



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y
DEL AMBIENTE**

Trabajo de Graduación

**Valoración del estado de los recursos
hídricos y edáficos en seis fincas
cafetaleras del Municipio San Juan del
Río Coco, Madriz, Nicaragua**

2012- 2013

AUTORES

Br. Vera Saray Palacios Rizo

Br. Christian Jossell Gámez Ortuño

ASESORES

Dra. Martha Orozco Izaguirre

Ing. MSc. Mercedes Matus Medina

COASESOR

Ing. MSc. María Baca Gómez

Managua, Nicaragua

Julio, 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3.1. Descripción del área de estudio.....	4
3.1.1. Ubicación geográfica.....	4
3.1.2. Uso potencial de los suelos.....	6
3.1.3. Hidrografía.....	6
3.1.4. Vegetación.....	6
3.1.5. Condición climática.....	6
3.1.6. Características topográficas.....	7
3.2. Diseño metodológico.....	7
3.2.1. Evaluación de los recursos hídricos.....	7
· <i>Mapa de microcuencas</i>	8
a) <i>Cantidad de agua</i>	8
· <i>Aforo con molinete</i>	8
· <i>Balance hídrico del suelo</i>	8
b) <i>Calidad del agua superficial</i>	11
· <i>Calidad físico-química del agua</i>	11
· <i>Calidad bacteriológica del agua</i>	12
· <i>Calidad biológica del agua</i>	13
c) <i>Evaluación de la calidad del entorno</i>	15
3.2.2. Caracterización de los suelos.....	15
a) Cuantificación de ganancias o pérdidas de suelo.....	16
· <i>Clavos y arandelas</i>	16

·	<i>Evaluación de sombra con densiómetro</i>	17
·	<i>Establecimiento de pluviómetros caseros</i>	18
b)	<i>Características físicas del suelo en cada parcela</i>	19
·	<i>Densidad aparente</i>	19
·	<i>Determinación de materia orgánica en campo</i>	20
·	<i>Infiltración de agua en el suelo</i>	20
·	<i>Textura del suelo empleando probeta</i>	22
·	<i>Textura del suelo al tacto</i>	22
·	<i>pH del suelo</i>	24
3.2.3.	Modelo SWAT (Herramienta para Evaluar Suelo y Agua).....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Aforo de corrientes.....	25
4.2.	Balances hídricos de los suelos en las microcuencas.....	27
4.3.	Oferta de agua disponible.....	28
4.4.	Calidad del agua superficial.....	29
4.4.1.	Calidad físico-química del agua.....	29
a)	<i>Análisis de pH</i>	30
b)	<i>Conductividad Eléctrica</i>	31
c)	<i>Sodio</i>	32
d)	<i>Calcio</i>	33
e)	<i>Magnesio</i>	33
f)	<i>Dureza del agua</i>	34
g)	<i>Amonio</i>	34
h)	<i>Nitritos</i>	35
i)	<i>Nitratos</i>	35
j)	<i>Alcalinidad total</i>	36
k)	<i>Turbidez</i>	36
l)	<i>Calidad del agua según la DBO₅</i>	37
m)	<i>Análisis de la DQO</i>	38
n)	<i>Relación DBO₅/DQO</i>	39
4.4.2.	Análisis bacteriológico del agua.....	40
4.4.3.	Calidad biológica del agua.....	42
a)	<i>Calidad biológica del agua en la microcuenca del Río San Juan</i>	42
b)	<i>Calidad biológica del agua en la microcuenca del Río El Bálsamo</i>	45
4.5.	Calidad del entorno de los sitios muestreados.....	49
4.6.	Potencialidades del recurso hídrico.....	50
4.7.	Descripción de los suelos de la microcuenca del Río San Juan.....	50
4.7.1.	Orden Inceptisol.....	51
4.7.2.	Orden Molisol.....	51

a) <i>Subgrupo Typic Hapludolls</i>	51
b) <i>Subgrupo Typic Argiudolls</i>	52
4.8. Descripción de los suelos de la microcuenca del Río El Bálsamo.....	53
4.8.1. Orden Molisol.....	53
a) <i>Subgrupo Typic Hapludolls</i>	53
4.8.2. Orden Alfisol.....	54
a) <i>Subgrupo Lithic Hapludalfs</i>	54
4.8.3. Orden Inceptisol.....	55
a) <i>Subgrupo Litic Hapludepts</i>	55
4.9. Uso actual del suelo en las microcuencas.....	55
4.9.1. Vegetación de bosque.....	56
a) <i>Bosque Latifoliado Abierto (BLA)</i>	56
b) <i>Bosque Latifoliado Cerrado (BLC)</i>	56
4.9.2. Vegetación de hábitat boscoso.....	57
a) <i>Café con sombra (C)</i>	57
4.9.3. Vegetación de ciclo corto.....	57
a) <i>Cultivos anuales</i>	57
4.9.4. Vegetación de ciclo largo.....	57
a) <i>Pastizales</i>	58
4.9.5. Áreas humanizadas.....	58
a) <i>Uso Urbano</i>	58
4.10. Modelo hidrológico SWAT.....	59
a) <i>Número de curva</i>	65
4.11. Caracterización de las fincas cafetaleras.....	65
4.11.1. Dinámica de la erosión en fincas cafetaleras.....	65
a) <i>Pérdidas o ganancias de suelo</i>	65
b) <i>Pruebas de infiltración</i>	68
c) <i>Densidad aparente</i>	69
4.11.2. Presencia de materia orgánica en las fincas.....	69
4.11.3. Evaluación de sombra.....	70
4.11.4. Relación entre pendiente, cobertura vegetal y pérdidas de suelo.....	71
4.12. Potencialidades del recurso suelo.....	72
4.13. Estrategias para el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.....	72
4.13.1. Estrategias horizontales.....	73
4.13.2. Estrategias focalizadas.....	74
V. CONCLUSIONES	78
VI. LITERATURA CITADA	80
VII. ANEXOS	82

