro 8. Principales variables del sistema de producción que contribuyen a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

Variables	Grupos de productores		
	1	2	3
Promedio del área de pasto de piso predominante (ha)	3.3	0.5	7.0
Fertilizan los pastos de piso (%)	83.0	25.0	100.0
Promedio de N° de apartos para rotar el ganado	32.0	0.0	41.0
Promedio del número de vacas en ordeño	11.0	0.0	19.0
Tenencia de vacas raza Holstein (%)	39.0	0.0	16.0
Tenencia de vacas raza Jersey (%)	96.0	0.0	89.0
Tenencia de vacas raza Guensey (%)	43.0	0.0	68.0
Actividad ganadera (%)	91.0	0.0	100.0
Venta de leche (%)	17.0	0.0	15.0
Venta de queso (%)	82.0	0.0	84.0
Venta de otros productos (%)	0.0	100	0.0

En el primer grupo de productores (cluster N.º 1), el 91% depende de la actividad ganadera (ganado de leche), un 17% de ellos se dedica a la venta de leche, 82% procesa la leche y venden queso. En cuanto a la raza de ganado que manejan, tienen en mayor proporción la raza Jersey (96%), seguido de Guensey (43%) y Holstein (39%), todas de producción lechera. Tienen en promedio 3.3 ha de pasto de piso, un 83% de ellos fertiliza sus pasturas y tienen en promedio 11 vacas en ordeño. Este grupo es muy similar al tercer grupo de productores, ya que no comercializan otro producto que no sea derivado de la leche, sin embargo el área promedio de pasturas es de menor tamaño comparado con el grupo 3 (cuadro 8).

Las fincas que integran el primer y tercer cluster según la clasificación de Holdridge pertenecen a la zona de vida, Bosque Pluvial Montano, ya que presenta temperaturas que oscilan entre 15 a 19 °C, humedad relativa de 85% a más, y con precipitaciones de 3000 a 3200 mm anuales (MAG 2001).

Los suelos de estas zonas se caracterizan por pertenecer al orden de los andisoles, originados a partir de erupciones y cenizas volcánicas, con texturas francas y débil estructura (MAG 2001).

Los factores que más influyen en que estos productores (cluster 1 y 3) se dediquen a este tipo de actividad, son las buenas condiciones de temperatura de esta zona, la cual es muy apta para el desarrollo de ganado lechero (raza Holstein, Jersey y Guensey), el poseer suelos fértiles (andisoles) lo que hace que tengan buena producción de pasturas y la demanda de productos lácteos durante todo el año es constante, ya sea por medio de intermediarios o que la venta la realicen directamente en el mercado local de Turrialba.

De tal manera, que el desarrollo económico se basa en la actividad lechera, la cual representa una de las principales fuentes de ingreso y empleo en la zona (cluster 1 y 3) (MAG 2001). Cabe mencionar que el auge del queso producido en esta zona conocido como “queso tipo Turrialba” ha alcanzado una popularidad a nivel nacional que es uno de los factores que los motiva a los productores a seguir en la producción lechera y a mejorar el nivel de tecnificación de sus sistemas de producción.

El segundo grupo de productores (cluster N.º 2), poseen sistemas de producción diferentes a los productores del grupo 1 y 3, ya que ellos no dependen de la actividad ganadera, por lo que tienen en promedio, 0.5 has de pasturas, lo cual es muy común en esta zona. Estos productores dependen de la venta de productos diferentes a la leche y sus derivados, están dedicados principalmente a las actividades agrícolas (Cuadro N.º 8), siendo el café de la variedad robusta (*Coffea canephora*) uno de los principales cultivos que se siembran en esta zona, debido a la temperatura y altitud que son propicias para el desarrollo de este cultivo, y los beneficios cafetaleros presentes en esta zona, los cuales acopian todo el café producido de la cuenca media del Río Turrialba.

Por otro lado, consideran que no existe ningún apoyo en lo que respecta a asistencia técnica, capacitación de alguna institución por la actividad que realizan y que no hay la posibilidad de conseguir préstamos y tienen un apoyo mínimo de la organización a la que pertenecen (cuadro N.º 9). Cabe mencionar que la organización a la que pertenecen estos productores es la misma institución a la cual pertenecen los productores del grupo 3, los cuales consideran que tienen un apoyo regular por parte de esta.

El tercer grupo de productores (cluster N.º 3), caracterizado por ser netamente ganadero, ya que el 100% de ellos se dedica a esta actividad, posee áreas de pasturas de piso e promedio de 7.0 has, de los cuales el 100% de ellos realiza fertilización, poseen un mayor número de apartos (41) para rotar al ganado comparado con el grupo 1, un mayor número de vacas en ordeño (19) y las principales razas son Jersey (89%), seguidas de Guensey (68%) y Holstein (16%) y un 84% produce queso mientras que solo un 15 se dedica a la venta de leche (Cuadro N.º 8).

Al poseer en promedio mayor área de terreno para la cría de ganado comparado con los productores del grupo 1, tienen la capacidad de tener un mayor número de vacas en ordeño debido a que existe mayor cantidad de forraje para alimentación del ganado y un mayor número de apartos para la rotación de los mismos. Esto trae consigo una mayor producción de productos lácteos por finca y un mejor ingreso económico. Además pueden realizar un mejor manejo tecnológico en lo referente a fertilizaciones continuas de las pasturas, tenencia de pastos forrajeros de corta y por lo tanto mayor producción de leche y derivados comparados con los productores del grupo 1.

Este último grupo considera que existe un apoyo regular para los siguientes factores; apoyo de la institución a la cual ellos pertenecen, asistencia técnica y facilidades de crédito (cuadro 9). Consideran también que han recibido algo mínimo de entrenamiento para laborar en la actividad a la que se dedican.

En el cuadro 9 se muestran las principales variables tecnológicas que contribuyeron a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba, donde se siguió una escala ascendente siendo 1 = muy malo, 2 = malo, 3 = regular, 4 = bueno y 5 = muy bueno.

Cuadro 9. Principales variables tecnológicas que contribuyen a diferenciar las fincas de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

Variables	Grupos de productores		
	Calificación (1 = muy malo, 2 = malo, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = muy bueno)		
	1	2	3
Asistencia técnica (%)	1.0	1.0	2.1
Capacitación de alguna institución por su actividad (%)	1.2	1.0	1.6
Facilidades de crédito (%)	1.4	1.0	2.5
Entrenamiento recibido (%)	1.0	1.0	1.6
Apoyo de la organización que pertenece (%)	1.3	1.2	2.2

Las variables tecnológicas influenciaron de manera positiva en mayor proporción en los productores del grupo tres (100% ganaderos), seguidos del grupo uno (91 % ganaderos) y por último los productores del grupo dos (100% agrícolas).

Los productores del grupo uno y tres (ganaderos) recibieron mayor apoyo en el aspecto tecnológico debido a que el desarrollo económico de esas zonas (cuenca alta) se basa en la actividad lechera. Por lo que empresas como la Dos Pinos (empresa de productos

lácteos) y distribuidoras de agroquímicos principalmente, capacitan a estos productores con el fin de que aumenten su producción y así estas empresas puedan adquirir de ellos, un producto de mayor calidad y a la vez poder comercializar en mayor cantidad sus productos.

Sin embargo, los productores del grupo dos (100% agrícolas) no han recibido este tipo de asistencia técnica, debido a que la mayoría de ellos cultiva principalmente café y actualmente el precio del café en el mercado internacional es muy bajo, por lo que muchas empresas cafetaleras han quebrado y compañías de agroquímicos que anteriormente se dedicaba a asesorar y vender productos para el café se han retirado de la zona.

Esto está incentivando que estos productores cambien sus actividades productivas por otras actividades que les brinde mejores beneficios y en un corto plazo, tal como hortalizas, implementación de invernaderos para la siembra intensiva de Tomate (*Lycopersicon esculentum*) y Chile Dulce (*Capsicum sp*) principalmente.

4.1.2. Taller de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

En el cuadro 10, se presentan las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las comunidades de Las Virtudes, La Pastora, Santa Cruz y Calle Leiva ubicadas en la cuenca alta del Río Turrialba.

Cuadro 10. Principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las localidades de Santa Cruz, Las Virtudes, La Pastora y Calle Leiva pertenecientes a la cuenca alta del Río Turrialba.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> /// Buenos suelos (fértiles) para la producción. /// Algunas fincas trabajan con abonos orgánicos. /// Hay buena cantidad y calidad de pastos. /// Baja presencia de enfermedades en los hatos. /// Buenas carreteras. /// Apoyo del ICE, MAG e INA. /// El proyecto de Sanidad Animal (MAG) apoya a algunos productores en la vacuna de animales. /// Los bancos del estado (Crédito de Cartago) les ayuda con créditos. /// La mayoría de productores dueños de las tierras. /// La finca genera trabajo para la familia. /// Muchos conocimientos adquiridos para la producción de generaciones anteriores. /// Tienen una organización de productores. 	<ul style="list-style-type: none"> /// Presencia de las enfermedades (aunque sean pocas), los costos de curación son altos. /// Algunos productores desearían sacar otras variedades de queso pero no existen los canales de comercialización para esos productos. /// Terrenos con mucha pendiente. /// En algunas ocasiones, no se toman las precauciones (mal manejo del hato) para enfrentar la estación lluviosa. /// Algunos caminos internos son muy malos hay que mejorarlos. /// Falta de ingresos para ampliar el hato. /// Necesidades de nuevas tecnologías. /// Mayor cantidad de equipos para ordeño y mejora de pasturas.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> /// Que se pueda llegar a manejar la tecnología de semiestabulación. /// Vender el producto directamente en el mercado /// Hay facilidades de crédito. /// Con las características de las fincas se podría cambiar la producción de ganado a agricultura. /// Se está trabajando en el proyecto de reconversión (Asociación y Consejo Nacional de Producción), que les va a ayudar a mejorar la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> /// Bajos precios para los productos. /// Altos precios para los insumos y concentrados. /// Que en el futuro los precios de los productos sigan bajos y los precios de los insumos sigan altos. /// La estación lluviosa que en algunas ocasiones dañan los terrenos. /// Los tratados de libre comercio. /// Hacia futuro no poder tener el hato libre de enfermedades. /// Que haya sobreproducción de quesos. /// Dificultad de acceso al crédito. /// No obtener el dinero de los programas del estado. /// Dependier de un producto (Queso o leche) /// Entrada de leche que no es producida en la zona (por ejemplo de coronado).

En el cuadro 11, tenemos las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las comunidades de El Carmen y San Rafael ubicadas en la cuenca media del Río Turrialba.

Cuadro 11. Principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las localidades de El Carmen y San Rafael pertenecientes a la cuenca media del Río Turrialba.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> /// Presencia de queseras en la zona lo que ayuda a comercializar la leche /// Buenas carreteras /// Pasteras fertilizadas con abono orgánico /// Buena cantidad y calidad de producción /// Experiencia acumulada que les ayuda a mantener la producción /// Tienen sistemas de producción bien consolidados 	<ul style="list-style-type: none"> /// Bajos precios del producto (leche y queso) /// Falta de asistencia técnica, en el manejo del sistema de producción (sanidad animal) /// No poder ahorrar capital para superar las épocas en que el producto no se vende o tiene bajo precio. /// Falta de una organización que comercialice el producto /// Falta de cooperación entre los productores
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> /// Mejorar el hato /// Implementación de mejores tecnologías para obtener buenas pasturas /// Mejorar instalaciones para poder almacenar pastos /// Proyecto de abonos orgánicos y biodigestores MAG - ICE 	<ul style="list-style-type: none"> /// Altos precios de los insumos (especialmente concentrados) /// Inviernos muy fuertes /// Enfermedades /// Sobreoferta de leche en el mercado /// Problemas de mercado por las fluctuaciones de los precios. No se mantiene un precio fijo. /// Malas experiencias con organizaciones y cooperativas. /// Hay interés en cambiar de actividad pero no hay opciones ni apoyo (asistencia técnica y capacitación).

Las comunidades de la cuenca media (El Carmen y San Rafael) y alta del Río Turrialba (Las Virtudes, La Pastora, Santa Cruz y Calle Leiva), presentaron las siguientes fortalezas en común: suelos fértiles (andisoles), buena producción de pasturas, uso de abonos orgánicos, carreteras principales en buen estado y que tienen la suficiente experiencia y conocimiento en la actividad que ellos realizan.

Las oportunidades en común que presentan estas comunidades es básicamente que existan alternativas de implementación de nuevas tecnologías para el mejor manejo de la finca especialmente en época de invierno, ya que en esta época la producción de pasturas declina y consecuentemente la producción de leche y queso, afectando negativamente la economía familiar del productor de la cuenca alta. Mientras que, para

los productores de la cuenca media del Río Turrialba, la implementación de nuevas tecnologías contribuiría al aumento de la productividad y la producción agrícola.

En cuanto a las debilidades del sistema de producción de estas dos zonas, la falta de asistencia técnica y el no poder aumentar su capital de trabajo, fueron las variables que presentaron en común. Sin embargo estas variables afectaron con mayor fuerza a los productores de la cuenca media, debido a que los precios de la principal actividad agrícola de esa zona (café) están bajos y no es rentable actualmente la producción de este cultivo.

Bajos precios del mercado para los productos, elevado precio para los insumos, estaciones lluviosas muy fuertes, riesgo al estancamiento de los precios de los productos e incremento constante de los precios de los insumos para el sistema de producción de las fincas, fueron las amenazas que tuvieron en común las comunidades de la parte media y alta de la cuenca del Río Turrialba.

4.1.3. Análisis institucional de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

4.1.3.1. Análisis institucional de las comunidades Las Virtudes, La Pastora, Santa Cruz y Calle Leiva pertenecientes a la cuenca alta del Río Turrialba.

Este Análisis se realizó con el propósito de aprender sobre las organizaciones y grupos activos que trabajan en la comunidad, y como los productores las visualizan. En la siguiente figura podemos observar la relación que tienen las diferentes instituciones que participan en las comunidades de la cuenca alta del Río Turrialba.

En la figura 12, podemos apreciar que los productores de la cuenca alta del Río Turrialba, consideran que las instituciones como el Ministerio de Salud, Caja de Seguro Social, Bancos Nacionales y privados, ICE, MAG, MOPT e INA, trabajan relativamente cerca con la comunidad, y que existe una interacción entre ellos, ya que son las instituciones que tienen relación con los productores. Sin embargo consideran que la Municipalidad es una de las instituciones que menos interactúa con ellos, y que no hay un apoyo hacia los productores por parte de esta, por lo que no existe una buena comunicación entre productores y Municipalidad.

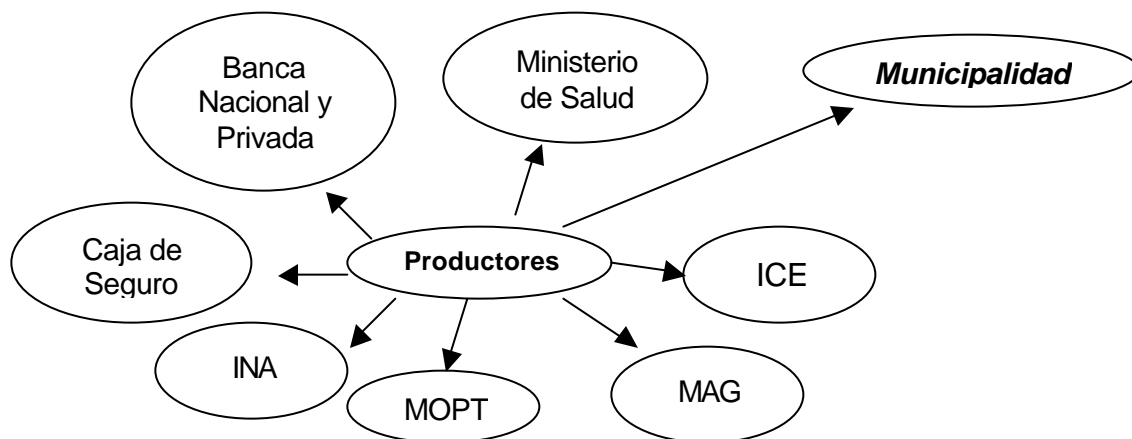


Figura 12. Organización social de la cuenca alta del Río Turrialba (diagrama de Venn).

Cabe mencionar que pueden existir otras instituciones gubernamentales o privadas trabajando en la zona, sin embargo los productores no consideraron mencionarlas ya que ellos manifestaron que no existe ninguna interacción o relación con el sistema de producción y comercialización que ellos manejan.

4.1.3.2. Análisis institucional de las comunidades El Carmen y San Rafael pertenecientes a la cuenca media del Río Turrialba.

La figura 13, muestra que las instituciones como el ICE, Ministerio de Salud, MOPT y la Asociación de Productores, están más relacionados con los productores. Sin embargo la percepción de los productores para con la Municipalidad, MAG, Caja de Seguro Social y el INA es que éstas instituciones tienen poca presencia en la zona y no existe una interacción de trabajo o servicio entre ellos.

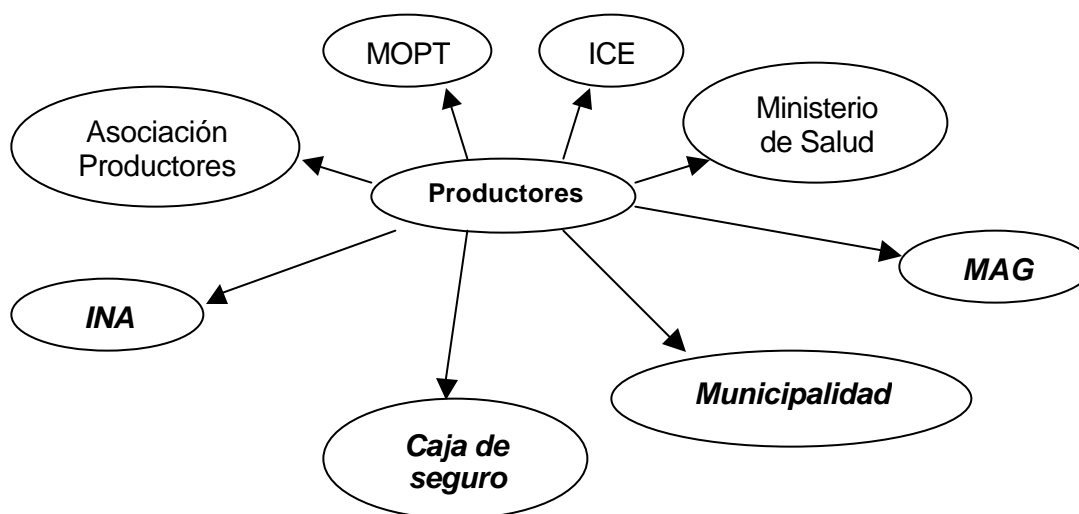


Figura 13. Organización social de la cuenca media del Río Turrialba (diagrama de Venn).