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Parámetros físico-químicos, bacteriológicos y biológicos analizados.....	12
2. Puntajes dados a las diferentes familias de macro-invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	14
3. Clases de calidad de agua según valores BMWP/Col y ASPT.....	14
4. Categorías para la clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo.....	15
5. Velocidades de infiltración y clases de infiltración pertinentes.....	21
6. Caudales medidos en las microcuencas del Río San Juan y del Río El Bálsamo	25
7. Oferta de Agua de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo.....	28
8. Resultados del ensayo físico-químico del agua.....	30
9. Comportamiento de la DBO ₅ y DQO en los sitios de muestreo.....	37
10. Resultados del ensayo bacteriológico del agua.....	41
11. Puntaje total BMWP/Col y ASPT obtenidos en cada sitio de muestreo en la microcuenca del Río San Juan.....	44
12. Puntaje total BMWP/Col y ASPT obtenidos en cada sitio de muestreo en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	48
13. Clasificación de la calidad del entorno de los sitios muestreados en las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo.....	50
14. Características del subgrupo Lithic Hapludepts.....	51
15. Características del subgrupo Typic Hapludolls.....	52
16. Características del subgrupo Typic Argiudolls.....	52
17. Características del subgrupo Typic Hapludolls.....	54
18. Características del subgrupo Lithic Hapludalfs.....	54
19. Características del subgrupo Lithic Hapludepts.....	55
20. Distribución de las categorías de uso actual del suelo de las microcuencas del Río San Juan y El Bálsamo.....	59
21. Parámetros determinados en las Unidades de Respuestas Hidrológicas (URH) en la microcuenca del Río San Juan.....	63
22. Parámetros determinados en las Unidades de Respuestas Hidrológicas (URH) en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	64
23. Resumen de la dinámica de erosión en los set instalados en las fincas cafetaleras.....	67
24. Valores de infiltración obtenidos en cada una de las fincas.....	69
25. Resultados de densidad aparente obtenidos en cada finca.....	69
26. Porcentaje de sombra correspondiente para cada set instalado en las fincas.....	71
27. Pendiente, porcentaje de sombra, pérdida o ganancia de suelo por cada set.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación del área de estudio en el municipio de San Juan del Río Coco.....	5
2. Secciones parciales para el cálculo del área transversal del cauce del río.....	8
3. Perfil de suelo.....	15
4. Distribución de los clavos en cada uno de los sets.....	17
5. Lecturas de los clavos para medir las pérdidas de suelo en milímetros.....	17
6. Orientación del densiómetro para evaluación de sombra.....	18
7. Determinación de la densidad aparente utilizando métodos de campo.....	19
8. Ejecución de las pruebas de infiltración.....	22
9. Procedimiento para determinar textura al tacto.....	23
10. Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua en la microcuenca del Río San Juan.....	26
11. Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	27
12. Balance hídrico del orden de suelo Inceptisol en la microcuenca del Río San Juan.....	28
13. Balance hídrico del orden de suelo Alfisol en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	28
14. Valores de pH del agua obtenidos en la microcuenca del Río San Juan.....	31
15. Valores de pH del agua obtenidos en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	31
16. Valores de Conductividad Eléctrica del agua obtenidos en la microcuenca del Río San Juan.....	32
17. Valores de Conductividad Eléctrica del agua obtenidos en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	32
18. Contenidos de calcio en el agua durante los muestreos realizados en la microcuenca del Río San Juan.....	33
19. Contenidos de calcio en el agua durante los muestreos realizados en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	33
20. Valores de la DBO ₅ obtenidos en los muestreos de octubre del 2012 y febrero del 2013 en la microcuenca del Río San Juan.....	38
21. Valores de la DBO ₅ obtenidos en los muestreos de octubre del 2012 y febrero del 2013 en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	38
22. Relación DBO ₅ /DQO en los sitios de muestreo en la microcuenca del Río San Juan.....	40
23. Relación DBO ₅ /DQO en los sitios de muestreo en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	40
24. Toma de muestras de agua para análisis bacteriológico.....	41
25. Familias de macro-invertebrados identificadas en la microcuenca del Río San Juan durante los tres muestreos y su relación con la calidad del agua.....	42
26. Macro-invertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del Río San Juan durante los tres muestreos.....	43

27. Familias de macro-invertebrados identificadas en la microcuenca del Río El Bálamo durante los tres muestreos y su relación con la calidad del agua.....	46
28. Macro-invertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del Río El Bálamo durante los tres muestreos.....	47
29. Relación entre precipitación, escorrentía superficial y agua infiltrada en la parte alta de la microcuenca del Río San Juan, según datos de clima 2008.....	60
30. Relación entre precipitación, escorrentía superficial y agua infiltrada en la parte alta de la microcuenca del Río El Bálamo, según datos de clima 2008...	60
31. Relación entre precipitación, humedad del suelo y producción de agua en la microcuenca del Río San Juan.....	61
32. Relación entre precipitación, humedad del suelo y producción de agua en la microcuenca del Río El Bálamo.....	62
33. Presencia de materia orgánica en el suelo de las fincas cafetaleras.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Captura de macroinvertebrados bentónicos para evaluación de la calidad biológica.....	82
2. Establecimiento de pluviómetros caseros en las fincas cafetaleras evaluadas...	82
3. Balance hídrico del orden de suelo Mollisol en la microcuenca del Río San Juan.....	83
4. Balance hídrico del orden de suelo Mollisol en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	83
5. Balance hídrico del orden de suelo Entisol en la microcuenca del Río El Bálsamo.....	83
6. Mapa de suelos de la parte alta de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo del municipio de San Juan del Río Coco.....	84
7. Uso actual del suelo de la parte alta de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo del municipio de San Juan del Río Coco.....	85
8. Pérdidas de suelo en las fincas Santa Gema y El Porvenir.....	86
9. Medición de pérdidas o ganancias de suelo por erosión hídrica en las fincas....	86

DEDICATORIA

Al lograr la meta que nos planteamos, queremos dedicar el fruto de nuestro esfuerzo al Creador; quién nos dio sabiduría, fuerza, confianza y los medios necesarios para conseguirlo.

A nuestras familias por ser la fuente de motivación y darnos su apoyo incondicional; por los valores inculcados, por sus sacrificios. Cada página de nuestra tesis expresa nuestra profunda gratitud hacia ustedes.

A nuestros maestros, quienes influyeron mucho con sus lecciones para que pudiésemos lograr nuestros objetivos; sobre todo a los que siempre estuvieron brindándonos su ayuda y comprensión. Aquellos que prefirieron sacrificar un poco de su tiempo y con paciencia despejaron nuestras dudas.

A esos amigos que siempre se encontraron listos para brindarnos su apoyo absoluto, por inspirarnos a ser mejores cada día. A las personas que de una u otra manera influyeron en nuestra madurez; este trabajo lleva mucho de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al proyecto PUENTES ejecutado por el Catholic Relief Services (CRS) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), quienes nos brindaron los medios económicos para llevar a cabo la presente investigación.

A la Dr. Martha Orozco Izaguirre e Ing. M.Sc. Mercedes Matus Medina quienes, además de ser nuestras asesoras de tesis, han ocupado parte importante de nuestras vidas; por el interés y confianza depositada en nosotros, por su apoyo, por el tiempo brindado.

A la Ing. M.Sc. María Baca Gómez por su colaboración, consejos, sugerencias y orientación en el avance de este trabajo. Igualmente a la Lic. Martha Myriam Salgado por su valiosa colaboración en la identificación de los macro-invertebrados para evaluar la calidad del agua como indicadores biológicos.

A quienes formaron parte de nuestra experiencia en campo: Lic. Ana Mercedes Poveda, Ing. Miguel Garmendia Zapata, Dr. Benigno González Rivas, Ing. Jennifer Lidia Veenstra y en especial al Dr. Carlos Zelaya Martínez por su constante apoyo en el estudio de los suelos, y que además ha sido parte importante de esta experiencia.

A los técnicos de las cooperativas CORCASAN, UCA San Juan del Río Coco, UCPCO y PRODECOOP R.L. por el apoyo logístico principalmente durante las primeras giras a campo.

Nuestro más sincero agradecimiento a los productores que pusieron a disposición sus fincas para llevar a cabo los ensayos y a sus familias, por la hospitalidad brindada y por hacernos parte de sus vidas durante todo este tiempo; por haber compartido con nosotros tantos momentos gratos y muy especialmente a la familia de Don Salomé Zeledón Vílchez que Dios lo tenga en la gloria.

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el municipio de San Juan del Río Coco, en el período comprendido de mayo 2012 a febrero 2013, el cual tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua superficial y el estado de los suelos en seis fincas cafetaleras ubicadas en las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo, con el fin de proponer alternativas de manejo, que contribuyan al uso sostenible de los recursos naturales. Para evaluar el agua superficial se utilizaron parámetros físico-químicos, bacteriológicos y biológicos (método del BMWP/Col), para generar la línea base como soporte a la toma de decisiones; además de realizar medición de caudales y los balances hídricos correspondientes para cada orden de suelo. En el monitoreo de las pérdidas de suelo por erosión hídrica se utilizó el método clavos y arandelas, para correlacionar los datos de pérdida de suelo se evaluó el porcentaje de cobertura vegetal y se estudiaron las características edáficas. Los resultados indican que los caudales fueron mayores durante toda la etapa del estudio en la microcuenca del Río San Juan). Los parámetros físico-químicos muestran que el pH del agua es neutro a ligeramente alcalino, la conductividad eléctrica está entre los valores recomendados por las normas (CAPRE, 1994). Se identificaron un total de 2229 macro-invertebrados bentónicos, distribuidos en 34 familias taxonómicas. La clasificación biológica del agua resultó moderadamente contaminada. La presencia de coliformes fecales y totales, sobrepasan los límites permisibles dentro de las normas (CAPRE, 1994), fecales: negativos y totales: 4 NMP/100ml. En la finca Santa Gema es donde se dan las mayores pérdidas de suelo debido a las características físicas y pendientes escarpadas, mientras que en la finca La Consentida hubo un depósito de (1.2 mm de suelo). La mayor parte de las tierras son de vocación forestal y están siendo utilizadas para ganadería extensiva con pastos naturales de bajo valor nutritivo. A pesar de que en los suelos se ha establecido el sistema agroforestal de café bajo sombra, se deben de combinar otras prácticas de conservación de suelo y agua.

Palabras claves: microcuenca, uso de la tierra, calidad del agua, erosión, monitoreo.

ABSTRACT

This study was conducted in the municipality of San Juan del Rio Coco from May 2012 to February 2013. The study aimed to assess the quality of surface water and soil condition in six coffee plantations located in the watersheds of San Juan River and El Balsamo River in order to propose management alternatives that contribute to the sustainable use of the natural resources. Physical – chemical, bacteriological, and biological parameters (BMWP / Col method) were used to evaluate the surface water. The results were useful to get a base line necessary to support decision making. In addition, measurements of water flow and hydric valance were made for each soil order. The nails and washers method was used to monitor the soil lost by hydric-erosion. The percent of plant cover was evaluated to correlate it with the soil loss data, and the edaphic characteristic were studied as well. As a result, it was found that in the watershed of the Rio San Juan water flow was higher along the study. Physicochemical parameters showed that water pH ranged from neutral to slightly alkaline; the electrical conductivity matched with the values recommended by the standards (CAPRE, 1994). A total of 2229 benthic macroinvertebrates distributed in 34 taxonomic families were identified. According to the biological classification, water was moderately contaminated. The presence of fecal and total coliforms exceeded the allowed values in the standards (CAPRE, 1994), fecal: negative and totals: 4 MPN / 100ml. Santa Gema farm was identified as the site in which the greater soil lost occurred, due to its physical characteristics and steep hills, while in La Consentida farm there was a soil deposition of 1.2 mm. Most of the land has vocation of forest land and this has been used for extensive livestock with natural pastures lacking of nutritional value. Even though agroforest systems of shaded coffee have been established, another soil conservation practices must be combined.