Las instituciones u organismos que a percepción de los productores, están presentes en las comunidades de la cuenca media (El Carmen y San Rafael) y alta (Las Virtudes, La Pastora, Santa Cruz y Calle Leiva) del Río Turrialba, son el ICE, Ministerio de Salud y el MOPT. Cabe mencionar que estas tres instituciones son gubernamentales, y que solo una de ellas (ICE a través del proyecto de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón) ejecuta proyectos con los productores de estas zonas, los cuales tienen como objetivo el mejoramiento del sistema de producción y utilización óptima de los desechos de las fincas para evitar un exceso de contaminación en los afluentes de agua.

El Ministerio de Salud mantiene un servicio continuo en la comunidad ya sea a través de campañas de vacunación o fumigaciones de las casas para evitar contraer enfermedades riesgosas. El MOPT por su lado mantiene en buenas condiciones las principales vías de transporte, lo que beneficia el acarreo de productos desde la finca hacia el lugar de comercialización.

4.1.4. Evaluar el efecto de los diferentes usos de la tierra (charral, hortalizas, pasto de piso y pasto de corta) en el comportamiento de la infiltración de la cuenca media y alta del Río Turrialba.

El cuadro 12, presenta los valores de CIB promedio y para cada uno de los sitios muestreados, en las cuatro coberturas evaluadas. En este cuadro se consideran cuatro coberturas vegetales, con 10 repeticiones cada una. Sin embargo para la cobertura agrícola se tuvo que dividir en dos: agrícola 1 para los terrenos que tenían menos de dos meses arado (cuatro repeticiones) y agrícola 2 para los terrenos que tenían más de dos meses de arado al momento de realizar la prueba de infiltración (seis repeticiones).

Mediante un andeva y análisis de contrastes ortogonales se encontró diferencias altamente significativas ($Pr < 0.0001$) de infiltración básica (anexo 4) entre todas las coberturas: agrícola vrs resto, agrícola vrs agrícola 2, charral vrs pastos, pasto de corta vrs pasto de piso.

La cobertura agrícola 1, es la que presenta los valores más altos de CIB promedio, debido a que los sitios 1, 2, 4 y 8 son los sitios con los mayores valores (32.36, 23.60, 69.50 y 16.98 cm/hora respectivamente) con un promedio de 35.61 cm/hora. Estos sitios fueron arados y rastreados para el establecimiento de hortalizas, estando en la época de siembra de este cultivo cuando se realizaron las pruebas de infiltración.

Cuadro 12. Valores del coeficiente de infiltración básica (C.I.B.) para las cuatro coberturas evaluadas; agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso.

Coberturas	Sitios de muestreo										Promedio (C.I.B) cm/hora
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Agrícola 1 < 2 meses	32.36	23.60	–	69.50	–	–	–	16.98	–	–	35.61
Agrícola 2 > 2 meses	–	–	3.63	–	1.06	1.12	1.21	–	3.27	3.93	2.37
Charral	5.66	5.83	8.91	18.91	4.33	5.94	8.00	20.64	10.10	6.74	9.51
P. corta	2.52	1.96	4.12	3.57	5.25	2.37	2.53	2.95	8.86	2.42	3.65
P. piso	0.90	0.27	0.24	0.04	0.75	0.50	–	0.71	0.16	0.10	0.41

Sin embargo los sitios 3, 5, 6, 7, 9 y 10 estaban cubiertos por cultivos de ayote, maíz, maíz, repollo, ayote y ayote respectivamente. Estos sitios tenían más de dos meses de haber sido arado y rastreado para la siembra y al momento que se realizó la prueba de infiltración ya habían sido cosechados e iban a entrar a ser removidos nuevamente. Cabe mencionar que estos cultivos han sido desmalezados con herbicidas y se mantuvieron limpios (suelo desnudo) durante toda la época de producción.

La diferencia del C.I.B. entre las coberturas, agrícola 1 y agrícola 2, puede deberse principalmente al método de labranza que se realizó, tiempo entre el momento en que fue arado el terreno y el momento en que se realizó la prueba de infiltración además de el tiempo en que el suelo permaneció desnudo, expuesto directamente a las gotas de las lluvias. Según Burwell et al, 1968 citado por Vidal et al. (1981), los diferentes métodos de labranza pueden influenciar en la retención y movimiento del agua a través del perfil del suelo y Low citado por Vidal et al. (1981) afirma que las operaciones de labranza causan una continua reducción en los agregados de 1 a 5 mm y aumenta el número de agregados pequeños y se reduce su estabilidad al agua, sin embargo Millar citado por Vidal et al. (1981) quien trabajó con suelos derivados de cenizas volcánicas concluye que la estabilidad de los agregados no se ve afectado mayormente por el manejo que se le da a este tipo de suelos. Por último Vidal (1981) concluye que no existen diferencias significativas en la influencia de cuatro métodos de labranza para velocidad de infiltración, infiltración acumulada e infiltración básica en un suelo de origen aluvial formado a partir de roca volcánica. Por lo tanto, teniendo en cuenta que los suelos de la zona de estudio son de origen volcánico, el método de labranza que se aplicó en estas coberturas no influye mayormente en el proceso de infiltración.

Sin embargo las labranzas modifican la distribución del tamaño de los poros en la capa arable, se incrementa la capacidad del suelo para retener agua a baja succiones lo que hace que incremente la infiltración (Pla Sentis 1994 citado por Ingaramo et al 2000). Por otro lado Gurovich (1985) indica que un suelo desnudo expuesto a la acción erosiva de las lluvias y el flujo de la escorrentía superficial, hace que las partículas finas sean fijadas alrededor de las partículas mayores formándose una capa impermeable hace que se reduzca rápidamente la penetración del agua en el suelo. Entonces estos dos últimos factores (labranza y tiempo desnudo del suelo) son los factores principales que determinan la gran diferencia en los valores del C.I.B. entre la cobertura agrícola 1 y

agrícola 2. Cabe mencionar que Cardozo (1983), encontró valores de C.I.B. de 2.5 cm/hora para suelos agrícolas desnudos, valores muy similares a los encontrados en este estudio.

Los sitios muestreados bajo la cobertura de charral muestran valores más homogéneos que los sitios que están bajo cobertura agrícola y tienen el segundo promedio más alto de C.I.B. (9.51 cm/hora). Todos los sitios de charral que se muestrearon, estuvieron localizados a los bordes de los ríos de la cuenca alta del Río Turrialba. Es decir eran remanentes de bosques riparios. Según los propietarios de estos charrales, el ganado de la finca en años anteriores ha transitado esa zona, debido a la falta de pasto en las fincas y a la ausencia de una cerca.

Las razones que favorecen a que estos charrales obtengan mayores valores C.I.B. promedio (9.51 cm/hora) podría ser explicado a la continua incorporación de materia orgánica al suelo, como consecuencia de la caída de hojas y ramillas. Lo que contribuye a que su estructura sea más granular. Por otro lado el sistema radical de los árboles al descomponerse crean innumerables canalillos de material sumamente permeable, por donde penetra el agua con suma facilidad (Ministerio de Medio Ambiente 1998).

Los valores de CIB para la cobertura de pasto de corta también presentan valores relativamente homogéneos, teniéndose un promedio de CIB de 3.65 cm/hora y estando como tercer valor más alto de las cuatro coberturas. Éstos sitios estuvieron cubiertos principalmente por King Grass y Taiwán (*Pennisetum purpureum*) e Imperial (*Axonopus scoparius*). Tienen en promedio dos años de haber sido instalados, al momento de la instalación se realizó la preparación de terreno, la cual constó de un pase de arado.

Por último tenemos el valor promedio de la cobertura de pasto de piso con un CIB de 0.41 cm/hora, teniéndose para esta cobertura solamente nueve repeticiones debido a que en el sitio 7 no se pudo completar la medición por motivos de exceso de lluvia. El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) fue la cobertura para todas las pruebas de infiltración de pasto de piso, siendo muy similares los valores de CIB para esta cobertura. Cabe mencionar que para esta cobertura el ganado pastorea encima de ella quedando los suelos muy pisoteados, donde se observó charcos de agua en depresiones de los potreros en la época lluviosa.

Los valores promedios de CIB fueron mas altos en las pasturas de corte comparado con las pasturas de piso, probablemente debido a que la primera fue mecanizada hace dos años y el ganado pastorea en el terreno. Sin embargo las pasturas de piso llevan en promedio 20 años dedicados al pastoreo del ganado, sin ninguna preparación del terreno, lo que hace que este suelo se compacte mucho más y dificulte el paso del agua a través del perfil del suelo.

Según Cardozo (1983) determinó en un suelo arcilloso valores de CIB promedio de 4.8 cm/hora en una cobertura de pastizal en México, y concluye que sus resultados fueron muy altos comparados con la literatura.

De igual manera Murillo citado por Alvarado (2001) menciona que en un suelo andisol de Coto Brus en Costa Rica, dedicados a potreros por 15 años, con pendientes promedios de 30% y precipitaciones anuales promedio de 2795 mm obtuvieron una conductividad hidráulica en los primeros 5 cm de profundidad de 0.66 cm/hora. Estos resultados son muy similares a los encontrados en este estudio (0.41 cm/hora) y podemos comparar el CIB con la conductividad hidráulica ya que Martínez (1986) menciona que la velocidad de infiltración constante (CIB) se aproxima a la conductividad hidráulica. También Gurovich (1985) afirma que teóricamente en base a la definición el CIB y la conductividad hidráulica de saturación deberían ser iguales en condiciones de campo.

Todos los suelos muestreados en los diferentes sitios evaluados presentaron la misma textura (franco arenoso), como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Textura promedio y densidad aparente de los diferentes sitios para las cuatro coberturas evaluadas.

Textura	Cobertura				
	Charral	Agrícola 1	Agrícola 2	P. corta	P. piso
Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.52	0.49	0.51	0.52	0.55

En cuanto a la densidad aparente (D.A.), en promedio, la cobertura de pasto de piso presentó el valor más alto (0.55 g/cm³), seguido de la cobertura de charral y pasto de corta los cuales presentaron un valor de 0.52 g/cm³ promedio de D.A. agrícola 2 (0.51

g/cm³) y por último la cobertura agrícola 1 con un valor de 0.49 g/cm³. Sin embargo todos los valores son muy similares. Alvarado (2001) afirma que suelos jóvenes volcánicos, en las cuales predomina la alofana en el complejo de arcilla presentan densidades aparentes que varían entre 0.3 y 0.7 g/cm³. Los valores bajos de densidad aparente implican una alta porosidad a capacidad de campo (60 – 80%), sin embargo algunos valores altos pueden ser el resultado de la compactación del suelo.

La cobertura de pasto de piso presentó un 12% y 5.7% más compactación comparado con las coberturas agrícola 1 y charral, respectivamente debido al pisoteo diario del ganado para esta cobertura. Sin embargo la compactación que se da en este suelo no se debería considerar muy alta ya que Alvarado (2001) menciona que, en un suelo andisol en Alajuela, la capa superficial tuvo una densidad aparente de 0.8 g/cm³ y con una compactación máxima el valor aumentó a 0.94 g/cm³, es decir aumentó en un 17.5% más.

En la figura 14 se muestran los valores de infiltración acumulada determinadas experimentalmente en el campo a los diferentes intervalos de tiempo que se realizó la medición (1, 4, 6, 11, 21, 36, 46, 61, 76 y 91 minutos) y para las cuatro coberturas estudiadas (agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso).

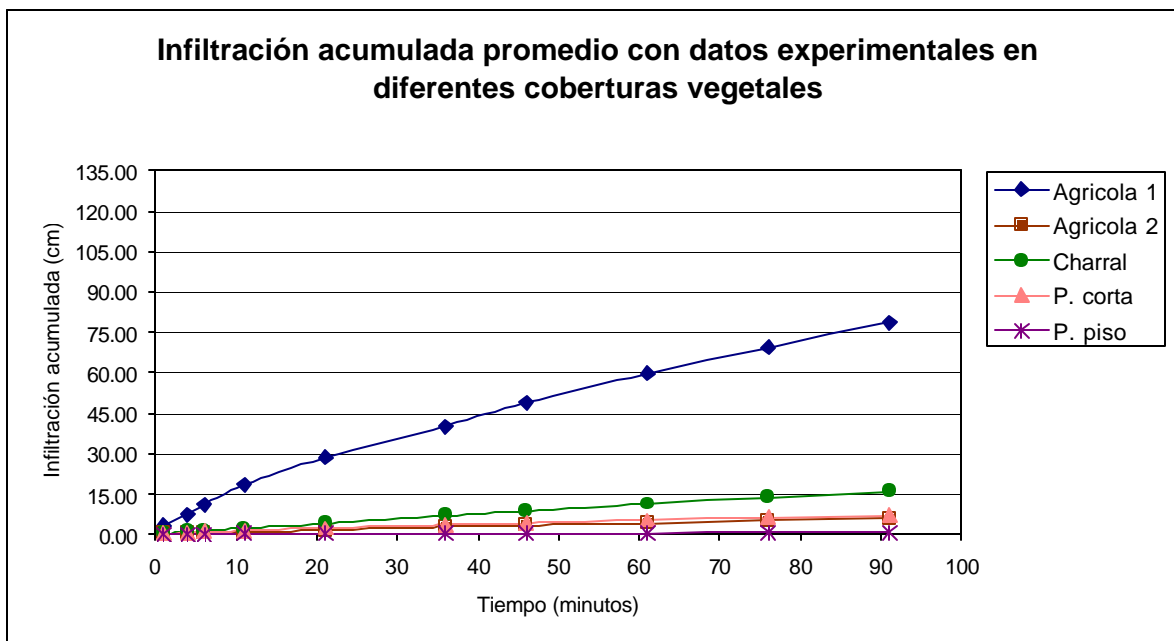


Figura 14. Infiltración acumulada promedio de las diferentes coberturas vegetales (agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso).

Se encontró diferencias altamente significativas ($Pr < 0.0001$) de infiltración acumulada (anexo 3) entre todas las coberturas: agrícola vrs resto, agrícola vrs agrícola 2, charral vrs pastos, pasto de corta vrs pasto de piso.

Se observa que los incrementos de infiltración acumulada en el tiempo, van decreciendo a medida que se va saturando el suelo, hasta que llega a ser prácticamente constante. Los incrementos de infiltración acumulada en el tiempo fueron mayores para la cobertura agrícola 1, seguida del charral, agrícola 2, pasto de corta y pasto de piso. Podría deberse a que el suelo con cobertura agrícola 1, posee un valor más alto de velocidad de infiltración (figura 15) y por lo tanto, menor resistencia al flujo del agua, comparado con los demás suelos; esto debido según Martínez (1986) a la macroporosidad del suelo, que está en función de la textura y estructura.

El suelo con cobertura de pasto de piso es en cambio, es el que tiene el flujo de agua más lento debido a que presenta el valor más bajo de infiltración (figura 5), y la densidad aparente que tiene este suelo es 12.% más alta que la cobertura agrícola 1, indicando de esta manera que es un suelo con mayor grado de compactación. A si mismo García (1996) afirma que la capa superficial compactada es una limitante del movimiento vertical del agua y se suma una limitante más que es la degradación estructural de la misma.

La cobertura charral presenta el segundo valor más alto de infiltración acumulada, debido a que esta cobertura ha sido anteriormente pastoreada con ganado vacuno, por lo que ha sufrido compactación a diferencia de los suelos de cobertura boscosa donde no se ha realizado ninguna intervención.

El suelo bajo cobertura de charral es probable que no presente buena estructura y porosidad debido a que la compactación; esto hace que se dificulte el crecimiento de raíces y por lo tanto, la formación de pequeños canalillos en el suelo, además de no presentar una vegetación abundante. Bruijnzeel (1991) menciona que a diferencias de suelos forestales no perturbados, las vías de acceso suelen tener una baja capacidad de infiltración, a veces incluso después de diez años de su última utilización.

Los suelos con cobertura de pasto de corta y agrícola 2, presentaron valores muy parecidos de infiltración acumulada, muy probablemente debido a que presentan

densidades aparentes muy similares (0.52 y 0.51 g/cm^3 , respectivamente) y a que estos suelos han sido mecanizados anteriormente para el establecimiento de la cobertura. Sin embargo el suelo con cobertura de pasto de corta se mantuvo con cobertura vegetal desde su establecimiento (2 años promedio) y el suelo agrícola 2 tiene un poco más de dos meses de haber sido mecanizado. Podemos asumir que la cobertura bajo pasto de corta se mantuvo con mejor estructura, porosidad y por lo tanto al momento de realizar la prueba de infiltración se tuvo menor resistencia al flujo del agua, muy probablemente debido al complejo de raíces que brindan estas pasturas. Ward citado por Cardozo (1983), afirma que tal vez es más importante la densidad de la cubierta vegetal que la diferencia entre el tipo de vegetación.

Por otro lado, el suelo agrícola 2, incluso teniendo mucho menor tiempo de mecanizado el terreno, presentó valores muy similares. Esto se podría explicar por el hecho de que este suelo estuvo sin cubierta vegetal (suelo desnudo), lo que ocasionó que el impacto directo de las gotas de lluvia y la meteorización afectaran la porosidad superficial del suelo, provocando que el suelo tenga menor capacidad de infiltración y consecuentemente se incremente la escorrentía superficial, trayendo consigo pérdidas de suelo.

García et al. (1996) concluye que para un suelo bajo cobertura de bosque la infiltración básica fue de 15 cm/hora llegando a reducirse a 1 cm/hora luego de 25 años de laboreo de arado y rastra, lo que generó un incremento de escorrentía con la consecuente pérdida de suelo, y pone en evidencia la importancia de la aplicación de prácticas agrícolas tendientes a la conservación de los suelos.

La figura 15, muestra las diferentes curvas de velocidad de infiltración promedio estimadas mediante la ecuación de Kostiakov, para las cuatro coberturas evaluadas. El suelo con cobertura agrícola 1 ($131.015 T^{-0.2752}$), presenta los valores más altos de velocidad de infiltración promedio, seguido del suelo con cobertura charral ($13.99 T^{-0.0867}$), suelo con cobertura de pasto de corta ($10.14 T^{-0.19972}$) suelo con cobertura agrícola 2 ($8.31 T^{-0.2702}$) y suelo con cobertura de pasto de piso ($0.66 T^{-0.1496}$).