Keywords: micro-watershed, land use, water quality, erosion, monitoring

I. INTRODUCCIÓN

El manejo inapropiado al cual han sido sometidos durante décadas los recursos naturales ha provocado afectaciones en el territorio nicaragüense, trayendo como consecuencia serios problemas sociales, económicos y ambientales, que ponen en riesgo el bienestar de las presentes y futuras generaciones.

Por el contrario, los enfoques emergentes de desarrollo sustentable con base en el territorio y a diferentes escalas espaciales, ayudan a analizar de una manera integral las estrategias y acciones, que incluyen el uso y manejo sostenible de los recursos naturales. De acuerdo con Zinck (2005), la información de suelos es útil para detectar conflictos de uso, evaluar las aptitudes de las tierras, establecer escenarios y proponer esquemas de usos preferidos.

Además, las propiedades edáficas y la posición de los suelos en el paisaje determinan su susceptibilidad a ser dañados por procesos tales como erosión laminar, formación de cárcavas y movimientos en masa.

La recuperación del suelo es siempre un proceso lento y costoso, por consiguiente, los usuarios del suelo y aquellos encargados en formular políticas necesitan de indicadores no solo para hacer un seguimiento del recurso suelo, sino también para usar como diagnóstico temprano de que el proceso de degradación está comenzando (Trejo *et al.*, 1999). Estos diagnósticos permiten tomar decisiones oportunas que ayudan a revertir o evitar la degradación y por ende conservar el suelo y el agua.

La calidad de las aguas constituye un valioso indicador ambiental, reflejando la interacción de la calidad de la precipitación incidente con las características del área de la cuenca, los procesos operantes en la misma y la influencia del hombre. Según Diéguez, (1999), el desarrollo de la agricultura moderna y, en concreto, el aumento del empleo de fertilizantes en las últimas décadas, supone una gran amenaza para la calidad de las aguas continentales.

En los últimos años muchos estudios han determinado que los cuerpos de agua están sufriendo un proceso de contaminación acelerada causada por un aumento de las entradas de nutrientes como resultado de un incremento de la erosión; esta erosión ha sido ocasionada principalmente por la

constante deforestación y los cambios en el uso del suelo. Los cafetos establecidos en terrenos expuestos al efecto de la erosión presentan poco desarrollo de las raíces, reducción del crecimiento, agotamiento prematuro y por ende mayor propensión al ataque de plagas y enfermedades.

Algunos organismos internacionales han venido trabajando en la sostenibilidad de estos sistemas, manejados principalmente por pequeños productores, a través de la integración de herramientas y resultados científicos de diferentes proyectos para generar estrategias de adaptación ante el cambio climático a fin de garantizar la seguridad alimentaria de las familias cafetaleras en los meses de escasez; además de impulsar la diversificación de cultivos u otros medios de vida alternativos.

Siguiendo este enfoque CRS (Catholic Relief Services), CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) y la UNA (Universidad Nacional Agraria) unieron esfuerzos para realizar una investigación sobre el rescate y revalorización de tecnologías agrícolas para los sistemas cafetaleros en Nicaragua y cultivos alternativos complementarios. La UNA realizó el estudio de ecosistemas como parte complementaria del estudio de vulnerabilidad de los medios de vida de familias cafetaleras en el municipio de San Juan del Río Coco.

De acuerdo a lo antes expuesto, los resultados del estudio base de los recursos hídricos y edáficos con enfoque de cuenca contribuyan con información actualizada que permita al gobierno municipal y técnicos de las diferentes cooperativas cafetaleras que asisten a los productores de café, definir estrategias y acciones para el aprovechamiento y manejo sostenible de los recursos naturales, pero que a su vez esto se refleje en un mejoramiento del nivel y calidad de vida de sus habitantes.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Contribuir a la planificación, con información actualizada de los recursos hídricos y edáficos en seis fincas cafetaleras del municipio de San Juan del Río Coco, Madriz, Nicaragua, con el fin de proponer alternativas de uso y manejo de los recursos naturales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar potencialidades y limitantes de los suelos en 6 fincas cafetaleras.
2. Determinar potencialidades y limitantes de los recursos hídricos superficiales.
3. Evaluar la influencia del uso de la tierra sobre la calidad del agua.
4. Cuantificar las pérdidas de suelo por erosión hídrica laminar.
5. Elaborar propuestas de alternativas de manejo y uso de los recursos naturales (suelo y agua).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