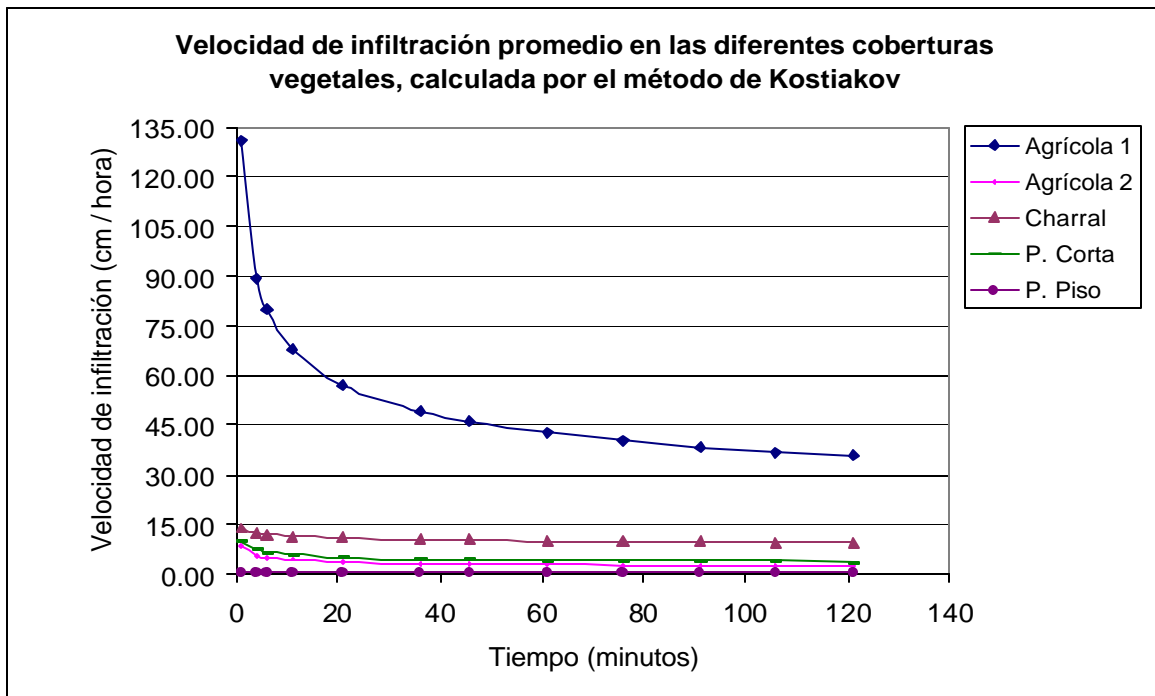


Figura 15. Velocidad de infiltración promedio de las diferentes coberturas vegetales (agrícola, charral, pasto de corta y pasto de piso), en la cuenca alta del Río Turrialba.

Para los cuatro suelos con diferentes tipos de cobertura, se observa que la velocidad de infiltración decrece a medida que el suelo se va saturando, llegando a ser constante los valores de infiltración a los 121 minutos (figura 15).

Esto concuerda con las afirmaciones de los autores Gurovich (1985) y Martínez (1986), quienes manifiestan que la disminución de la velocidad de infiltración puede ser el resultado de (al menos en parte), de un deterioro gradual de la estructura del suelo y el sellamiento parcial del perfil, por la formación de una costra en la parte superficial, o por la migración y separación de partículas del suelo que bloquean los poros de éste, además de la expansión de las arcillas y atrapamientos de burbujas de aire. Sin embargo la disminución de la infiltración se debe principalmente al gradiente de potencial (componente mátrico y gravitacional) los cuales actúan simultáneamente cuando el suelo

está seco. Luego tiende a disminuir progresivamente hasta alcanzar un valor constante el cual se llama coeficiente de infiltración básica.

Los valores de velocidad de infiltración del suelo agrícola 1, ($131.015 T^{-0.2752}$), son relativamente altos comparados con los resultados obtenidos en Chile por Vidal (1981) quien reporta velocidades de infiltración de $34.69 T^{-0.411}$, $31.86 T^{-0.408}$, $40.56 T^{-0.481}$ y $21.17 T^{-0.371}$ y densidades aparentes de 0.91, 0.91, 0.86, 0.90 g/cm³, respectivamente, para un suelo de origen aluvial formado de roca de origen volcánico, donde se aplicó diferentes métodos de labranza. Se infiere que las diferencias existentes entre los resultados obtenidos en este estudio para el suelo con cobertura agrícola 1 y los realizados por Vidal et al. (1981) se deban principalmente a los valores de densidad aparente que tuvieron esos suelos, ya que el valor más bajo de densidad aparente obtenido por Vidal et al. (1981), es 75.5 % más alto que el de la cobertura agrícola 1.

El suelo con cobertura agrícola 2, sin embargo presentó velocidades de infiltración más bajas ($8.31 T^{-0.2702}$) que los reportados anteriormente, ya que estos suelos permanecieron desnudos (sin cobertura vegetal) por más tiempo antes de realizar la prueba de infiltración. Resultados similares reporta Cardozo (1983) para un suelo desnudo, encontrando valores de $12.84 T^{-0.353}$. Ministerio de Medio Ambiente (1998) reporta valores de infiltración de 5 cm/hora en la parte superficial para una cobertura agrícola, los cuales son muy similares al suelo con cobertura agrícola 2, el cual después de 10 minutos posee una infiltración de 4.46 cm/hora.

La cobertura charral presentó un valor de velocidad de infiltración de $13.99 T^{-0.0867}$, el cual es muy similar a los reportados por Cardozo (1983), quien obtuvo valores de $12.01 T^{-0.539}$ para un matorral en México.

En cuanto a las pasturas evaluadas, el valor de la velocidad de infiltración en el suelo bajo cobertura de pasto de corta es más alto que el suelo bajo cobertura de pasto de piso. Se infiere que los pastos de piso están más compactados y por lo tanto presentan una densidad aparente más alta (0.55 g/cm³), es decir, 5% más alta que los suelos bajo cobertura de pasto de corta los cuales presentan una densidad aparente de 0.52 g/cm³. Sin embargo todos los valores de densidad aparente del presente estudio son muy

similares y característicos de suelos de origen volcánico, donde predomina la alofana en el complejo de arcilla.

4.1.5. Identificar y caracterizar los principales sitios de aporte de erosión y sedimentos en la cuenca del Río Turrialba.

En la figura 16 se muestran los principales sitios de riesgo a erosión en la cuenca del Río Turrialba. Se caracterizó cinco diferentes zonas de riesgo a erosión.

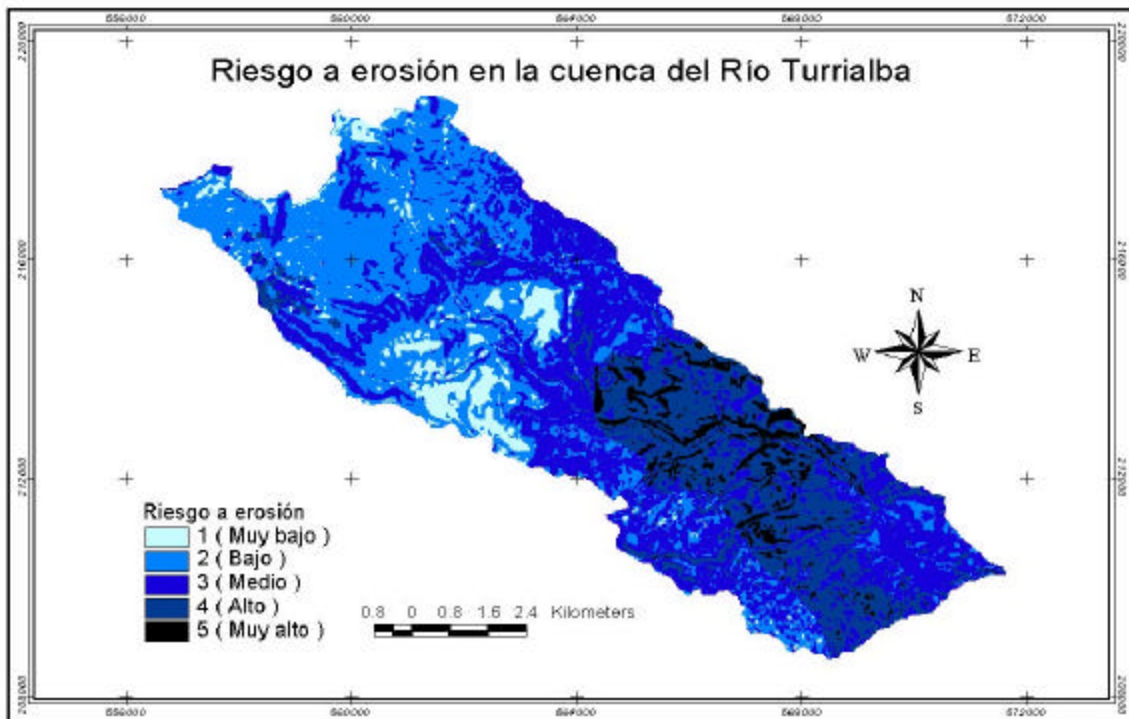


Figura 16. Riesgo a erosión en la cuenca del Río Turrialba.

La zona que presenta mayor riesgo a erosión (categoría 5) se encuentra en la parte media y baja de la cuenca del Río Turrialba ocupando un área de 2980 ha siendo un 4% del área total de la cuenca. Debido principalmente a que en esta zona se combina los mayores valores de riesgo a erosión (escala de 1 a 5) entre las diferentes vistas evaluadas (pendiente, precipitación, suelo y uso actual), mientras que las zonas que tienen el menor riesgo a erosión se encuentran en la parte media-alta de la cuenca del Río Turrialba.

La zona con mayor riesgo a erosión (categoría 5) se ubica en los márgenes de los ríos y afluentes de los mismos, y es ahí donde se combinan fuertes pendientes y escasa cobertura vegetal, además de que la cuenca del Río Turrialba al poseer grandes

diferencias de pendientes entre las nacientes de agua y las desembocaduras, hace que los caudales sean fuertes y de gran velocidad especialmente en épocas de invierno, lo que causa erosión y arrastre de sedimentos cada vez que aumenta el caudal. Además que los suelos por ser de origen volcánico presentan baja densidad aparente y por lo tanto no tienen buena estructura, lo que los hace muy susceptibles a erosionarse.

La zona que tiene riesgo de erosión con categoría 4, esta cubierta principalmente por los cultivos de café y caña y ocupa un área de 14902 ha y ocupa un 20% del área total de la cuenca, además es la zona donde existe mayor precipitación dentro de la cuenca del Río Turrialba, y fuertes pendientes. Así mismo, García (1990) manifiesta que en la cuenca del Río Turrialba existe un sistema climatológico caracterizado por tres fenómenos; efecto de Foehn, estancamiento y circulaciones locales, lo que propicia lluvias torrenciales básicamente en la parte media de la cuenca.

Según ICE (2000), la cantidad de erosión en la cuenca del Río Turrialba para cultivos perennes en ton/ha fue de 19.1 ton/ha, la cual es 7.3 veces mayor que los suelos con cobertura boscosa, 5.7 veces mayor que los suelos con coberturas de pastos y 2.8 veces que los suelos bajo cobertura de charral. Sin embargo Sánchez (1981) reporta tasas de erosión de 7.10 ton/ha para suelos bajo coberturas de pastos y 1.8 ton/ha para cafetales jóvenes, en un suelo Dystrandept de Chinchina, Colombia, con una pluviosidad promedio de 2775 mm.

La categoría 2 representa un bajo riesgo a erosión, ubicándose en mayor proporción en la parte alta de la cuenca representando un área de 24588 ha, siendo un 33% del área total de la cuenca. Estas zonas tienen coberturas de bosques y pastos, los cuales son bastante efectivos contra la erosión, ya que Morgan (1997) menciona que los bosques gracias a sus componentes aéreos, como hojas y tallos además de la hojarasca que producen, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, de modo que el efecto es menor si actuaran directamente en el suelo. Mientras que los pastos, al poseer sistemas radiculares densos, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo.

La categoría 3 abarca la mayor extensión dentro de la cuenca y nos indica un riesgo medio a la erosión y ocupa un área de 27568 ha siendo un 37% del área total de la cuenca. Estas áreas están ubicadas parcialmente en toda la cuenca del Río Turrialba, sin

embargo se concentran en mayor proporción en la parte media y baja, incluyendo la ciudad de Turrialba. Ésta se encuentra ubicada dentro de esta categoría, debido a que en esta zona existe una baja precipitación (figura 4) y leves pendientes (figura 5) aunque se encuentre con una cobertura urbana (baja capacidad de infiltración), permite que la cantidad de suelo que se arrastre de esa zona sea moderado, y se ubique dentro de esta categoría (3). Morgan (1997), considera que las tierras de ocupación humana tienen un alto riesgo de erosión, dándole un valor de 6 a las tierras con ocupación humana, dentro de una escala de 1 a 7, siendo 1, el menor riesgo a erosión y 7, el valor con mayor riesgo a erosión.

Por último se encuentra la categoría con menor riesgo a erosión (categoría 1), esta se encuentra ubicada principalmente en la parte media-alta de la cuenca, y es la zona donde se combinan las bajas precipitaciones (figura 4) y las menores pendientes (figura 5) lo que favorece que las láminas de agua causadas por la lluvia sean mínimas y al no haber fuertes pendientes la escorrentía sea menor y por lo tanto se tendrá un porcentaje mínimo de arrastre de suelo.

4.1.6. Determinar a partir del método de la curva mediante la ayuda del Sistema de Información Geográfico (SIG – Arc View) la cantidad de escorrentía producida en la cuenca del Río Turrialba.

Se obtuvieron dos mapas de escorrentía (precipitación en exceso) de la cuenca del Río Turrialba. En el primer mapa de escorrentía (figura 17), las coberturas tuvieron un mal manejo agronómico, lo que produjo una mayor cantidad de escorrentía (precipitación en exceso) y por lo tanto mayores caudales en toda la cuenca.

En el segundo mapa de escorrentía (figura 18), las coberturas tuvieron un buen manejo agronómico, donde se obtuvo menor cantidad de escorrentía y menores caudales comparados con el primer mapa.

La figura 17, muestra los rangos de precipitación en exceso de las coberturas con buen manejo agronómico en nueve categorías, desde la categoría más baja (205 – 226 cm) hasta la categoría más alta (379 – 400).

Los rangos más bajos de precipitación en exceso se encuentran en la parte alta y baja de la cuenca. Se debe principalmente a la cantidad de precipitación que se da en estas zonas (figura 4), mientras que el factor cobertura y suelo no tienen un peso importante en esta metodología (NC), debido a que las coberturas son totalmente diferentes en la parte baja y alta de la cuenca del Río Turrialba. En la parte baja se encuentra la ciudad que lleva el mismo nombre y la parte alta esta cubierta principalmente por pasturas con sombra (anexo 5), por lo que llevan diferentes valores de NC (cuadro 6). Por lo tanto, los valores de NC no modifican fuertemente la cantidad de precipitación en exceso, teniendo más importancia la cantidad de precipitación que ocurra en cada zona, por lo que el mapa de precipitación en exceso lleva una forma muy similar a los rangos de precipitación de la cuenca (figura 5).

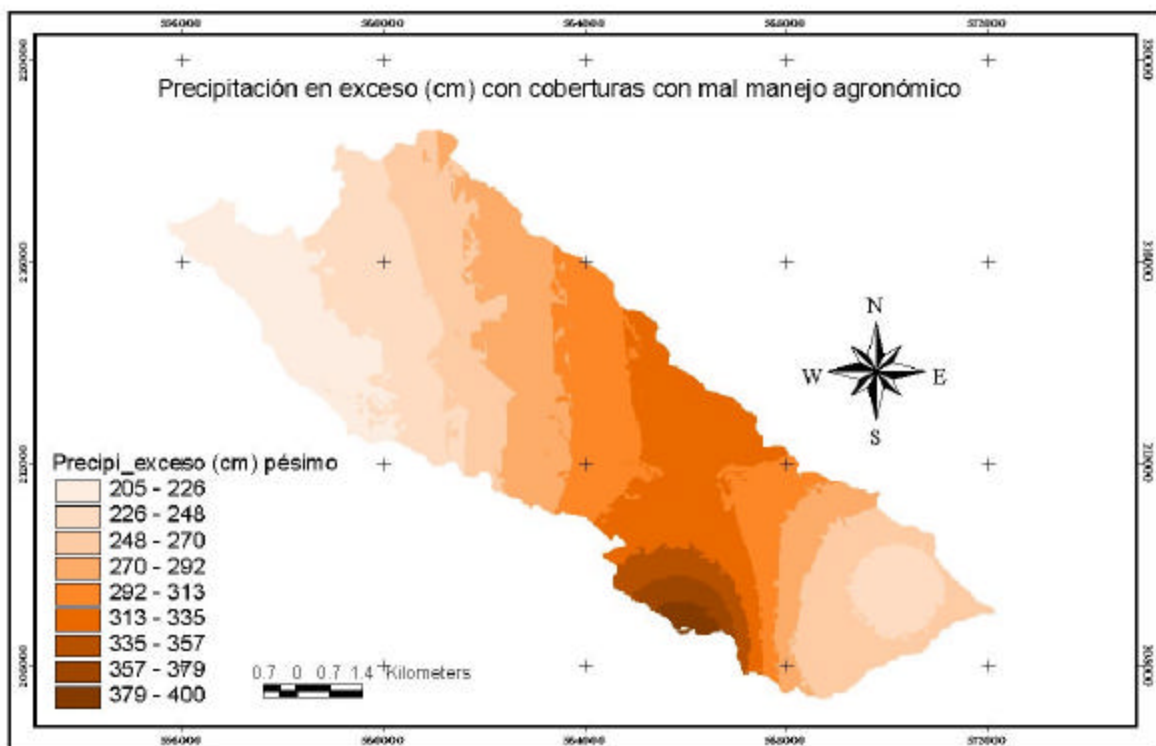


Figura 17. Precipitación en exceso con mal manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.

Esto se debe también a que el NC, esta basado en la cantidad de agua que pueda pasar a través de un perfil de suelo, y una vez saturado el suelo, dependerá de la capacidad de infiltración básica.