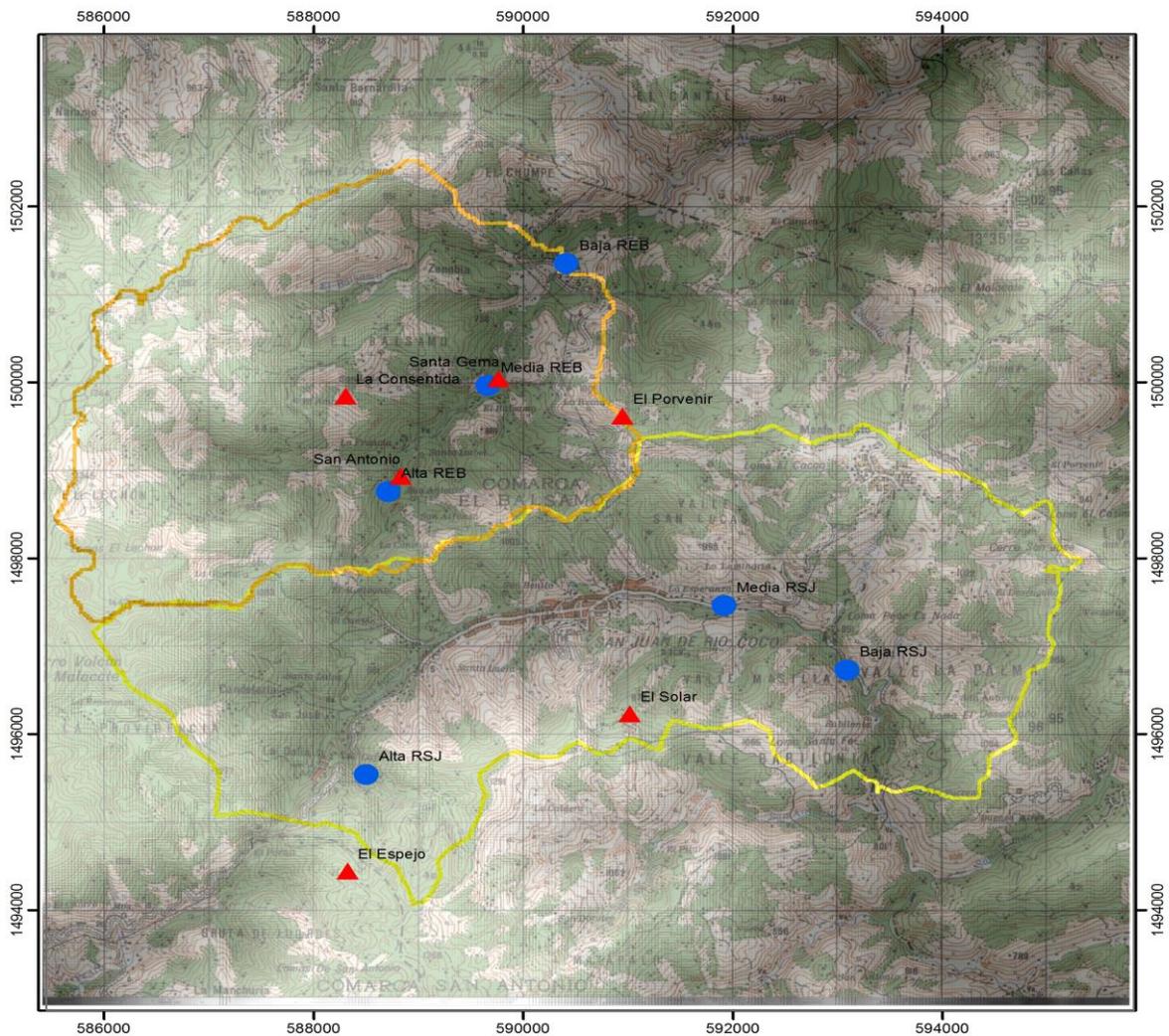
3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

El municipio de San Juan del Río Coco pertenece al departamento de Madriz, su extensión territorial es de 181.65 km², ubicado a 205 kilómetros de Managua y a 65 kilómetros de Somoto.

Se delimitaron dos microcuencas en el municipio, la del Río San Juan (extensión 19.3 km²) y Río El Bálsamo (26.66 km²). Se consideró como área de estudio la parte alta de ambas microcuencas ya que ahí se encuentran ubicadas las fincas cafetaleras consideradas para el estudio (Figura 1).

La parte alta de la microcuenca del Río San Juan se ubica entre las coordenadas 13° 30' 50.4" y 13° 33' 50.4" de Latitud Norte, y los 86° 07' 8.4" y 86° 12' 21.6" de Longitud Oeste; mientras que la parte alta de la microcuenca del Río El Bálsamo se ubica entre las coordenadas 13° 32' 34.8" y 13° 35' 27.6" de Latitud Norte y 86° 09' 28.8" y 86° 12' 36" de Longitud Oeste.



Mapa de Ubicación de los Sitios de Muestreo San Juan de Río Coco, Madriz, Nicaragua

Leyenda

- ▲ Fincas
- Muestreo de aguas
- Microcuenca El Balsamo
- Microcuenca San Juan

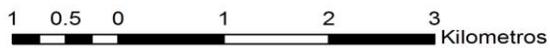


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de San Juan del Río Coco.

3.1.2. Uso potencial de los suelos

Debido a las fuertes limitaciones topográficas el 90.1% del territorio tiene vocación forestal incluyendo área para bosques de protección; el 7.9% del territorio presenta vocación para cultivos pero con uso restringido (INIFOM, s.f.).

3.1.3. Hidrografía

La principal fuente hidrográfica del municipio está compuesta por el Río Coco, que recorre el territorio con dirección oeste al noroeste, que a la vez sirve de límite entre el municipio de San Sebastián de Yalí y el municipio de San Juan del Río Coco, existiendo una abundante fuente hidrográfica compuesta por los ríos San Juan y Almorzadero (INIFOM, s.f.).

Las microcuencas que cubren el municipio se caracterizan por presentar alta velocidad de drenaje por lo accidentado del terreno, arrastre de sedimentos, recorridos cortos y contaminación por el café (beneficio húmedo).

3.1.4. Vegetación

Según INIFOM, s.f, en el municipio se ha reducido el área boscosa debido a la explotación indiscriminada. Al analizar los datos históricos de Geomap de 1982 a escala 1: 250,000 y los mapas topográficos de INETER de 1988 a escala 1: 50,000, muestran que el área boscosa del municipio fue reducida de 219 km² en 1982 a 23.2 Km² en 1995, lo que significa una disminución del bosque de 195.8 Km², equivalentes a una pérdida relativa del 89.4 % del total de los bosques en el área de estudio.