Todos los demás rangos de precipitación en exceso siguen los patrones del mapa de precipitación en la cuenca. Podemos ver que los lugares donde existe mayor precipitación en exceso son los lugares donde ocurre la mayor precipitación y no existe grandes variaciones dentro de esas zonas independientemente de las coberturas que cubran esos suelos. Por lo que la zona donde se produce la mayor cantidad de escorrentía se encuentra en la parte media de la cuenca del Río Turrialba y es nuevamente donde existe la mayor cantidad de precipitación en la cuenca.

La figura 18 muestra el mapa de precipitación en exceso para la cuenca del Río Turrialba con buen manejo agronómico de las coberturas. Este mapa posee menor cantidad de escorrentía que el mapa anterior (figura 17), ya que los valores de NC son menores y se espera que los suelos tengan mayor capacidad de infiltración básica debido a las buenas labores agronómicas.

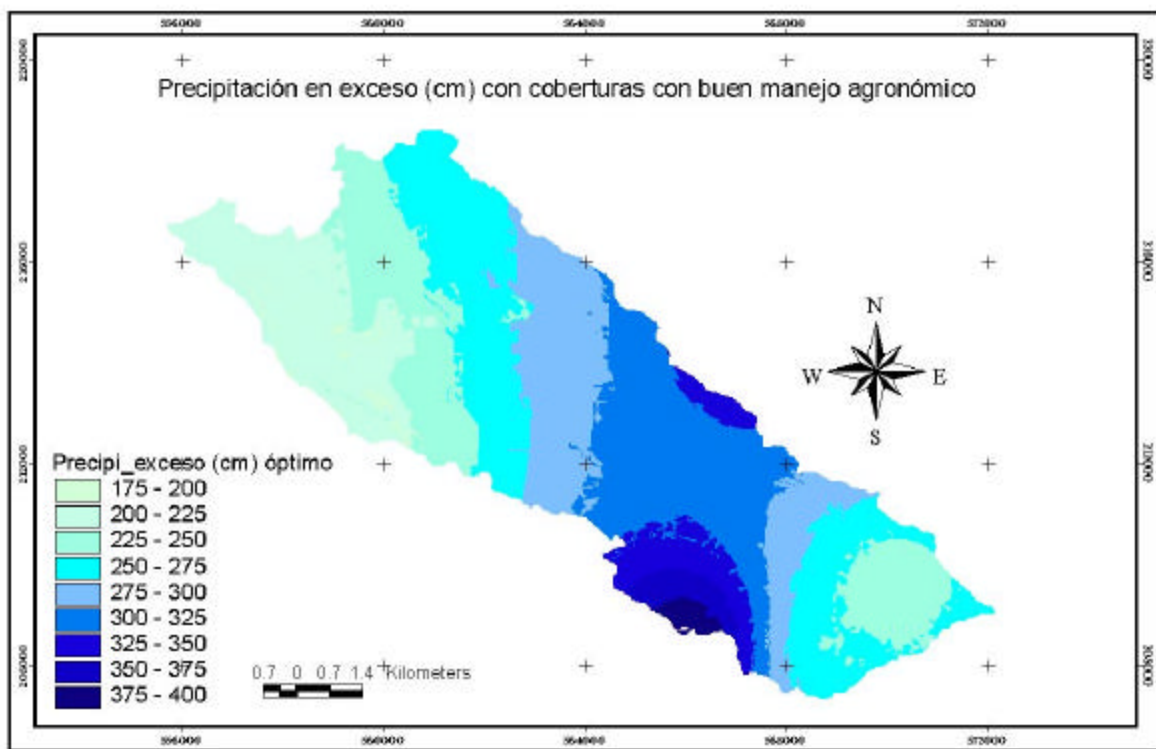


Figura 18. Precipitación en exceso con buen manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.

Se puede apreciar que el rango más bajo de precipitación en exceso (175 – 200 cm) no existe en el mapa con mal manejo agronómico ya que las precipitaciones en exceso para esa misma zona son de 205 a 226 cm, las cuales son los valores más bajos.

Entonces el buen manejo agronómico de las coberturas vegetales implica una menor escorrentía dentro de la cuenca del Río Turrialba, sin embargo las zonas de escorrentía llevan el mismo patrón que la precipitación de la cuenca.

La reducción de la escorrentía trae consigo la reducción del caudal en toda la cuenca, por lo que podemos ver en el cuadro 14 que hubo una reducción de los caudales totales para toda la cuenca del Río Turrialba, aunque estas reducciones fueran mínimas. El método de NC aplicado para el cálculo de la escorrentía, es probable que tenga deficiencia al cuantificar los cambios que puedan existir en el proceso de infiltración cuando las coberturas son bien manejadas agronómicamente.

Cuadro 14. Caudales totales con dos tipos de manejo agronómico de las coberturas actuales de la cuenca del Río Turrialba.

Tipo de manejo agronómico de la cobertura actual del suelo	Caudales (m ³ /s)
Buen manejo agronómico de las coberturas	6.64
Mal manejo agronómico de las coberturas	6.73

Se dio una reducción del 1.3% del caudal total en toda la cuenca del Río Turrialba, equivalente a 0.087 m³/s. Es una reducción mínima del caudal sin embargo importante para el manejo de la cuenca, ya que los productores de esas zonas pueden seguir en sus actividades agrícolas y pecuarias con un buen manejo agropecuario y estar contribuyendo a la disminución de caudales picos en épocas de lluvia que puedan afectar a la parte baja de la cuenca donde se encuentra la ciudad de Turrialba.

Es importante mencionar que esta reducción de caudal se dio si las coberturas actuales son bien manejadas, sin embargo no se estimó si hubiera un cambio de coberturas. En el caso que se dieran cambios de coberturas de baja infiltración (potreros) hacia coberturas de alta infiltración (bosque y pasturas de corte) el cambio en la disminución del caudal total de la cuenca del Río Turrialba sería mayor, ya que los valores de número de curva para estas coberturas son menores (cuadro 6 y 7)

4.1.7. Proponer 5 prácticas tecnológicas y realizar un análisis de técnico económico.

Con las prácticas tecnológicas que se presentan en este estudio se pretende tener impacto a largo plazo en la reducción de la precipitación en exceso (escorrentía) en la cuenca del Río Turrialba, ya que se trata de mejorar el manejo agronómico de las coberturas vegetales en uso actual y que sean accesibles (bajo costo) a los productores de la cuenca alta. Por lo tanto se mencionan algunos beneficios que brindan estas prácticas tecnológicas para lograr este propósito.

~~///~~ Biodigestores y lombricultura

Tratan de minimizar la cantidad de estiércol que son desechados a las fuentes de agua más cercanas o mal utilizados (estiércol fresco aplicado en pasturas) por los productores pecuarios de la cuenca alta, los cuales representan un 91% de los productores evaluados.

Mediante el uso de biodigestores los productores pueden utilizar de manera más eficiente el estiércol para la producción de biogás y de esta manera evitar especialmente en las lecherías el desperdicio de estiércol (producto del lavado diario de salas de ordeño) los cuales son dirigidos a las fuentes de agua más cercanas causando contaminación de los ríos y aumento de sedimentos en los mismos.

Además con el biogás se puede hacer funcionar cocinas para el uso diario del productor, lo que reduce fuertemente el uso de energía eléctrica, la cual es comúnmente usada en la cuenca del Río Turrialba para la elaboración de alimentos.

La lombricultura procesa el estiércol en un abono con mejores características para el consumo de las plantas, especialmente para fertilizar forrajes de corta y huertos caseros que la mayoría de los productores tienen en su propiedad.

~~///~~ Forrajes de corta

Contribuyen en la alimentación del ganado en épocas de excesos de precipitación donde las pasturas de piso no producen el suficiente forraje para la producción óptima de leche. Debido a que estos forrajes son de corta, no son pastoreados por el ganado por lo tanto los suelos donde se encuentran ubicados, tienen buena capacidad de infiltración y la producción de forraje es de alta calidad nutritiva, por lo que en épocas de invierno, el ganado vacuno es suplementado con estos forrajes en condiciones de semiestabulación.

Esto contribuye a que el ganado pase menos tiempo en los potreros, por lo tanto habrá menos pisoteo y menor compactación en los potreros y los pastos podrán crecer en menor tiempo. Esto favorece las condiciones hidrológicas de los suelos, dándoles mayor capacidad de infiltrar la lluvia que precipita en esta zona.

***///* Semiestabulación**

Reduce fuertemente el pisoteo de los potreros por parte del ganado, debido a que la mitad del tiempo está estabulado. Permite entonces un mejor crecimiento de las pasturas debido, menor compactación de los suelos por lo tanto se necesita menor área de pasto de piso para poder mantener la misma cantidad de ganado criado en potrero.

La semiestabulación está ligada al establecimiento de pastos de corta, debido a que el tiempo que el ganado está estabulado tiene que ser alimentado con forrajes de buena calidad nutritiva para que posteriormente termine de comer en los potreros.

Una semiestabulación bien manejada trae consigo aumentos en la producción láctea además de reducir las áreas de pastoreo del ganado.

***///* Conservación de forrajes (Silo montón)**

Además del pasto de corta, esta tecnología también permite dar una buena alimentación al ganado en épocas de escasez de pasturas ya que en las épocas de abundante forraje, éstos pueden ser ensilados para su utilización posterior, especialmente en épocas donde el forraje es escaso.

La mayoría de forrajes que se utiliza para el ensilaje, son forrajes de corta, los cuales no son pastoreados, por lo que la implementación de un silo, trae consigo un aumento de las áreas de forrajes de corta y posiblemente se tendrá que disminuir las áreas de pastoreo, es decir se tendrá que hacer una reconversión de áreas de pastoreo a áreas de forrajes de corta, lo que evidencia que exista una mejor condición hidrológica para estos suelos.

Las prácticas tecnológicas mencionadas anteriormente están siendo aplicadas por algunos productores dentro de la cuenca alta del Río Turrialba y se espera mediante el trabajo técnico que viene realizando el ICE y el MAG dentro de la cuenca, se pueda transmitir esta tecnología a los demás productores con el propósito de mejorar su calidad de vida.

4.1.7.1. Prácticas sostenibles para el manejo de la cuenca alta del Río Turrialba.

4.1.7.1.1. Conservación de forrajes (ensilajes)

¿Qué son?

El alimento natural para el ganado y otros animales domésticos son esencialmente los pastos y los forrajes verdes. Sin embargo debido a las condiciones climáticas de cada zona, se dificulta la producción constante de este material durante todo el año.

La conservación de forrajes verdes consiste conservar material forrajero por medio de un proceso fermentativo anaeróbico. Este proceso tiene una duración de aproximadamente un mes, el cual es precedido por una fase aeróbica corta, en la cual las bacterias aeróbicas facultativas agotan el oxígeno presente en el silo y consumen parte de los carbohidratos disponibles, produciendo calor y CO₂. Seguidamente se inicia la parte anaeróbica caracterizada por la multiplicación de lactobacilos que actúan sobre los carbohidratos solubles para producir ácido láctico y otros ácidos orgánicos como el acético, propiónico y butírico en cantidades pequeñas. Éstos ácidos conducen a una reducción del pH a 4.5 o menos, inhibiendo el exceso de acidez el desarrollo de bacterias y consecuentemente la actividad enzimática (Bretigniere y Khatchadourian, 1962; Merino, 1973; Solano et al. 1994 citado por CATIE 1994).

¿Cómo funciona?

El objetivo principal de la técnica del ensilaje es el de cosechar y almacenar su biomasa, tratando de tener las mínimas pérdidas de nutrimentos, especialmente componentes energéticos y proteínicos mediante la aplicación de un método de conservación, basado en un proceso de fermentación. Generalmente el valor nutricional de los materiales conservados es mas bajo que el cultivo en el momento de la cosecha. Sin embargo en la

economía de la finca el ensilaje de pasturas forrajeras juega un papel estratégico debido al alto costo de los insumos de concentrados para rumiantes (Chaverra y Bernal 2000).

¿Cómo ayuda?

Según CIAT (1998) la producción de pasturas esta determinada básicamente por periodos de lluvias que prevalecen en cada zona. Cuando hay lluvias el crecimiento de los pastos es óptimo y abundante. Sin embargo cuando existe ausencia o exceso de esta, el descenso de la producción forrajera es drástico, lo cual determina la disminución de la producción ganadera en general.

Una de las soluciones a este problema es la conservación de forrajes, y los forrajes ensilados son una buena técnica para guardar alimentos debido a la sencillez de la técnica y los bajos costos que representan.

Chaverra y Bernal (2000), mencionan que el ensilaje de forrajes verdes trae los siguientes beneficios para los productores:

- ~~///~~ Como parte del sistema de producción bovina, favorece el uso eficiente del suelo, productos, subproductos y desechos de otros cultivos; por lo tanto favorece el reciclaje y disminuye la compra de insumos y los costos de producción.
- ~~///~~ En épocas de verano o excesos de lluvia donde hay escasez de forrajes, en muchos casos es el mejor complemento alimenticio de los animales ya que disminuye las necesidades de suplementación con concentrados, la presión del uso del suelo en zonas marginales y los costos de mantenimiento de la producción ganadera.
- ~~///~~ Es un método práctico y económico para conservar los forrajes preservar al máximo su valor nutritivo y buena parte de la vitamina A, así como para mejorar su valor nutritivo con aditivos.
- ~~///~~ Requiere espacios relativamente pequeños para el almacenaje de cosechas y permite una mejor utilización de la mano de obra permanente de la finca.

☞ Asegura y provee durante todo el año un alimento succulento y de calidad uniforme; permite la utilización del exceso de producción de forraje durante el invierno; aumenta la capacidad de carga, producción de leche o carne por hectárea.

Por otro lado el ensilaje de forrajes verdes presentan algunos inconvenientes:

☞ Es voluminoso el almacenaje y el manejo y debe consumirse rápidamente después de retirado del silo.

☞ Pueden ocurrir grandes pérdidas de materia seca y presencia de malos olores si las condiciones no son óptimas.

☞ Dificultades de manejo y almacenamiento diario de grandes cantidades del producto por ser un alimento voluminoso.

☞ Demanda de mano de obra al momento de prepararlo.

¿Cómo planificar?

Materiales que se pueden ensilar

Las condiciones ecológicas de una zona limitan las variedades de especies que se puedan ensilar, a pesar de que se puede conservar el tipo de forraje que el productor tenga disponible en la finca (incluyendo malezas) (CATIE 1994).

A continuación se mencionan los materiales a ensilar más utilizados en Centro América:

Pastos

Dentro de los pastos más utilizados para el ensilaje se encuentran los siguientes:

Nombre común

Jaragua

Guinea

King grass, Taiwán

Gamba, ICTA Real, Otoreño-1, Carimagua

Estrella

Nombre científico

Hyparrhenia rufa

Panicum maximum

Pennisetum purpureum

Andropogon gayanus

Cynodon nlemfluensis

CATIE (1994) menciona que estos pastos fueron utilizados en mezclas con material vegetativo de sorgo y maíz y recomienda que hay que agregar una cantidad equivalente al 30% de sorgo, maíz o caña de azúcar (melaza) al silo debido a que los pastos muestran niveles bajos de carbohidratos solubles, generalmente por de bajo de los niveles necesarios para servir como recurso energético que permita una adecuada fermentación láctica.

Arbustos

Existen varias especies que se utilizan en ensilaje pero las mas usadas en Centro América son las que se mencionan a continuación:

Nombre común	Nombre científico
Guácimo o Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Tgûilote	<i>Cordia dentata</i>
Leucaena	<i>Leucaena spp.</i>

El material vegetativo de estas especies, rico en proteínas, se debe ensilar en bajas proporciones con pasto, maíz y/o sorgo. Ya que son difíciles de ensilar por su alto contenido de humedad y proteína, además que poseen pocos azúcares fermentables (CIAT 1998).

Otros materiales

En todas las zonas de explotación agropecuaria existen cultivos de los cuales alguna de sus partes se consideran no comerciales, subproductos o desechos, estos pueden utilizarse para diferentes fines, entre ellos el ensilaje para la alimentación animal. Frecuentemente estos productos poseen un alto valor forrajero en sus partes y constituyen un alimento considerable si se conservan de manera adecuada (Chaverra y Bernal 2000).

Se puede ensilar cualquier parte aérea de hortalizas como zanahoria, betarraga, lechuga, repollo etc. Prácticamente cualquier hortaliza que se deseché por exigencias del consumo humano. Sin embargo en el proceso de ensilaje de estos materiales es indispensable evitar la incorporación de suelo en el silo con el propósito de no favorecer la entrada de

microorganismos que produzcan ácido butírico lo que propicia una fermentación secundaria de la masa. Cabe mencionar que para evitar el exceso de líquidos y pérdida de material se debe adicionar a la mezcla heno o tamo de trigo (Chaverra y Bernal 2000).

Características del material

La calidad del ensilaje depende en gran medida de la edad que tenga el forraje al momento de la cosecha. Para tomar esta decisión hay que tener claro que existe una correlación negativa entre la producción total y la calidad del pasto. Por lo tanto es conveniente buscar una etapa de equilibrio entre el contenido de carbohidratos fermentables, el contenido bajo de fibra y la relación de hojas a tallos del forraje a ensilar (Chaverra y Bernal 2000).

CATIE (1994) recomienda que se deben conservar los forrajes que tengan contenidos de materia seca superiores al 30%. Cabe mencionar que para determinar de manera práctica el momento apropiado de ensilar un material, se puede tomar una muestra del forraje picado y se aprieta fuertemente en la mano, luego se abre la mano; si mantiene su forma o se desprende con lentitud dejando la mano húmeda, se considera adecuado para ensilar. Sin embargo, si el líquido escurre entre los dedos (alto contenido de humedad) o si toma su forma inicial con rapidez (bajo contenido de humedad) no está apto para almacenar (Castellón et al. citado por CATIE 1994)

A continuación se presentan algunos indicadores muy generales para la cosecha y corta de los materiales a ensilar:

Cuadro 15. Indicadores del estado de corta de plantas a ensilar.

Cultivo	Indicadores
Avena	/// Granos en estado lechoso.
Gramíneas perennes y leguminosas	/// Cada 45 o 60 días. /// En estado de prefloración.
Sorgo	/// Grano pastoso. /// 90% en floración.
Maíz	/// Grano pastoso. /// 2/3 partes del cultivo con las hojas bajas secas. /// Hojas bajas comenzando a secarse. /// De 85 a 95 días después de la siembra en climas cálidos. /// 180 días después de la siembra en climas fríos.

Fuente: Chaverra y Bernal (2000).