3.1.5. Condición climática

Presenta una precipitación promedio anual de 1,441 mm, con temperaturas que oscilan entre los 22 ° y 23° centígrados, su clima es de Bosque Tropical Húmedo (INIFOM, s.f.).

3.1.6. Características topográficas

La ciudad de San Juan de Río Coco se encuentra asentada y rodeada por cerros que se caracterizan por presentar un relieve muy irregular y abrupto con alturas que oscilan entre los 820 y 840 msnm (INIFOM, s.f.).

3.2. Diseño metodológico

3.2.1. Evaluación de los recursos hídricos

Para el diagnóstico de los recursos hídricos superficiales se emplearon métodos que indicaron el estado de la calidad y cantidad de este recurso. Dada las desventajas que tienen los análisis físico-químicos, en la actualidad están siendo utilizados los organismos bentónicos como macroinvertebrados para determinar la calidad de las aguas fluviales, por ser un método fácil de usar y además porque no implica grandes costos en la implementación (Roldan, 1998).

A diferencia de los análisis físico-químicos estos organismos pueden predecir efectos acumulativos importantes en cuanto al tiempo, por la duración de la vida de los organismos (Roldan, 1998).

Se establecieron tres puntos de muestreo en cada una de las microcuencas seleccionadas (parte alta, media y baja de la parte alta de ambas microcuencas), para identificación de macroinvertebrados y en cada punto se tomaron muestras de agua para análisis físico-químicos y bacteriológicos.

Tanto el muestreo de agua físico-químico como el de bioindicadores, se definieron según los puntos críticos o áreas claves (sitios puntuales donde se viertan aguas residuales o aguas mieles) donde se pudieron establecer estaciones de muestreos. Para determinar el balance hídrico de las microcuencas se tomaron como referencia los datos meteorológicos de las estaciones ubicadas en el área de estudio y las características físicas de los suelos.

· **Mapa de Microcuencas**

Se elaboró a partir del Modelo de Elevación del Terreno a través del Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10. En este estudio se delimitó la parte alta de cada una de las microcuencas, en las cuales se seleccionaron tres sitios de monitoreo: parte alta, media y baja.

a) **Cantidad de agua**

· **Aforo con Molinete**

Se seleccionó un sitio adecuado, de tramo recto, de sección uniforme, la sección debía ser perpendicular al eje del cauce. El canal se dividió en secciones parciales, dependiendo del ancho del cauce, donde se midió la altura del nivel del agua (Figura 2).

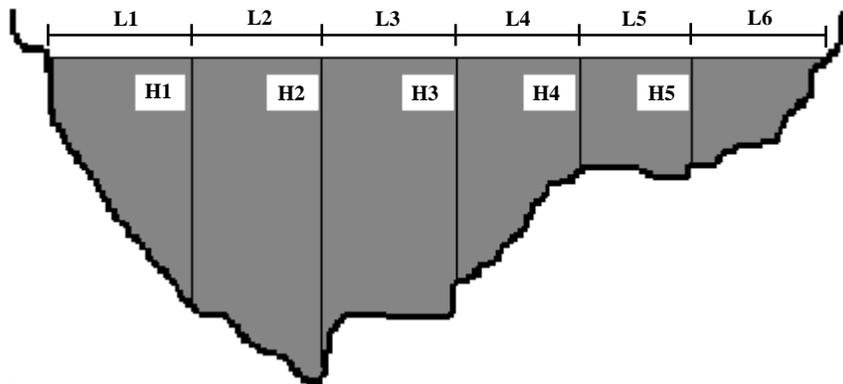


Figura 2. Secciones parciales para el cálculo del área transversal del cauce del río.

El caudal circulante se determinó utilizando la fórmula que se detalla a continuación:

$$Q = A \times V$$

Donde, Q= Caudal (m³/s)

A= Área de la sección transversal (m²)

V= Velocidad (m/s)

· **Balace hídrico del suelo**

A partir de datos meteorológicos disponibles, y para cada una de las situaciones de la microcuenca, se calcularon los balances hídricos, para diferentes hipótesis de capacidad de campo del suelo. Los elementos que intervienen en dicho cálculo y que se hizo preciso determinar fueron los siguientes:

- Capacidad de almacenamiento de agua de la zona susceptible de evapotranspiración, que dependiera de la profundidad del sistema radical y de la textura del suelo.
- Se requirió para su cálculo datos de los siguientes parámetros: Densidad aparente del suelo, Textura, Profundidad de enraizamiento, Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Contenidos de elementos gruesos (volumen) (TRAGSA, 1994).
- Matemáticamente se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{CRAD = H \times Da \times (CC - PMP) / 100}$$

Donde, CRAD= Capacidad de Retención de Agua Disponible

H= Profundidad del suelo (cm) a la que llegan las raíces

Da= Densidad aparente del suelo (gr/cm³)

CC= Capacidad de Campo (%)

PMP= Punto de Marchitez Permanente (%)

- Temperaturas medias mensuales (T): obtenidas a partir de mediciones directas.
- Evapotranspiración potencial (ETP): determinada por alguno de los métodos existentes (Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman, etc.). Para el estudio se utilizó el método Thornthwaite y se procedió a como sigue:
- Se calculó un índice de calor mensual a partir de la temperatura media mensual:

$$\mathbf{i = (t/5)^{1.514}}$$

Donde, i= Índice de calor mensual

t= Temperatura media mensual

- Se calculó el índice de calor anual I, suma de todos los valores de i
- Se calculó la ETP mensual sin corregir mediante la fórmula:

$$\mathbf{ETP_{sin\ corr} = 16 \times (10 \times t/I)^a}$$

Donde, ETP sin corr= Evapotranspiración potencial mensual sin corregir

t= temperatura media mensual

I= Índice de calor anual

a= $675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0.49239$

- ETP corr = ETP sin corr x Factor de corrección (f) de acuerdo con el mes considerado y a la latitud de la localidad que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen de una tabla.
- Pluviometría media mensual (P): obtenidas a partir de registros en la zona.
- Pérdidas o adiciones potenciales de la humedad del suelo (P-ETP): los valores positivos corresponden a adiciones potenciales y los negativos a pérdidas potenciales, ambos relativos al contenido de humedad en el suelo. Los meses con valores positivos constituyen el período húmedo y aquellos con valores negativos, el período seco.
- Pérdida potencial acumulada (p.p.a.): para cada mes se obtuvo como suma de las pérdidas potenciales existentes en dicho mes y los anteriores.
- Agua almacenada en el suelo (RES): es la cantidad de agua capilar contenida por el suelo, que depende de la capacidad de campo y de las pérdidas potenciales acumuladas.

$$\mathbf{RES = CRAD \times e^{(ppa/CRAD)}}$$

Donde, RES= Agua almacenada en el suelo

ppa= Pérdida potencial acumulada

CRAD= Capacidad de Retención de Agua Disponible

- Cambios de la humedad acumulada en el suelo (ΔRES): para cada mes se obtiene por la diferencia entre la humedad que contiene al final del mismo y la de su inmediato anterior.
- Evapotranspiración real (ETR): para los meses en que las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial su valor es igual al de ésta. Para los meses en que la evapotranspiración potencial supera a las precipitaciones su valor es igual al de éstas más las pérdidas de agua almacenadas en el suelo:

$$\mathbf{ETR = P + (\Delta ST)} \text{ en el período seco}$$

Donde, ETR= Evapotranspiración real

P= Precipitación

ΔST = Pérdidas de agua almacenada en el suelo

$$\mathbf{ETR = ETP \text{ en el período húmedo}}$$

Donde, ETR= Evapotranspiración real

ETP= Evapotranspiración potencial

- Déficit de humedad: es igual a la diferencia entre la evapotranspiración potencial y real:

$$\mathbf{D = ETP - ETR}$$

- Exceso de humedad (S): su valor es la diferencia (P – ETP)- ΔRES). Sólo tiene existencia en los meses en que P – ETP sea positivo y además el suelo alcance su capacidad de campo, pues en caso contrario la diferencia pasa a engrosar el contenido en humedad del suelo (TRAGSA, 1994).

b) Calidad del agua superficial

El principal criterio establecido para seleccionar las microcuencas fue que en esas áreas de captación estuvieran ubicadas las seis fincas en estudio. En las microcuencas las estaciones de monitoreo de calidad de agua fueron los mismos sitios donde se determinó el caudal circulante de los ríos y la selección de estos sitios se hizo con el objetivo de tratar de abarcar un transecto bastante amplio y considerar posibles fuentes de contaminación a lo largo del mismo.

Los criterios utilizados para la toma de muestras fueron áreas con influencia humana, áreas agropecuarias y forestales e influencia de los beneficios húmedos.

Se realizó un muestreo con el propósito de tratar de relacionar el posible efecto del uso de agroquímicos en las poblaciones de macro-invertebrados. En cada uno de los sitios se tomaron muestras de agua para realizar los análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

· Calidad físico-química del agua

Para determinar la calidad físico-química del agua se utilizaron parámetros físico-químicos tales como pH, temperatura, Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, con el objetivo de determinar la carga de contaminantes residuales vertidos por caseríos y beneficios húmedos de café situados en las áreas protegidas cercanos a la ribera de los ríos.

La cantidad de agua de cada muestra fue de dos litros, suficientes para determinar los parámetros antes expuestos, tomando las medidas necesarias para no alterar las muestras (frascos homogenizados, ausencia de aire en la muestra, enjuagar los frascos con agua del río tres veces, conservar las muestras en un termo con hielo, entre otras).

Posteriormente fueron trasladadas al Instituto de Capacitación, Investigación y Desarrollo Ambiental (CIDEA) de la Universidad Centroamericana (UCA), para su análisis correspondiente. Los métodos empleados para determinar los parámetros físico-químicos, bacteriológicos y biológicos se reflejan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros físico-químicos, bacteriológicos y biológicos analizados

Calidad	Unidad	Método
Físico-química		
pH	Unidades de pH	Potenciométrico 4500-H ⁺ B
CE	µmhos/cm	2510-B
Sodio	mg.l ⁻¹	3500-Na.B
Calcio	mg CaCO ₃ /l	Titulométrico
Magnesio	mg CaCO ₃ /l	Por diferencia
Dureza total	mg CaCO ₃ /l	Titulométrico
Amonio	mg NH ₃ -N/l	4500-NH3
Nitritos	mg N-NO ₂ /l	Espectrofotométrico
Nitratos	mg N-NO ₃ /l	Reducción de Cadmio Modificado
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /l	Potenciométrico 2320-B Modificado
Turbidez	UNT	Turbidímetro
DBO ₅	mg/l ⁻¹	5210-B
DQO	mg/l ⁻¹	5220 C
Bacteriológico		
Coliformes fecales	NMP/100ml	Fermentación de tubos múltiples
Coliformes totales	NMP/100ml	Fermentación de tubos múltiples
Biológica		
Macro-invertebrados		Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Calidad bacteriológica del agua

Para la toma de muestras de agua en cada uno de los sitios muestreados se utilizaron bolsas de pírax que luego se llevaron al laboratorio para su posterior análisis. Para ello se utilizó el método de fermentación de tubos múltiples (ver Cuadro 1).

· *Calidad biológica del agua*

La captura de macro-invertebrados, se realizó en los mismos sitios seleccionados para la evaluación de los parámetros fisicoquímico, bacteriológico y en las estaciones o sitios de aforo, en tramos de 100 metros. La captura de los organismos se hizo utilizando coladores plásticos, mediante los cuales se extrajo todo tipo de material presente en la superficie y el fondo de la corriente (hojarasca, debajo de las piedras, troncos, entre otros), el cual fue depositado en bandejas plásticas para capturar los organismos presentes utilizando pinzas entomológicas (Anexo 1).