Características e implementación del silo montón

El silo montón constituye la forma más económica de los silos, por que no requiere de ninguna construcción especial para el almacenaje de material. También debe mantenerse una forma convexa de la superficie del silo al concluirse el ensilado, para facilitar el escurrimiento del agua en momentos de lluvia (CIAT 1998).

El silo montón debe ir cubierto por un material plástico u otro similar, para evitar pérdidas debido a pudriciones y enmohecimientos. La parte del suelo del silo, debe estar cubierta por un plástico, para evitar ingreso de agua por escurrimiento.

Finalmente en el silo montón, deben realizarse todas las operaciones de elaboración necesarias al igual en cualquier otro tipo de silo, cabe mencionar acondicionamiento del forraje, apisonado, sellado y todos los manipuleos necesarios del ensilaje. Si embargo la ventaja mas importante del silo montón es su bajo costo de implementación, y la pérdida que se produce es muy similar a las de otros silos (CIAT 1998).

Selección del sitio

Sencillamente se elabora sobre cualquier superficie de terreno sobre el nivel del resto o en terrenos planos tomando las previsiones respectivas para evitar inundaciones que dañarían el material que se encuentra dentro del silo (CIAT 1998).

Un aspecto importante es que, al elaborar el silo montón, debe conservarse un diseño longitudinal para facilitar la compactación con el tractor a lo largo del silo, al compactar el material con maquinaria o pisoteado por personas, no debe haber un desborde lateral. Pero para que no haya ese desborde lateral, se debe construir al inicio del ensilado, dos bordes laterales de aproximadamente 25 – 30 cm de altura, una vez que se sepa la cantidad de material a ensilar.

Tamaño del silo

Debido a que este tipo de silo no requiere ninguna construcción especial, el tamaño del silo dependerá del área del sitio seleccionado, de la cantidad de material a ensilar y de la disponibilidad del tamaño del plástico que exista en el mercado.

Llenado, sellado, compactación y densidad

El llenado de estos silos se realiza distribuyendo, del centro a los extremos, capas de forraje de 20 a 30 cm de espesor, las que son compactadas con tractor de oruga, tractores agrícolas, rodillos, estañones de 55 galones llenos de agua, vehículos o simplemente con personas que apisonen el material constantemente. Si es posible, se agrega melaza, agua u otros aditivos después de cada capa (Chaverra y Bernal 2000).

Los silos se llenan a una altura mínima de 1 m sobre una lámina de plástico y se cubre con nuevamente con otra lámina del mismo material, sellando la zona en donde se ponen en contacto las dos láminas. Cabe mencionar que el plástico se puede usar varias veces con el mismo propósito.

La compactación contribuye a la expulsión de aire de la masa ensilada y acelera la terminación de la respiración aeróbica, eliminando las fermentaciones indeseables, excesiva degradación de carbohidratos y desnaturalización de proteínas por efecto de las altas temperaturas. También disminuye la velocidad del movimiento del aire, frena la entrada de aire por lo que previene la presencia de moho y la descomposición del material (Chaverra y Bernal 2000).

Utilización y calidad del material ensilado

El valor nutritivo del ensilado depende en principio de la naturaleza y calidad del forraje utilizado para en el silo, de las técnicas utilizadas y de su aplicación cuidadosa, por lo que el ensilado de un forraje de escaso valor nutritivo dará un alimento de las mismas condiciones y viceversa (Bretigniere y khatchadourian 1962).

El periodo mínimo para que ocurra y se establezca el proceso fermentativo es de 30 a 40 días. Después de este tiempo se puede utilizar o dejar el material para ser utilizado en las épocas de exceso de lluvia o para la época seca (CATIE 1994)

El silo montón se abre por un extremo, con cuidado para no dañar el plástico y evitar que ingrese un exceso de aire al silo. Luego se retira la capa superficial del material ensilado que generalmente presenta evidencia de podredumbre. Seguidamente el material adecuadamente preservado se ofrece por lo general entero a los animales, esto debido a

la textura suave que presenta el material lo que permite una fácil manipulación por los animales (CATIE 1994).

Costos de la propuesta tecnológica

A continuación se muestra n los costos para la implementación de silo montón con capacidad para conservar una hectárea de maíz.

Cuadro 16. Presupuesto para la instalación de un silo montón y costos de ensilaje para una hectárea de maíz.

Materiales	Costo colones (Col/.)	Costo dólares (\$/.)
Plástico para ensilaje (40 m)	10,100	25
Cuerdas para el amarre del silo	3500	8.66
Mano de obra (jornales)		
Cosecha (7 jornales)	24,500	60.64
Picado (3 jornales)	10,500	25.99
Apisonado con tractor (1 Hr)	5,000	12.37
Alquiler de picadora (12 Hr)	29,088	72.00
Cobertura y sellado (1 jornal)	3,500	8.66
Transporte del forraje del campo al silo (20 Hr tractor)	100,000	247.52
TOTAL	186,188	460.86

Fuente: adaptado de CIAT 1998.

4.1.7.1.2. Biodigestor de bolsa completa

¿Qué son?

El biodigestor es un recipiente que en el interior ocurre la fermentación de la materia orgánica para producir gas. El biodigestor puede ser de diferentes materiales como metal, plástico cemento y debe estar herméticamente cerrado (ITCR 1986).

En el presente estudio se detalla el biodigestor de bolsa, debido a que es uno de los modelos que más se adapta a las condiciones climáticas de la presente zona de estudio (ITCR 1986).

Este modelo consiste en una bolsa rectangular de material plástico resistente que generalmente se utilizan en explotaciones ganaderas pequeñas que cuentan con un aproximado de 6 a 25 vacas o de 15 a 50 cerdos. La bolsa sirve como tanque de fermentación en la parte baja y en la parte superior como cámara de almacenamiento de gas. Cabe mencionar que además tiene una entrada para el material orgánico y una cavidad para la salida de los restos de ese material (efluente) después de la fermentación (ITCR 1986).

Se llama biogás a lo que se produce como resultado de la fermentación por medio de bacterias y en ausencia de oxígeno, a partir de estiércol de ganado vacuno, porcino y de aves, así como también de desechos de vegetales y otros materiales orgánicos (ITCR 1986).

¿Cómo funciona?

Existe un grupo de microorganismos metanobacterianos que cuando actúan con los desechos orgánicos sean vegetales o animales, producen una mezcla de gases que en su conjunto reciben el nombre de biogás. Esos microorganismos son anaeróbicos estrictos, es decir pueden vivir y proliferar solamente en un medio sin aire (Jiménez 1984).

Este proceso esta condicionado por cuatro factores importantes, que son la temperatura, el grado de acidez (pH), la composición de los desechos orgánicos utilizados (relación carbono/nitrógeno) y el tiempo en que se efectúa la fermentación también llamado retención hidráulica (ITCR 1986).

Este proceso de fermentación anaeróbica se logra mediante la utilización de un sistema herméticamente cerrado (biodigestor), dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar mezclado con agua. Entonces ocurre la fermentación donde se libera metano, hidrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno y trazas de ácido sulfúrico de los cuales el metano representa entre un 55 a 70% (Jiménez 1984)..

Por otro lado, los residuos de la fermentación (efluente) contienen una alta concentración de nutrientes y materia orgánica, lo que hace que los residuos del biodigestor puedan ser usados como un excelente fertilizante orgánico para las plantas, el cual puede ser aplicado en fresco, ya que el proceso de la biodigestión anaeróbica elimina los malos olores y la proliferación principalmente de moscas. Mosquitos (Jiménez 1984).

El funcionamiento del biodigestor de bolsa completa es continuo, generalmente la producción de gas comienza dos o tres semanas después de iniciado el proceso de carga y dentro de la 4^{ta} y 5^{ta} semana el biogás se vuelve combustible.

Para que el biodigestor comience a funcionar hay que alimentarlo con materia orgánica mezclada con agua, donde se produce gas metano debido al proceso de fermentación (Valverde 1989).

Debe llenarse la mayor parte del tanque de fermentación con la mezcla de estiércol y agua y es recomendable que se recoja boñiga en estañones con algún tiempo de anticipación para que al momento de hacer la primera carga exista suficiente materia prima. Ya cargado el biodigestor tarda aproximadamente 20 días en producir gas. El vigésimo primer día el biodigestor debe ser alimentado diariamente con la cantidad de materia calculada para el tamaño del biodigestor, el número de animales y la energía requerida (ITCR 1986).

¿Cómo ayuda?

El uso de un biodigestor ayuda básicamente a disminuir la creciente utilización de leña, que cada vez se encuentra más lejos, problemas de eliminar los estiércoles del ganado y de otros materiales biodegradables y teniendo en cuenta que un biodigestor actúa como un importante agente de sanidad ambiental. También contribuye significativamente si se desea sustituir el diesel o la gasolina por un combustible mas barato o si se desea disminuir el costo de los fertilizantes y electricidad que se usan dentro de la finca (ITCR 1986).

Los biodigestores brindan principalmente a los productores los siguientes beneficios:

- ~~///~~ Ahorro de energía eléctrica, gas comercial o disminuye el consumo de leña por lo que mejora la economía del hogar.
- ~~///~~ Evita los malos olores que pueden producir los estiércoles de los animales en la finca.
- ~~///~~ Utilización de los desechos de la finca.
- ~~///~~ Alivia el trabajo de las mujeres.
- ~~///~~ Promueve la mecanización de las zonas rurales.

¿Cómo planificar?

Materiales que se utilizan para la producción de biogás

- ~~///~~ Estiércol : Bovino, porcino, aves, equinos etc.
- ~~///~~ Restos de cosecha : paja de trigo, maíz soja, etc.
- ~~///~~ Cáscaras de cereales : arroz, trigo etc.
- ~~///~~ Restos de alimentos
- ~~///~~ Plantas acuáticas
- ~~///~~ Residuos de industrias de productos vegetales y animales.

Cuadro 17. Diferentes materiales necesarios para producir 1m³ de biogás.

Tipo de material	Cantidad (kg)
Bovino	25
Porcino	12.8
Aves	8.3
Residuos vegetales	12.5
Plantas acuáticas	12.7

Instalación del biodigestor de bolsa completa

La instalación del biodigestor debe hacerse lo más cercano posible al lugar donde provenga la materia prima para su funcionamiento.

La bolsa se puede colocarse directamente sobre el suelo o sobre una estructura de madera. Sin embargo ITCR (1986) recomienda que se cave una especie de fosa, con un 4% de desnivel y colocar en la fosa el biodigestor. Luego se construyen las piletas de entrada y salida y se acoplan las tuberías y la salida del gas.

Se recomienda también el uso de tubos PVC o mangueras de un pulgada de diámetro para la salida del gas. Además se aconseja que la tubería que transporta el gas sea aérea para evitar que sea dañada por el paso de vehículos o animales de la finca.

Posteriormente se debe instalar una trampa de agua para que el gas se desplace por la tubería y el agua condensada quede en la trampa. Es recomendable que en zonas muy frías se proteja contra los temporales. Para ello se puede construir una especie de invernadero de material plástico, esto ayudaría a elevar la temperatura del biodigestor y hacer más eficiente la producción de biogás (ITCR 1986).

Utilización del efluente del biodigestor

El efluente del biodigestor clasifica como fertilizante orgánico, de la misma manera que el “compost” (producto de la fermentación aeróbica de materiales orgánicos), estiércol fresco o residuos vegetales (ITCR 1986).

El efluente tiene la propiedad de incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos, lo que lleva al mejoramiento de algunas características de este, como su textura,

capacidad de retención de agua, retención de nutrientes además que se incrementa la actividad microbiana a nivel del suelo (Jiménez 1984 y ITCR 1986).

A continuación se muestra la composición química del efluente según su origen:

Cuadro 18.- Composición química del efluente según su procedencia (base seca BS).

Nutrimentos	Desechos de porqueriza	Desechos de oveja	% (BS)	
			Desechos de caballo	Desechos de corral
N₂	4	1.0	0.86	1.20
P₂O₅	1.5	0.30	0.13	1.20

La utilización del efluente como fertilizante es con el propósito de mantener y mejorar la fertilidad de nuestros suelos en un mediano y largo plazo, ya que al igual que los demás fertilizantes orgánicos la liberación de nutrientes se realiza de una manera lenta. Sin embargo no se debe de ver como un sustituto de los fertilizantes inorgánicos en términos de una respuesta inmediata, esperando un crecimiento inmediato de pastos y mejora de las cosechas de un determinado producto (ITCR 1986).

A continuación se mencionan algunas recomendaciones para el buen manejo de los efluentes del biodigestor:

- ✍ El efluente como fertilizante orgánico, contribuye a mantener y mejorar las características de fertilidad natural del suelo en un periodo de tiempo.
- ✍ Se debe añejar el efluente de dos a cuatro semanas para evitar el efecto tóxico que se ha reportado en la aplicación de este fertilizante en forma fresca.
- ✍ Se debe dar mucha consideración al lugar donde se ubicará el biodigestor, de manera que la distribución del efluente sea de una manera fácil y que no incremente costos.
- ✍ El efluente debe distribuirse en una mezcla con agua para que su distribución se más fácil y se aplique de una manera uniforme sobre los cultivos a fertilizar.
- ✍ Hay que realizar mediciones de pH del suelo para evitar que este se vaya a acidificar por la constante aplicación del efluente.

Costo de la propuesta tecnológica

Cuadro 19. Presupuesto para la instalación de un biodigestor de bolsa de 22 m³.

Materiales	Costo unitario (Col/.)	Costo total (Col/.)	Costo dólares (\$/.)
50 Plástico biodigestor tubular / 5m circunferencia	80,000	80,000	194.17
02 alcantarillas 12" /1m	3,000	6,000	14.5
02 arandelas de acero inoxidable	500	1,000	2.4
02 adaptador hembra 2" PVC rosca	300	600	1.4
02 adaptador macho 2" PVC rosca	305	610	1.5
01 T – PVC 2"	605	605	1.5
02 codos PVC 2"	500	1,000	2.4
01 llave de paso PVC 2"	2,500	2,500	6.0
01 tubo de PVC 2"	2,550	2.550	6.0
01 codo 45° PVC	480	480	1.5
Mano de obra (jornales)			
04 Mano de obra	3,500	14,000	34.0
TOTAL		109,345	265.4

4.1.7.1.3. Lombricultura

¿Qué son?

La lombricultura es la biotecnología donde la lombriz de tierra hace el papel de herramienta de trabajo para la transformación de desechos en productos orgánicos útiles, la protección de la vida y del ambiente y como fuente de proteínas para la alimentación de animales y seres humanos (Martínez 1995).

En los últimos años se ha incrementado los diferentes métodos para el manejo de desechos orgánicos domésticos e industriales que ayudan a minimizar el problema de contaminación ambiental que estos generan. Especialmente ha aumentado el interés por utilizar organismos del suelo, entre los cuales resaltan las lombrices de tierra para la transformación de grandes cantidades de desechos orgánicos. (Martínez 1995).

¿Cómo funcionan?

Se sabe desde hace mucho tiempo que las lombrices de tierra son importantes transformadores de la materia orgánica y grandes liberadores de los nutrientes que en ella contiene (Darwin 1881 citado por Edwards 1998).

La lombriz es uno de los animales que realiza uno de los trabajos más beneficiosos para el hombre en el campo agropecuario, consume los residuos vegetales y animales para posteriormente excretarlos en forma de humus, abono orgánico de excelente propiedades para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos. Al mismo tiempo se reproducen convirtiéndose en una fuente importante de proteínas para la preparación de harinas, alimento fresco (CATIE 1994).

Con esta técnica se acelera el proceso de descomposición de los desechos orgánicos utilizados como alimento por las lombrices, las cuales crecen y se reproducen en espacios relativamente pequeños alcanzando altas densidades poblacionales (CATIE 1994).

¿Cómo ayuda?

El potencial de las lombrices en la descomposición de desechos orgánicos fue demostrado desde hace mucho tiempo por Fosgate y Babb citado por Martínez (1996) quienes alimentaron lombrices con estiércol animal, donde obtuvieron un kilo de lombrices (peso fresco) por cada dos kilos de estiércol (peso seco).

Martínez y Ramírez (2000), CATIE (1994), Martínez (1996) y Edwards (1998) mencionan que la lombricultura puede traer los siguientes beneficios para el productor:

Se reducen los problemas de contaminación ambiental provocados por los desechos orgánicos que no reciben tratamientos y ningún manejo.

Producción de harina de lombriz, con altos contenidos de proteína especialmente para alimentación de animales.

El humus de lombriz, producto de la descomposición de los desechos orgánicos, generan un abono orgánico de excelente calidad.

Reducen las características nocivas de los desechos orgánicos, disminuyendo la cantidad de microorganismos que pueden ser dañinos para el hombre y eliminando los malos olores de los mismos.

Al establecerse la lombricultura dentro del sistema de producción, genera una fuente de empleo y se incrementan los ingresos por venta de mayor cantidad de productos obtenidos del sistema de producción.

¿Cómo planificar?

Materiales que se pueden utilizar y característica de los mismos

La calidad del alimento influye en la producción y fecundidad de las cápsulas, si la lombriz es constantemente trasladada hacia alimentos frescos, la fecundidad y la producción de cápsulas se verá aumentada. El acceso constante a alimentos frescos implica un aumento de peso, lo que implica una producción de cápsulas más grandes lo que conlleva a una mayor cantidad de nuevas lombrices por cápsula que eclosionan (Holmin, citado por CATIE 1994).

Los alimentos en estado de fermentación son muy dañinos para la lombriz, ya que eleva la temperatura del sustrato y todavía esta expulsando gases (metano). Esto hace que sea un riesgo para las lombrices ya que si llenamos el recipiente de alimentos todavía en proceso de fermentación, se corre el peligro de ahogar a la lombriz ya que ellas respiran por la piel (CATIE 1994).

Las lombrices de tierra pueden descomponer los desechos orgánicos sin embargo algunas tienen que tener algunas condiciones antes que las lombrices puedan ingerir.

Según Edwards (1998) afirma que los materiales de desecho deben tener las siguientes características antes que la lombriz pueda ingerirla:

Estiércol de ganado vacuno, son los desechos más fáciles donde se puede desarrollar las lombrices. En realidad este materia no contiene ningún inconveniente para el desarrollo de la lombriz, a excepción de la frescura del mismo. Por lo tanto hay que separar el líquido de la parte sólida del estiércol, posteriormente el líquido puede ser adicionado al sustrato.

Estiércol de equinos, también es un excelente sustrato para el desarrollo de las lombrices, sin embargo hay que tener mas cuidado en el manejo de los factores ambientales del sustrato.