Para conservar los ejemplares capturados, se depositaron en frascos con alcohol etílico 70 % para posteriormente ser llevados al laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria para su debida clasificación. El puntaje es de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (ver cuadro 2). Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuridae, reciben un puntaje de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo Tubificidae, reciben una puntuación de 1 (Armitage *et al.*, 1992).

La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon) es el puntaje total BMWP dividido entre el número de los taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los ASPT tienen un puntaje de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indica condiciones graves de contaminación (Roldan, 2003).

Cuadro 2. Puntajes dados a las diferentes familias de macro-invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

Familias	Puntaje (BMWPcol)
Perlidae, Oligoneuridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hidridae, Chordodidae, Lymnessiidae “hidracáridos”, Polythoridae, Gomphidae	10
Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae	9
Veliidae, Gerridae, Philopotamidae, Simuliidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelpusidae, Hebridae, Hydrobiidae	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohyphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Hydroptilidae, Caenidae	7
Ancyliidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Staphylinidae, Limnychidae, Neritidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Corydalidae	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbidae	5
Chrysomelidae, Mesovelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae	4
Hirudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae	2
Oligochaeta (Tubificidae)	1

Fuente: Armitage et al., 1992.

De acuerdo con el ASPT obtenido en cada situación, se calificaron las distintas clases de agua, asignándole a cada una de ellas un color determinado como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clases de calidad de agua según valores BMWP/Col y ASPT

Clase	Calidad	BMWP/Col	ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150 101-120	9 -10	Aguas muy limpias, Aguas no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	61-100	7 – 9	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	5 – 7	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	3 – 5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	0 – 3	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Armitage et al., 1992.

c) Evaluación de la calidad del entorno

Se realizó la evaluación de la calidad del entorno de los sitios muestreados, utilizando el índice de integridad física de la estación de monitoreo, elaborada por la Environmental Protection Agency (2001) y Modificada por García (2003).

Parte de la información que se recolectó para aplicar esta metodología fue la siguiente: sustrato disponible para fauna, perturbación de los hábitats disponibles, deposición de sedimentos, alteración del canal, frecuencia de hábitat, estabilidad del canal, protección por vegetación, ancho de la zona riparia, entre otras. A cada parámetro se le asignó una puntuación, calificándose de acuerdo a las categorías que aparecen en el cuadro 4.

Cuadro 4. Categorías para la clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo

Clasificación	Puntaje
Óptimo	16 – 20
Sub-óptimo	10 – 15
Marginal	5 – 10
Pobre	0 – 5

Fuente: Armitage et al., 1992.

3.2.2. Caracterización de suelos

La caracterización de los suelos de las fincas se realizó a través de observaciones directas. Se hizo una descripción macro-morfológica que consistió en el estudio de las características externas e internas que en su conjunto conforman el perfil de suelo (Figura 3).

Se realizaron observaciones en zanjas o calicatas para identificar las características físicas y químicas de los suelos en las microcuencas.

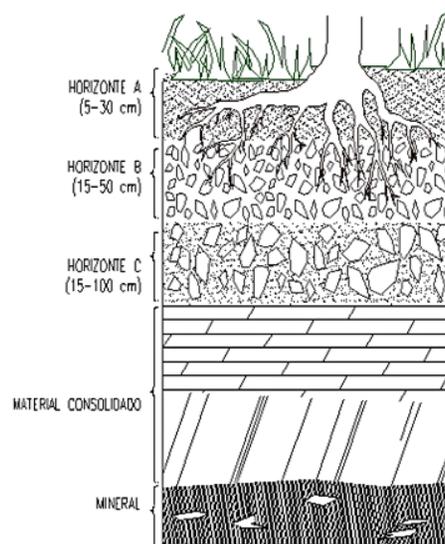


Figura 3. Perfil del suelo.

Fuente: MinAmbiente / ECOCARBON, 1998.

En cada punto de observación se hizo una descripción de las características externas (relieve, drenaje, pendiente, pedregosidad, erosión, riesgos de deslizamiento o inundaciones, uso actual) e internas (subdivisión, textura, estructura, color, consistencia, raíces y poros). La descripción de los suelos se hizo con el propósito de conocer sus restricciones y potencialidades.

Se extrajeron muestras de cada horizonte para ser analizadas en LAQUISA (Laboratorios Químicos S.A.). Se tomaron 6 muestras de 3 perfiles representativos de suelos en la microcuenca del Río San Juan y 4 muestras de los 3 perfiles representativos en la microcuenca del Río El Bálsamo, para luego proceder a la clasificación definitiva de los mismos de acuerdo al método Soil Taxonomy 2006.

a) Cuantificación de ganancias o pérdidas de suelo

· Clavos y arandelas

Se utilizaron 10 clavos de acero de 30 cm de longitud para cada set como se muestra en la figura 4; marcando con pintura de aceite color amarillo 10 cm de longitud del clavo, de tal forma que las diferencias de altura entre la parte superior del clavo y el nivel del suelo, representan el nivel de pérdidas de éste (Figura 5).

Para la frecuencia del registro se realizaron lecturas después de haberse registrado precipitaciones muy significativas durante la etapa lluviosa; los registros permitieron calcular las pérdidas o acumulaciones en términos de peso, correspondiendo cada situación (pérdida o acumulación) a una altura, que para el conjunto de clavos origina una altura promedio, dato que junto al del área de trabajo, permite determinar el volumen de suelo perdido.

El monitoreo mide la diferencia de altura entre la línea de pintura inicial y la final, determinando la lámina de suelo erosionada o sedimentada. La cuantificación de los resultados se hace a través de la siguiente fórmula.

$$E = H \times A \times Da$$

Donde, E= Erosión o pérdida de suelo (mm o ton/