Estiércol de cerdos, probablemente sea el sustrato más productivo para el desarrollo de las lombrices. Sin embargo si el estiércol presenta muchos líquidos hay que separar los sólidos, seguidamente hay que dejar compostar el estiércol por dos o mas semanas antes de inocular con las lombrices. El estiércol procesado tiene una cantidad alta de nutrientes.

Estiércol de aves caseras, incluyendo patos, pollos y desechos de pavos, contienen importantes cantidades de sales inorgánicas y amonio, las cuales pueden eliminar a las lombrices si es que el estiércol se coloca para la alimentación de las lombrices en forma fresca. Hay que remover estos materiales mediante el compostaje, lavado o envejecimiento. Posteriormente a esto, si se puede alimentar a las lombrices, donde el producto tendrá una alta cantidad de nutrientes.

Desechos urbanos, incluyendo hierba cortada y hojas de árboles, así como desperdicios de restaurantes y desechos orgánicos de supermercados, son todas estas un medio muy bueno para el crecimiento de las lombrices, especialmente cuando estas son maceradas y mezcladas antes de ser usadas.

Implementación de un módulo de lombricultura

Lombriz a utilizar

Según Martínez y Ramírez (2000), las principales características que debe tener la lombriz para ser utilizada en la lombricultura son:

Tener un ciclo biológico corto y rápido desarrollo, permite tener una alta densidad poblacional en menor tiempo, esto quiere decir que a mayor densidad menor tiempo para la transformación de desechos.

Alta voracidad, aunada a las características anterior son importantes para la transformación de los desechos y el uso de la lombriz como suplemento alimenticio.

Tolerante a estrés y manipulación, el primero se puede presentar a causa del mal manejo las cuales pueden ser, temperatura, acidez, calidad de agua, humedad entre otras.

Adaptabilidad, debe tener la capacidad de trabajar en condiciones desde los 0 hasta los 3000 msnm, donde se tienen que adecuar algunas condiciones dependiendo de la situación.

Un 80% de los criaderos de lombrices a nivel mundial utilizan *Eisenia foetida* Sav, sin embargo hay otras especies como *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus* y *Eudrillus eugeniae*.

Selección del sitio

El módulo de lombricultura a instalarse debe ubicarse en un terreno plano o de pendiente liviana, también se puede instalar el módulo en pendientes fuertes, sin embargo se debe diseñar con base las consideraciones de la conservación de suelos. El suelo debe

presentar buen drenaje debido a que le encharcamiento puede ocasionar serios problemas en la población de lombrices (Martínez 1996).

Además el sitio donde se instale el modulo de lombrices es recomendable que cuente con su propia fuente de agua, ya que la humedad y la oscuridad son factores muy importantes en el desarrollo y reproducción de las lombrices, por lo tanto es indispensable tener una fuente de agua de buena procedencia (Martínez 1996).

Preparación del modulo de lombrices

Para la cría efectiva de las lombrices, el hábitat adecuado es una cama, litera o lecho donde se colocarán todos los requisitos para el buen desarrollo, reproducción y así no tengan necesidad de buscar otros lechos.

CATIE (1994) menciona que las camas son largos pasillos de un metro de ancho, y de una longitud variable, con una altura promedio de 25 cm; el material a utilizarse puede ser de madera, bambú, cemento o cualquier material que no oxide. El largo de los lechos puede variar desde 1m².

La orientación del lecho, debe estar con mínimo desnivel y de una forma tal que permita todo el exceso de agua, y en posición que permite percibir la mayor cantidad de rayos solares (CATIE 1994).

Sustrato

Martínez y Ramírez (2000) sugieren que es importante conocer las características físicas y químicas del sustrato para tener una idea del contenido de nutrientes del humus que será el producto final. El origen de los desechos puede ser agrícola, ganadero, forestal, urbano o agroindustrial; de ello depende el tamaño de las partículas, las cuales pueden ser de menor o mayor tamaño.

Sin embargo, lo ideal es que las partículas sean de tamaño pequeño (1 a 5 cm), ya que esto favorece la acción de la flora y fauna microbiana, las cuales participan en su descomposición, lo que influye en la velocidad de transformación de los desechos.

Preparación del sustrato

El sustrato (estiércol de ganado) se colocará en pilas o montones y se dejará secar bajo sombra por una semana aproximadamente para posteriormente colocarlo como alimento a las lombrices.

Temperatura, humedad y aireación y acidez (pH)

La temperatura es otro factor que influye en la producción y reproducción de las lombrices. Una temperatura alrededor de los 20 °C se considera optima, la cual conduce al máximo rendimiento de las lombrices. Temperaturas por debajo de los 15 °C y mayores a los 35 °C son desfavorables para la producción eficaz de lombrices (CATIE 1994).

Otro de los factores que influye en la producción de las lombrices es la humedad, afectando la reproducción y fecundidad de las cápsulas. Una humedad superior al 80% y por debajo del 70% son desfavorables para la producción de lombrices (CATIE 1994).

Es importante la aireación durante la fase de precomposteo en los desechos que se utilizarán en la alimentación de las lombrices. La fermentación de estos desechos debe ser aeróbica, de lo contrario puede ocasionar daños a la lombriz (Martínez y Ramírez 2000).

El grado de acidez del sustrato donde se desarrollan las lombrices oscila entre 6 y 8, considerando el pH neutro como ideal. Acidez por arriba de o por debajo de este rango puede provocar la muerte del animal.

A continuación se muestra las condiciones optimas donde la lombriz se puede desarrollar eficientemente:

Cuadro 20. Condiciones necesarias para una buena reproducción de lombrices

Condiciones	Requerimientos
Temperatura	15 – 20 °C
Contenido de humedad	80 – 90%
Requerimiento de oxígeno	Aeróbico
Contenido de amonio en los desechos	< 0.5%
Contenido de sal en los desechos	< 0.5%
Acidez (pH)	>5 y <9

Fuente: Edwards (1998).

Alimentación de las lombrices

La alimentación de las lombrices, es sencilla sin embargo para asegurarnos la calidad del alimento que se le va suministrar hay que realizar primeramente la siguiente prueba:

- ✍ Se coloca en una cajita de madera (30 x 30 x 15cm), una capa de 10 cm de alimento, luego se colocan 50 lombrices adultas y se riega con agua de manera que quede bien húmedo.
- ✍ Pasado 24 horas hay que verificar la existencia de las 50 lombrices, si se encuentra en condiciones optimas.
- ✍ En caso aparezca muerta una sola lombriz o mas, el alimento no reúne aún las condiciones adecuadas, y hay que verificar las oportunas correcciones.

Posteriormente a la prueba la alimentación de las lombrices se realiza de la siguiente manera:

En el piso del lecho donde se van a criar las lombrices, se coloca una capa de paja o desechos vegetales de 5 cm, sobre esta capa se coloca el alimento, de manera que el espesor oscile entre 7 y 10 cm, sobre toda la superficie del lecho.

Se deben colocar un aproximado de 2,500 a 5,000 lombrices en montículos a cada metro de distancia a lo largo del lecho.

Recolección del humus

Para la recolección del humus, se tiene que separar el humus de las lombrices, lo cual se puede realizar de varias maneras. Esta vez se explicará el sistema de extracción llamado "sistema de lomo de toro".

Consiste en colocar lomo de toro, o lomillo de alimento fresco, a lo largo del lecho. Por lo tanto las lombrices más hambrientas se concentrarán en el alimento fresco. Después de un par de días se puede remover el lomo de toro con todas las lombrices presentes y dirigirlo a otros lechos para seguir la producción. Esta operación se puede repetir unas tres veces, de manera que podamos atraer la mayor cantidad de lombrices. Una vez

terminado este procedimiento se retira el humus en carretillas y se coloca en sacos y bajo sombra, tratando de mantener una humedad del producto de aproximadamente 50%. (CATIE 1994).

Costo de la propuesta tecnológica

Cuadro 21. Presupuesto para la instalación de un módulo de lombrices de 70 m².

Materiales	Costo colones (Col./.)	Costo dólares (\$/.)
Láminas de cinc	13,800	34.15
Vigas de metal	353,700	875.49
Tubos de metal para soporte	40,000	99.00
Madera para la implementación de las camas	5,000	12.37
Malla o cedazo (separación de lombrices)	3,500	8.66
Mano de obra (jornales)		
Construcción del galerón (93 jornales)	327,700	811.13
Construcción de camas (5 jornales)	17,500	43.31
Acarreo de boñiga (2 jornales)	7,000	17.32
Preparación del sustrato para la alimentación (5 jornales)	17,500	43.31
TOTAL	785,700	1944.80

4.1.7.1.4. Semiestabulación

¿ Qué son ?

La semiestabulación es un sistema que consiste en tener confinado los animales en ciertas horas (de 7am a las 12m o hasta las 5pm) y brindarles la alimentación en las canoas y el resto lo consiguen en los potreros, donde se pueden manejar altas cargas animales (5 UA/ha).

Este sistema demanda menos mano de obra comparado con la estabulación completa, además reduce el área de pastos de corta y el ganado puede salir a pastorear a los potreros con pastos mejorados debidamente divididos y con un sistema de rotación adecuado (Arronis 2003).

¿ Cómo funcionan ?

Un animal semiestabulado recibe su alimento directamente de un comedero donde con mucha facilidad puede ingerirlo, mientras que en pastoreo, la cantidad de pasto por área y su distribución espacial pueden limitar su consumo (Combellas 1986).

Por otro lado es importante saber que los animales semiestabulados crecerán más o crecerán menos, dependiendo de la cantidad y proporción de alimentos que se les brinde. Es decir, crecerán de acuerdo al nutriente que es limitante en su dieta. Por lo tanto hay que buscar un balance entre proteína, energía y fibra para la alimentación equilibrada del animal (Arronis 2003)..

Mediante la semiestabulación podemos suplementar al animal con pastos de buena calidad y agregar los minerales para complementar su dieta.

¿ Cómo ayudan ?

La implementación de la semiestabulación de animales dentro de la finca ayuda de la siguiente manera:

- ~~///~~ Mejor aprovechamiento del área de la finca.
- ~~///~~ Mejor uso y conservación de los suelos.
- ~~///~~ Se puede implementar un sistema de cría, desarrollo y engorde en una misma finca.

- ✍ El ganado sale en menos tiempo al mercado comparado con el libre pastoreo en potreros.
- ✍ La carne que es producida en semiestabulación es de mejor calidad ya que el animal es más joven al sacrificio.
- ✍ Los animales se tornan más mansos debido al trato diario que se le brinda.
- ✍ Se aprovecha la mano de obra familiar además del productor.

Sin embargo la semiestabulación también presenta algunos inconvenientes, los cuales se mencionan continuación:

- ✍ Requiere de inversión, equipos y establecimiento de forrajes de corta.
- ✍ Mano de obra en forma diaria.
- ✍ Se debe alimentar a los animales diariamente, es decir los animales crecerán o no, depende del tipo de alimento que se les brinde.
- ✍ Se debe contar con una fuente suplementaria de alimento durante todo el periodo.
- ✍ Mayor cantidad de desechos en un área específica.

¿ Cómo planificar ?

Alimentación

Agua y minerales

El agua es uno de los componentes más importantes en la alimentación de los animales, cuya calidad y cantidad no siempre es bien valorada. El animal sufre más rápidamente por falta de agua que por cualquier otro nutriente. Se necesita aproximadamente de 10 a 15 litros de agua por cada 100 kilogramos de peso vivo (Arronis 2003).

Se han identificado más de 15 minerales nutricionalmente esenciales para los rumiantes. Siete de ellos se requieren en cantidades grandes y se han denominado macroelementos: calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio, cloro y azufre. Los restantes se requieren en muy pequeñas cantidades en el cuerpo, siendo su concentración inferior a 50 ppm. Por lo que son llamados microelementos (Combellas 1986).

Los minerales cumplen variadas funciones en el organismo del animal, siendo los principales constituyentes de los huesos y los dientes, forman parte de muchos tejidos, intervienen en sistemas enzimáticos mantienen las relaciones osmóticas y el equilibrio ácido – base del cuerpo. Las deficiencias de los minerales en el cuerpo pueden originar disminución en el consumo y la digestibilidad del alimento, disminuye la ganancia de peso, producción de leche, fertilidad y pueden ser causante de enfermedades. Sin embargo los minerales esenciales en exceso también pueden causar efectos tóxicos sobre el animal (Combellas 1986).

Cuadro 22. Requerimientos de macroelementos (g/día) para una vaca de 500 kilogramos de peso y con una producción de 10 kg de leche con 4% de grasa.

Elementos esenciales	ARC (1980)
Calcio	30
Fósforo	27
Magnesio	16
Sodio	11
Azufre	10

Fuente: Combellas 1986.

Subproductos utilizados

Fuentes energéticas

A continuación se mencionan las fuentes energéticas mas comúnmente usadas para la alimentación de ganado semiestabulado:

☞ **Sorgo** (*Sorghum bicolor*)

El sorgo debe de ser procesado antes de ser ofrecido a los animales, el método más fácil es el molido o picado y el más usado en la alimentación de animales en semiestabulación. La calidad energética del sorgo es cerca del 90% dela del maíz y el contenido de carotenos es muy inferior (Combellas 1986).

☞ **Maíz** (*Zea mays*)

El grano de maíz tiene un bajo contenido de proteínas y minerales y éstas son de baja calidad. Sin embargo tiene un 65% de almidón y un alto valor energético.

~~///~~ **Arroz** (*Oryza sativa*)

El subproducto más utilizado en en la alimentación animal es la pulidura de arroz, el cual contiene de 10 a 15% de grasas insaturadas, por lo que se enrancia rápidamente. La cantidad recomendad en suplementación de bovinos es de un 40%.

~~///~~ **Yuca** (*Manihot esculenta*)

La yuca tiene altos rendimientos por hectárea y puede sustituir gran parte de los cereales importados para la alimentación animal. En rumiantes se puede utilizar fresca , seca o molida, hasta un 65% de la ración. Es un suplemento de alta concentración energética, pero muy pobre en proteínas.

~~///~~ **Melaza**

Subproducto de la caña, constituido principalmente por azúcares. Es una fuente energética que puede remplazar a otras materias primas de mas costo, además de mejorar la palatabilidad del alimento, evitar el polvo, permite la compresión del alimento, y mejora la aglomeración de las partículas del concentrado. No se debe de exceder de un 15% en mezclas para bovinos.

~~///~~ **Banano** (*Musa spp*)

El banano es un alimento muy alto en contenidos de humedad y que aumenta la energía de la dieta, se ofrece picado a los animales y es muy palatable. Los niveles recomendados son de 8 kilogramos por animal por día.

~~///~~ **Forrajes** (pastos King Grass, Taiwán, Camerún)

Estas pasturas son una buena fuente de energía para el animal en semiestabulación, en general un bovino necesita de 7 a 10% de su peso de forrajes verdes para la alimentación diaria.

Fuentes Proteicas

~~///~~ **Harina de soya** (*Glycine max*)

La harina de soya esta considerada como una de las mejores fuentes proteicas para la alimentación de animales. Contiene de 44 a 49% de proteína y todos los aminoácidos

esenciales, sin embargo contiene baja cistina y metionina. Su uso en rumiantes es limitado por su elevado costo.

~~///~~ **Harina y torta de palma africana** (*Elaeis guineensis*)

Se utiliza generalmente en mezclas ya que no es tan palatable para el ganado. Por su alto contenido de fibras y su regular contenido de proteínas es usado en rumiantes.

~~///~~ **Forrajes** (Nacederos *Cratylia*, *Leucaena*, *Morera*)

Son la parte de la alimentación de más importancia, tanto en volumen como en aporte de nutrientes. Estos forrajes aportan fibra, vitaminas, energía en menor cantidad agua y minerales.

~~///~~ **Urea**

Compuesto cristalino con 46% de N, equivalente a 280% de proteína cruda. Los bovinos pueden desdoblar la urea para producir proteína, mediante la enzima ureasa transformando a amonio. Se recomienda no suministrar más de un tercio del requerimiento total de nitrógeno en forma de urea, y ofrecerla en pequeñas cantidades durante el día. Generalmente se brinda al ganado incorporada con el concentrado o con la melaza (3% de urea).

Alimentos fibrosos

Los alimentos fibrosos son aquellos que contienen más de un 18% de fibra cruda. En este tipo de alimentos se incluyen forrajes, henos y ensilajes y residuos agrícolas. Las células vegetales a diferencia de las células animales, poseen pared celular, la cual está constituida por lignina, celulosa y hemicelulosa. Los alimentos fibrosos tienen una alta proporción de pared celular, la cual confiere esa característica fibrosa que los identifica a los productos vegetales (Combella 1986).

Manejo

Los animales deben de ser alimentados de forma adecuada para que la producción de leche sea lo más alto posible. Para el ganado semiestabulado se recomienda que se alimente parcialmente a los animales durante la mañana y luego soltarlos al potrero en las tardes cuando la temperatura es más fresca (Arronis 2003).

Se debe alimentar al ganado parcialmente para que después termine su alimentación diaria en los potreros.

Limpieza de las instalaciones

Se recomienda limpiar las instalaciones diariamente y el estiércol recogido utilizarlo para la alimentación del biodigestor y la producción de lombrices, que posteriormente el humus será utilizado en la fertilización de los forrajes de corta y los huertos caseros como fertilizante orgánico.

Se recomienda también colocar aserrín en el piso de las instalaciones para evitar el exceso de humedad y por lo tanto se minimice los problemas con las pezuñas del ganado. La limpieza de la instalación cuando se coloca aserrín en las instalaciones, se utiliza principalmente para la alimentación de lombrices y el producto final (humus) es de buena calidad y se tiene mayor cantidad de alimento con la misma cantidad de boñiga.

Instalaciones

Construcción de corrales para la semiestabulación de ganado.

Para la implementación de corrales de semiestabulación, se recomienda dejar un área de 10 m² por unidad animal. Además se debe instalar comederos y bebederos, colocar un techo al área de los comederos, cementar el piso con un desnivel del 4% y destinar un área para la picadora de pasto. (Arronis 2003).

Además se debe de cementar un área de refugio de los animales (3.5 m² mínimo por animal), para evitar que se el lodo en la época lluviosa.

Costo de la propuesta tecnológica

Cuadro 23. Presupuesto para la instalación de infraestructura para ganado semiestabulado con un área de 70 m².

Materiales	Costo colones (Col/.)	Costo dólares (\$/.)
Vigas de metal para la estructura del techo	353,700	875.49
Láminas de cinc	13,800	34.15
Bolsas de cemento	76,365	189.02
Bloques de cemento	30,000	74.25
Tornillos y varillas de soldadura	9,833	24.33
Discos para cortar	4,750	11.75
Tubos galvanizados	36,188	89.57
Transporte de material	3,000	7.42
Piedra y arena	70,000	173.26
Tubos de metal para soporte	40,000	99.00
Madera para encofrar	1,800	4.45
Mano de obra (jornales)		
93 jornales de soldadura de las instalaciones y construcción	327,700	811.13
TOTAL	967,136	2,393

Fuente: productor Oscar Gamboa, Las virtudes, Santa Cruz Turrialba.

4.1.7.1.5. Forrajes de corta

¿ Qué son ?

El grupo de forrajes corresponde a las gramíneas y leguminosas forrajeras. Su composición química es y valor nutritivo es variable en comparación a las fuentes energéticas y proteicas. Varía en función de diferentes factores, siendo el crecimiento de la planta el factor más determinante de su calidad. Entre mayor sea el intervalo entre cortes de un forraje mayor será, mayor es su contenido energético o proteico. La calidad decrece lentamente hasta la floración y luego disminuye aceleradamente (Combellas 1986).

Un forraje de buena calidad posee características físicas y químicas asociadas con el buen sabor y poseen una gran cantidad de nutrientes. Los factores físicos más importantes que se pueden cuantificar en la práctica son: estado de madurez al momento de la corta, porcentaje de hojas, color verde, flexibilidad del tallo, aroma y carencia de sustancias extrañas.

¿ Cómo funcionan ?

Dentro de los factores que limitan la productividad de los animales vacunos, se encuentra en primer lugar la nutrición. Sin embargo si se dispone de abundante forraje, la ingestión estará limitada a la máxima cantidad que el animal quiera consumir voluntariamente. El bajo porcentaje de proteína en los pastos tropicales es una de las razones para los bajos niveles de producción.

El valor alimenticio de los forrajes depende de la cantidad consumida y de la capacidad de estos para suministrar al animal la energía, proteínas, minerales y vitaminas necesarias para sus procesos fisiológicos y de producción.

La suplementación con proteína o con urea y melaza para la dieta de forrajes en la época de escasez , ayuda en la solución de este problema, en convertir una ración de sub mantenimiento en una capaz de mantener al animal en condiciones aceptables hasta la próxima estación de crecimiento de forrajes.

¿ Cómo ayudan ?

Las forrajes de corta ayudan principalmente de la siguiente manera:

- ✍ **Economía de los alimentos:** Reducen los costos de alimentación, ya que requieren menos granos y suplementos proteicos y el forraje puede ser cortado, guardar como heno o ensilaje. Se calcula que los buenos forrajes pueden economizar la mitad del suplemento de grano y proteína.
- ✍ **No requieren niveles tan altos de especialización y manejo:** La cría de ganado en semiestabulación no requieren niveles tan elevados de especialización y manejo como en los necesarios para que funcione en confinamiento.
- ✍ **Hace más eficaz las prácticas de conservación de suelos:** La semiestabulación permite que exista mayor intervalos de tiempo entre los potreros de pastoreo y mejor manejo de los desechos.
- ✍ **Mejora la producción:** Permiten una mejor nutrición de los animales y como consecuencia de ello las pariciones son más satisfactorias y existe una mejor provisión de leche.

¿ Cómo planificar ?

El objetivo principal del establecimiento de forrajes de corta es la de alimentar eficientemente a los novillos y vacas de la finca y hacer un uso más eficiente del suelo. Mediante la implementación de pasto de corte de alto valor nutritivo, se aumenta la cantidad de forraje utilizando la misma área, siendo esta la manera más fácil y económica para la alimentación balanceada del ganado semiestabulado.

Cuadro 24. Valor nutricional de cinco forrajes de corta (Morera, Nacedero y King Grass) y pastoreo (Estrella y Brachiaria)

Nutrientes	Morera	Nacedero	Estrella	Brachiaria	King Grass
Materia seca	29.5	20.2	24.6	23.3	35.4
Proteína cruda	18	19.2	7.4	6.6	6.5
Grasas	1.6	4.3	1.1	2.1	1.3
Fibra Cruda	4.3	2.8	2.7	33.4	30.2
Cenizas	13.1	16.2	10.8	4.6	4.6

Fuente: Agroforestería en las Américas (2000)

Valor nutritivo del King Grass y Taiwán (*Pennisetum purpureum*)

Es una gramínea de corte perenne, sus raíces forman cepas, compactas y sólidas y alcanzan profundidades de 4.5 a 5.0 m (McIlroy citado por Flores 1991). Los tallos pueden alcanzar alturas entre 4 y 5 m y hasta de 7 m en suelos con alta fertilidad.

En promedio el porcentaje de proteína cruda que contiene el pasto King Grass es de 8 a 10% dependiendo de la edad, y la fertilización que reciba. La proteína cruda declina conforme aumenta la edad de la planta, debido a cambio en el contenido de pared celular y la relación hoja – tallo. García y Cáceres (1982) encontraron valores de proteína cruda de 11.3, 10.2 y 8.7% y producciones de forraje de 3.4, 5.9, y 8.0 toneladas por hectárea para edades de corte de 56, 70 y 82 días respectivamente.

Valor nutritivo de la Morera (*Morus alba*) y el Nacedero (*Trichanthera gigantea*)

En el municipio de Villavicencio, Colombia, se evaluó el valor nutritivo de la Morera y el Nacedero en la suplementación de ganado lechero. La zona se clasifica como Bosque Húmedo Tropical (temperatura promedio de 27°C, precipitación anual de 3000 mm, humedad relativa del 80% y altura de 400 m.s.n.m. en suelos de planicie aluvial). Los forrajes tanto como Morera y Nacedero comparado con gramíneas (King Grass y Estrella) mostraron mayor valor de proteína cruda (PC), estos forrajes tuvieron una aceptabilidad del 80%.

La degradabilidad del nitrógeno total del Nacedero a las 6 horas fue de 20%, comparado con el de la Morera que fue de 71%, lo que demuestra que el Nacedero tiene poca proteína soluble. Este factor es importante para la utilización de N de las bacterias ruminales, ya que en el caso del Nacedero tendrían más tiempo para aprovechar en forma más eficiente el nitrógeno disponible, mientras que en el caso de la morera tendrían un exceso de N en poco tiempo (Vega et al. 2000).

Vega et al. (2000) concluye que la producción de leche aumentó cuando las vacas fueron suplementadas tanto con Morera como con nacedero. La palatabilidad del forraje fue muy buena y se obtuvo una reducción de costos por kilogramo de leche producido.

Las vacas que fueron suplementadas con Morera el contenido de grasa de la leche fue menor, comparado con las vacas que no recibieron este forraje, pero se incrementó el porcentaje de proteína.

La suplementación con aproximadamente 7 kilos de Nacedero fue suficiente para animales con producciones menores a los 8 kilos/día. Sin embargo una mezcla de Morera y Nacedero puede generar buenos beneficios, debido a que la degradabilidad de los nutrientes en la Morera es rápido y en el Nacedero es más lenta, provocando un mayor eficiencia en el uso de este forraje (Vega et al 2000).

Cantidad de forraje a sembrar

Según Arronis (2003) primeramente se debe estimar la cantidad de animales que se va alimentar, cantidad de forraje que cada animal consumirá y la producción de forraje estimado por corte.

A continuación se dará un ejemplo para el cálculo del área de forraje a sembrar en base a una cantidad determinada de animales en semiestabulación:

Se pondrá en semiestabulación 10 animales de 250 a 500 kg.

El consumo de forraje por animal será de 22 kilogramos de forraje verde / animal / día, en promedio. Se asume que se tendrá suplemento de proteico gallinaza, Cerdaza, Morera o Nacedero.

Se espera para un terreno de mediana fertilidad una producción de 30,000 kg de forraje verde / corte / ha.

Los 10 animales semiestabulados consumirían (22 kg forraje verde x 10 animales = 220 kg forraje verde / día). Si producimos 30,000 kg. de forraje verde en 10,000 m², entonces tendremos una producción de 3 kg de forraje verde / m². Entonces necesitaríamos 73 m² de forraje diario (220 kg forraje verde / 3 kg forraje = 73 m²).

Entonces como la frecuencia de corte es de aproximadamente es de 60 días, se establece que: 60 x 73 m² = 4,380 m² (menos de media hectárea). Por lo tanto podemos mantener 10 animales en semiestabulación con menos de media hectárea. Es importante

dividir esta área (4,380 m²) en 60 parcelas de 73 m², para cosechar una parcela por día, y que al final cuando se coseche la última parcela la primera tenga 60 días de rebrote.

Preparación de terreno

Se debe realizar una aplicación de herbicida sistémico o una chapea al terreno donde se realizará la siembra. Posteriormente se debe realizar una mecanización del terreno solamente con un pase de arado a 25 cm de profundidad, no se recomienda el pase de rastra ya que se trilla demasiado el terreno.

Semilla

Se debe utilizar semilla de primera calidad, de preferencia semilla certificada. Esta no debe ser muy tierna ni muy sazona. Para semillas de gramíneas es preferible usar cuando estas tengan entre 80 y 90 días de edad para asegurar una buena germinación (Arronis 2003).

Fertilización

En cuanto a la fertilización, esta debe estar basada en un análisis de suelo, sin embargo como estos análisis no son muy accesibles, en términos generales para suelos con fertilidades medias se recomienda 40 kg de P₂O₅ / ha, 60 kg de N / ha y 60 kg de K₂O. También se puede utilizar abono orgánico (estiércol) a una cantidad de 200 kg / ha (Arronis 2003).

Costos de la propuesta tecnológica

Cuadro 25. Presupuesto para la instalación de 1.0 hectárea de pasto de corte.

Materiales	Costo colones (Col/.)	Costo dólares (\$/.)
Preparación de terreno - rastra (8 horas tractor)	40,000	99.00
Fertilizantes (urea, formula completa) 3 quintales	15,000	37.12
Herbicidas (Glifosato) 2 a 4 litros / ha	2,400	5.94
Semillas certificadas (10 quintales para gramíneas)	250,000	618.81
Mano de obra (jornales)		
Siembra (14 jornales)	49,000	121.28
TOTAL	356,400	882.17

4.1.8. Determinar si los productores están dispuestos a realizar cambios tecnológicos.

Los productores que se evaluaron fueron productores líderes de cada zona dentro de la cuenca del Río Turriaba.

Se evaluó un total de seis productores, dentro de la cuenca alta del Río Turrialba los cuales habían sido encuestados anteriormente. Tres de los productores evaluados tenían en funcionamiento biodigestores, forrajes de corta y lombricultura, mientras que los otros tres productores solo tenían en producción los forrajes de corta, sin embargo estaban interesados en incurrir en las nuevas prácticas tecnológicas propuestas.

Las propuestas técnicas que tuvieron más aceptación por parte de los productores de la cuenca alta del Río Turrialba fueron las siguientes:

Cuadro 26. Porcentaje de adopción de las tecnologías propuestas para la cuenca alta del Río Turrialba.

Tecnología propuesta	Adoptabilidad por parte de los productores (%)
Biodigestores	84
Forrajes de corta	75
Semiestabulación	72
Lombricultura	68
Ensilajes (Silo montón)	64

4.1.8.1. Biodigestores: con un valor de 84% de adoptabilidad, debido principalmente a la simplicidad del manejo que requiere esta tecnología, bajos costos de implementación y el poco tiempo (un mes) que se requiere para ver los resultados. Esta tecnología trabaja efectivamente en el manejo de desechos (estiércol y desechos orgánicos de la finca) produciendo gas metano para el funcionamiento de estufas, esto trae consigo una reducción importante en los costos de energía eléctrica que consumen las fincas, y por lo tanto un ahorro económico para los productores. Cabe mencionar que fincas que utilizan esta tecnología minimizan la contaminación con estiércol de las corrientes de agua cercanas ya que lo utilizan en el funcionamiento de el biodigestor.

4.1.8.2. Forrajes de Corta: la segunda tecnología con más probabilidad de adopción (85%), debido a que eleva la producción de leche por su alto valor nutritivo, los resultados se pueden observar relativamente rápido (3 meses). Sin embargo el establecimiento de esta tecnología requiere de maquinaria (arar el suelo) y el mantenimiento demanda una alta mano de obra comparada con los pastos de piso.

4.1.8.3. Semiestabulación: es la tecnología más costosa de implementar, debido a los elevados costos de mano de obra especializada y materiales necesarios para su construcción. Sin embargo, siendo la más costosa de las tecnologías tiene buen aceptación ya que los beneficios que brinda son bastante atractivos, ya que se reduce el tiempo del ganado en los potreros y permite que el pasto se recupere en menor tiempo hasta la siguiente rotación. También minimiza la compactación de los potreros, permitiendo tener una mejor infiltración del agua y por lo tanto reduce la escorrentía de las zonas de potrero, así las cantidades de agua que llegaría rápidamente a las fuentes de agua en una tormenta se reducen.

4.1.8.4. Lombricultura: así como los biodigestores, esta tecnología también trabaja en la reducción de desechos orgánicos, sin embargo la poca probabilidad de adopción se debe principalmente a que los beneficios que brinda esta tecnología (humus de lombriz) es utilizada para la fertilización de los forrajes de corta, la cual puede ser sustituida por el estiércol fresco de ganado, el cual no necesita ningún tipo de manejo ni costo alguno. Sin embargo el humus de lombriz para la fertilización de forrajes de corta es produce mejores resultados y en menor tiempo.

4.1.8.5. Ensilajes: es la tecnología con menor probabilidad de adopción por parte de los productores (64%), debido al riesgo que se incurre al momento de ensilar los forrajes, ya que si no se realiza adecuadamente se puede perder todo el material ensilado. Otro factor que influyó en la baja probabilidad de adopción de esta tecnología, es que los productores deben de tener establecido el forraje de corta en sus fincas además del poco conocimiento y pocas experiencias de ensilaje en la zona de estudio. Sin embargo algunos productores ya están incurriendo en esta tecnología con muy buenos resultados, con lo que se espera transferir esta tecnología a los demás productores a través del intercambio de experiencias productor a productor.

5. CONCLUSIONES

- ✍ Se identificaron tres tipos de productores en la cuenca media y alta del Río Turrialba; El primer y tercer grupo se dedica a la actividad ganadera mientras que el segundo grupo de productores se dedica solamente a la producción agrícola, por lo que la ganadería ocupa el 91% de las actividades productivas que se realiza en la cuenca alta.
- ✍ El primer grupo posee en promedio 3.3 ha de pasto, 32 apartos y solo el 83% de ellos fertilizan las pasturas. Los productores del tercer grupo poseen en promedio 7 ha de pasto, 41 apartos y el 100% realizan fertilización de las pasturas. Se pueden clasificar el primer grupo como pequeños productores y el tercer grupo como medianos productores, debido al área de la finca y al número de vacas que poseen.
- ✍ Las principales problemáticas identificadas en la cuenca media y alta del Río Turrialba son: los bajos precios del mercado para los productos, estación lluviosa fuerte, elevado precios de los insumos, pasturas deterioradas y carencia de infraestructura y equipo para elevar la producción. Es por eso que los productores de la cuenca alta del Río Turrialba tienen buena disponibilidad de adoptar prácticas tecnológicas conservacionistas y de bajos insumos.
- ✍ La alta disposición de los productores a adoptar nuevas prácticas tecnológicas, suelos de mediana fertilidad, carreteras principales en buenas condiciones, sistemas de producción consolidados, productos lácteos reconocidos nacionalmente y experiencia acumulada por parte de los productores en el manejo de los sistemas de producción identificadas como potencialidades, hacen que los productores de la cuenca alta del Río Turrialba puedan adoptar y consolidar las nuevas prácticas tecnológicas propuestas y por lo tanto aumentar su producción con similares costos de producción.
- ✍ Los suelos que tuvieron menor tiempo de mecanización al momento de hacer las pruebas de infiltración presentaron mayor velocidad de infiltración encontrándose diferencias altamente significativas entre las coberturas evaluadas ($P < 0.0001$).

- ✍ La cobertura con mejor coeficiente de infiltración básica, velocidad de infiltración e infiltración acumulada fue el suelo bajo cobertura agrícola 1, seguido de la cobertura charral, pasto de corta, agrícola 2 y pasto de piso, debido principalmente al tiempo entre el momento en que fue mecanizado el terreno y el momento en que se realizó la prueba de infiltración.
- ✍ La zona con mayor riesgo a erosión en la cuenca del Río Turrialba fue la parte media y baja, principalmente en los bordes de los ríos debido a la inestabilidad de suelos por la falta de cobertura e inestabilidad de los suelos de origen volcánico, siendo un área donde se deben aplicar prácticas agrícolas de control de erosión.
- ✍ Los mayores rangos de precipitación en exceso se obtuvo en la parte media de la cuenca debido a la alta precipitación que se da en esta zona y la cobertura existente (café y caña principalmente) contribuyen a que exista mayor escorrentía por su baja capacidad de infiltración (alto valor de NC).
- ✍ No existen grandes variaciones de caudales totales con buen y mal manejo de las coberturas para la cuenca del Río Turrialba, debido a que la metodología aplicada del Número de Curva (NC) es deficiente al cuantificar los cambios que puedan existir en el proceso de infiltración cuando las coberturas del suelo son modificadas.
- ✍ Existe mayor aceptación de prácticas tecnológicas de bajos insumos y que están difundidas en la zona, mientras que para las prácticas tecnológicas no difundida en la zona existe mayor recelo de aceptación por parte de los productores.

6. RECOMENDACIONES

- ✍ Evaluar el efecto que tiene el manejo agronómico del suelo en el proceso de infiltración, bajo las mismas coberturas, ya que las pruebas de infiltración son muy puntuales y específicas para cada sitio y existe mucha variabilidad bajo las mismas coberturas con diferente manejo.

- ✍ Realizar pruebas de infiltración a diferentes profundidades, para poder determinar donde se encuentran capas endurecidas de suelo y en base a los resultados poder recomendar el tipo de manejo agronómico que requiera el suelo.

- ✍ En base a los resultados en este estudio se recomienda un pase de arado en los potreros de pasto de piso para mejorar la infiltración, especialmente en los potreros de pasto Kikuyo, los cuales no necesitaría resiembra ya que tienen un banco fuerte de semillas en el suelo y el pase de arado sacaría de latencia a las semillas por la exposición al sol.

- ✍ Evaluar a mayor cantidad de productores para ver la disponibilidad de aceptación de prácticas tecnológicas, ya que por motivos de dinero y tiempo no se pudo evaluar la disponibilidad de adopción de tecnologías a una mayor cantidad de productores.

7. REVISIÓN DE LITERATURA

- ✂ Beven K; Germann P. 1982. The role of macropores in the hydrology of field soils. Institute of Hydrology. Inglaterra. Vol 69.
- ✂ Bretigniere L; Khatchadourian L. 1962. Ensilado de los forrajes verdes. Madrid, España. 172 p.
- ✂ Burgess H; Claude K. 1978. Drenajes agrícolas para ingenieros. Pueblo y educación. La Habana. Cuba. 546 p.
- ✂ Bruijnzeel L.A. 1989. (De) forestation and dry season flow in the tropics: a closer look. Journal of Tropical Forest Science 1 (3): 229 – 243.
- ✂ _____ L.A. 1989. Highland – lowland interactions in the ganges brahmaputra river basin: a review of published literature. ICIMOD. Kathmandú, Nepal. 136 p.
- ✂ _____ L.A. 1991. Impactos hidrológicos de la conversión de los bosques tropicales. La Naturaleza y sus Recursos. 27 (2) 36 – 46.
- ✂ CATIE. 1994. El horno forrajero: validación y utilización. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 42 p.
- ✂ CIAT. 1998. Ensilaje de forrajes. Santa Cruz, Bolivia. 28 p.
- ✂ Cadena, M; Ureti, J. 1995. Prácticas para conservar el suelo y su productividad en la zona tropical del centro de Veracruz. Agricultura Técnica (Mexico) 21 (1) 41 – 61.
- ✂ CATIE. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas. Turrialba. Costa Rica. 31 p.
- ✂ Chaverra H; Bernal J. 2000. El ensilaje en la alimentación del ganado vacuno. IICA. Bogotá, Colombia. 153 p.
- ✂ Calvo, CA. 1993. Dinámica, uso apropiado y sostenible de la tierra en la cuenca del Río Turrialba. Turrialba, Costa Rica. 186 p.
- ✂ Cavelier J; Vargas G. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales: Procesos hidrológicos. LUR. Cartago, Costa Rica. 145 – 165.
- ✂ Cardozo G A. 1983. Efecto de la cobertura vegetal sobre el proceso de infiltración del agua en el suelo. Tesis (ing. Agrónomo). Monterrey, México. 59 p.
- ✂ Calder IR. 1992. Handbook of hydrology: Hydrologic effects of land - use change. New York McGraw-Hill. Cap.13.
- ✂ Chow, V.T.; Maidment D.R.; Mays L.W. 1994. Hidrología aplicada. Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. 584p.
- ✂ Combellas L. 1986. Alimentación de vacas lecheras en el trópico. Venezuela. 160 p.
- ✂ Edwards C.A. 1998. Earthworm ecology. EUA. 389 p.

- ✍ García, J.D. 1990. El análisis de las cuencas hidrográficas aplicado al problema de las inundaciones. El caso de la ciudad de Turrialba. Costa Rica. UCR.
- ✍ García J.R; Jiménez R; Sanzano G.A; Corbella R.D. 1996. Influencia en la infiltración de diferentes capas de un suelo agrícola del este Tucumano. Avance Agroindustrial. 16 (64) 12 – 13.
- ✍ Geilfus F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. IICA - GTZ. San Salvador, El Salvador. 208 p.
- ✍ Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. IICA. San José, Costa Rica. 433 p.
- ✍ Hamilton, LS; King PN. 1983. Tropical forested watersheds hydrologic and soils response to major uses or conversions. Westview. Colorado. Estados Unidos. 168 p.
- ✍ Heuveldop, J; Pardo T,J.; Quirós C,S.; Espinoza P,L. 1986. Agroclimatología tropical. Euned. San José, Costa Rica. 378p.
- ✍ Huber A; Lopez D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de Pinus radiata (D. Don) Valdivia, Chile. Universidad austral de Chile. 14(2): 11 – 18.
- ✍ Huber A. W; Oyarzu C.E. 1990. Variaciones anuales en precipitación e intercepción en un bosque adulto de Pinus radiata. Turrialba 40 (4) 503 – 508.
- ✍ Huang J; Lacey S.T; Ryan P.J. 1996. Impact of forest harvesting on the hydraulic properties of surface soil. Soil Science. 161 (2) 79 – 86.
- ✍ Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). 1986. Tecnología apropiada. Costa Rica. 21 p.
- ✍ Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). 2000. Plan de Manejo de la cuenca del Reventazón. 1 disco compacto.
- ✍ Jaramillo G.R. 1977. Determinación de infiltración del agua en el suelo, modelos matemáticos y mediciones experimentales. Tesis MSc. Santiago, Chile. 101 p.
- ✍ Lopez F; Blanco M. 1968. Aspectos cualitativos de la erosión hídrica, y del transporte y depósito de materiales. Madrid, España. 190 p.
- ✍ Martínez J. 1986. Drenaje Agrícola: Volumen I. Secretaría general técnica. Madrid, España. 239 p.
- ✍ Martínez C; Ramírez L. 2000. Lombricultura y agricultura sustentable. México. 236 p.
- ✍ Martines C. 1999. Potencial de la lombricultura, elementos básicos para su desarrollo. Lombricultura técnica mexicana. México. 122 p.
- ✍ Mendez, EV. 2001. Análisis espacial del tipo de uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba, Costa Rica. 65 p.
- ✍ Ministerio de Medio Ambiente. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión, ingeniería medio ambiental. TRAGSA. 2^{da} ed. Madrid, España. 945 p.

- ☞ Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2001. Transformación agroempresarial de los sistemas de producción de leche de pequeños y medianos productores de Santa Cruz de Turrialba. MAG. 87 p.
- ☞ Morgan R. 1997. Erosión y conservación de suelos. Madrid, España. 343 p.
- ☞ Nick, AR. 1988. Water yield changes after forest conversion to agricultural landuse in peninsular Malaysia. *Journal of tropical Forest Science* 1 (1) 67 – 84.
- ☞ Neeff T. 2000. El uso de la tierra en la cuenca del Río Turrialba, relato final. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 88p.
- ☞ Organización Meteorológica Mundial (OMM). 1994. Guía de prácticas hidrológicas: adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. 790 p.
- ☞ Pilgrim D.H; Cordery I. 1992. Handbook of hydrology: Flood Runoff. New York McGraw-Hill. Cap.9.
- ☞ Ramakrishnan P.S; Toky O.P. 1981. Run – off and infiltration losses related to shifting agriculture (Jhum) in northeastern India. *Environmental Conservation* 8(4) 313 – 320.
- ☞ Sosa AC; Rivera R, S; Barbier B; 2001. Análisis del balance hídrico en 4 coberturas del suelo en las laderas de Yorito, Yoro, Honduras. *ESNACIFOR*. 13 (1).
- ☞ Sanchez JM; Campabadal C; Vargas E; Fonseca H. 1986. Contenido protéico y minerales en los forrajes de la zona montañosa central de Costa Rica II. Efecto de la especie. *Agronomía Costarricense*. Vol. 10 (1/2). 191 – 197.
- ☞ Twenhofel H, W. 1961. Treatise on sedimentation. Dover Publications, INC. New York. 460 p.
- ☞ Troha, A; del Barrio R.A. 1986. Utilización de cilindros simples y dobles en la determinación de la capacidad de infiltración en un suelo Argiudol Vertico. *Facultad de agronomía de Argentina*. 7 (2 – 3): 133 – 138.
- ☞ Urbonas BR; Roesner LA. 1992. Handbook of hydrology: Hydrologic design for urban drainage and flood control. New York McGraw-Hill. Cap.28.
- ☞ Vega R; Muñoz M; Galeano P; Céspedes S. 2000. Suplementación alimenticia de vacas de doble propósito con morera (*Morus alba*), Nacedero (*Trichantera gigantea*) y pasto king grass (*Pennisetum purpureun x Pennisetum typhoides*) en el pie de monte llanero, Colombia. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 7. N° 28.
- ☞ Vidal I; Fernández B; Duarte N. 1981. Influencia de cuatro métodos de labranza sobre la velocidad de infiltración y estabilidad de los agregados del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* 41 (2) 83 – 88.

ANEXOS

Anexo1. Valores propios de los componentes principales y proporción de la variabilidad explicada para cada uno de ellos.

Componentes	Valor propio	Diferencia	Proporción	Proporción acumulada
1	5. 87676261	2. 76327164	0. 2177	0. 2177
2	3. 11349097	0. 19061312	0. 1153	0. 3330
3	2. 92287786	0. 78421224	0. 1083	0. 4412
4	2. 13866561	0. 21730503	0. 0792	0. 5204
5	1. 92136059	0. 12540532	0. 0712	0. 5916
6	1. 79595526	0. 54694495	0. 0665	0. 6581
7	1. 24901031	0. 14879468	0. 0463	0. 7044
8	1. 10021563	0. 06057993	0. 0407	0. 7451
9	1. 03963571	0. 09880997	0. 0385	0. 7836
10	0. 94082574	0. 17535187	0. 0348	0. 8185
11	0. 76547387	0. 02656025	0. 0284	0. 8468
12	0. 73891362	0. 08782671	0. 0274	0. 8742
13	0. 65108691	0. 06330348	0. 0241	0. 8983
14	0. 58778343	0. 10112045	0. 0218	0. 9201
15	0. 48666297	0. 14255550	0. 0180	0. 9381
16	0. 34410747	0. 03743396	0. 0127	0. 9508
17	0. 30667351	0. 02260190	0. 0114	0. 9622
18	0. 28407161	0. 06949209	0. 0105	0. 9727
19	0. 21457952	0. 05986186	0. 0079	0. 9807
20	0. 15471766	0. 03433089	0. 0057	0. 9864
21	0. 12038678	0. 04452918	0. 0045	0. 9909
22	0. 07585759	0. 00814612	0. 0028	0. 9937
23	0. 06771147	0. 00645297	0. 0025	0. 9962
24	0. 06125850	0. 03570966	0. 0023	0. 9984
25	0. 02554885	0. 00918291	0. 0009	0. 9994
26	0. 01636594	0. 01636594	0. 0006	1. 0000
27	0. 00000000		0. 0000	1. 0000

Anexo 2. Velocidad de infiltración para todos los puntos de muestreo según el modelo de Kostiakov.

Sitio	Coberturas				
	Agrícola 1	Agrícola 2	Charral	P. de corta	P. de piso
1		$I = 164.89 T^{-0.3395}$	$I = 7.94 T^{-0.0705}$	$I = 10.62 T^{-0.2998}$	$I = 1.05 T^{-0.0343}$
2		$I = 95.77 T^{-0.2924}$	$I = 10.93 T^{-0.1308}$	$I = 2.48 T^{-0.0494}$	$I = 0.64 T^{-0.1821}$
3	$I = 5.24 T^{-0.0763}$		$I = 13.37 T^{-0.0845}$	$I = 5.81 T^{-0.0718}$	$I = 0.34 T^{-0.0747}$
4		$I = 210.19 T^{-0.2307}$	$I = 22.72 T^{-0.0383}$	$I = 9.68 T^{-0.2082}$	$I = 0.17 T^{-0.3180}$
5	$I = 4.45 T^{-0.2996}$		$I = 17.30 T^{-0.2891}$	$I = 11.12 T^{-0.1565}$	$I = 1.25 T^{-0.1056}$
6	$I = 4.89 T^{-0.3081}$		$I = 7.40 T^{-0.0460}$	$I = 10.12 T^{-0.3029}$	$I = 0.87 T^{-0.1165}$
7	$I = 7.06 T^{-0.3672}$		$I = 13.18 T^{-0.1040}$	$I = 9.91 T^{-0.2850}$	
8		$I = 53.21 T^{-0.2381}$	$I = 28.51 T^{-0.0673}$	$I = 3.76 T^{-0.0509}$	$I = 0.83 T^{-0.0319}$
9	$I = 12.87 T^{-0.2858}$		$I = 11.72 T^{-0.0310}$	$I = 13.92 T^{-0.0943}$	$I = 0.27 T^{-0.1117}$
10	$I = 15.35 T^{-0.2843}$		$I = 6.89 T^{-0.0048}$	$I = 24.01 T^{-0.4784}$	$I = 0.60 T^{-0.3721}$

Anexo 3. Salida de SAS del ANDEVA y contrastes ortogonales para determinar diferencias entre tratamientos con diferentes coberturas en el proceso de infiltración acumulada.

The SAS System
The GLM Procedure

Dependent Variable: infacum_rc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	180.6517331	45.1629333	40.51	<.0001
Error	34	37.9008496	1.1147309		
Corrected Total	38	218.5525827			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	infacum_rc Mean
0.826582	34.32064	1.055808	3.076307

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	4	180.6517331	45.1629333	40.51	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	4	180.6517331	45.1629333	40.51	<.0001

Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Agric vrs resto	1	64.73175626	64.73175626	58.07	<.0001
Agric > vrs Agric <	1	93.66779919	93.66779919	84.03	<.0001
Charral vrs pastos	1	31.99587871	31.99587871	28.70	<.0001
Pasto C vrs Pasto P	1	16.53601091	16.53601091	14.83	0.0005

Anexo 4. Salida de SAS del ANDEVA y contrastes ortogonales para determinar diferencias entre tratamientos con diferentes coberturas en el proceso de infiltración básica.

The SAS System
The GLM Procedure

Dependent Variable: infbasica_rc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	84.2005924	21.0501481	35.57	<.0001
Error	34	20.1224003	0.5918353		
Corrected Total	38	104.3229927			

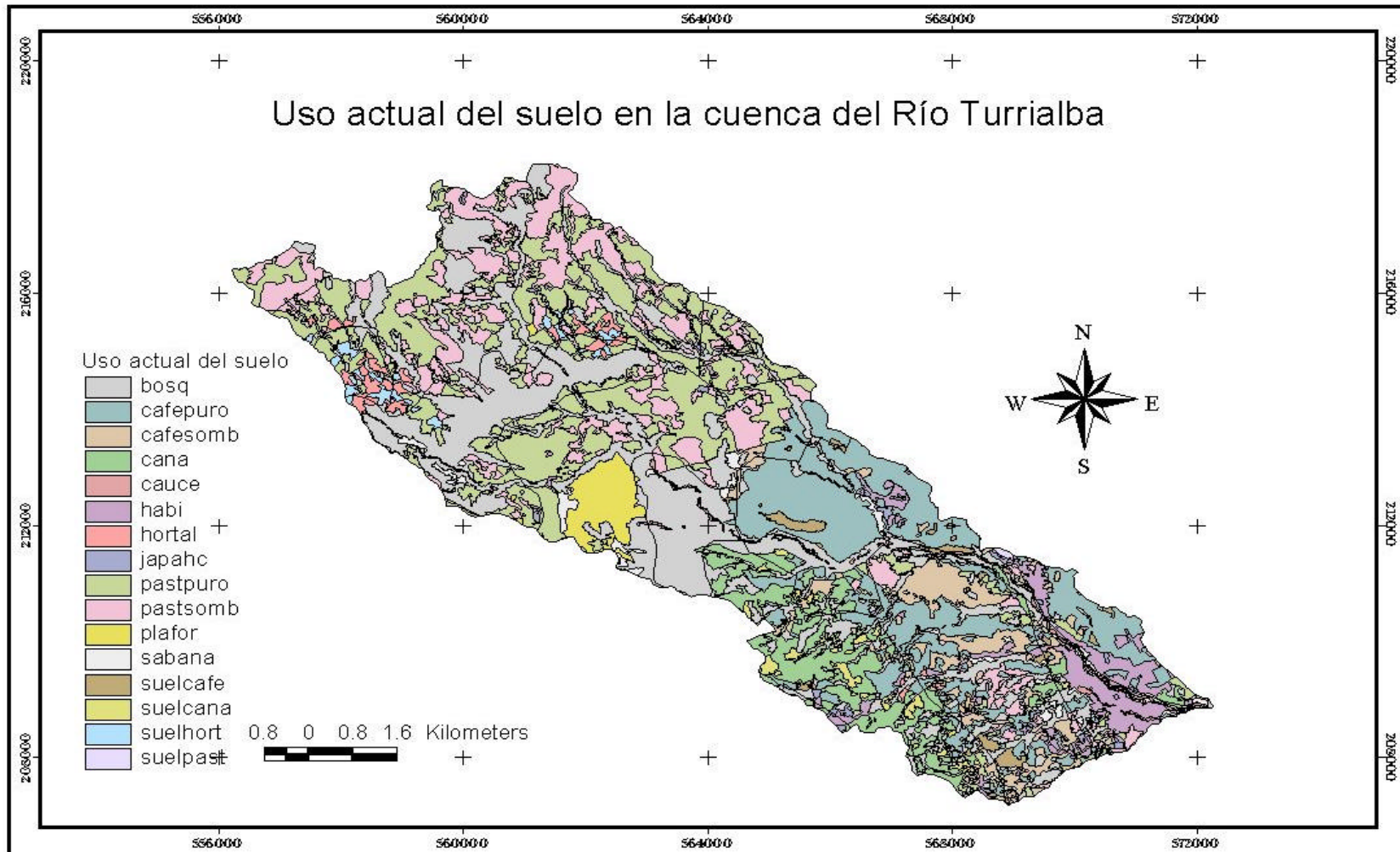
R-Square Coeff Var Root MSE infbasica_rc Mean
0.807114 35.07372 0.769308 2.193404

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	4	84.20059242	21.05014810	35.57	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	4	84.20059242	21.05014810	35.57	<.0001

Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Agric vrs resto	1	23.55401334	23.55401334	39.80	<.0001
Agric > vrs Agric <	1	43.77588852	43.77588852	73.97	<.0001
Charral vrs pastos	1	20.20021523	20.20021523	34.13	<.0001
Pasto C vrs Pasto P	1	7.64508739	7.64508739	12.92	0.0010

Anexo 5. Mapa de uso actual del suelo en la cuenca del Río Turrialba.



Anexo 6. Formato para evaluar adoptabilidad

1.- Información general

Nombre del productor: _____

Nombre del analista: _____

Fecha de evaluación: _____

(Tecnología propuesta)						
	Peso (0 – 1)	Calificación				
Superioridad		1	2	3	4	5
Compatibilidad		1	2	3	4	5
Simplicidad		1	2	3	4	5
Factibilidad		1	2	3	4	5
Observabilidad		1	2	3	4	5
Valor						
Probabilidad						

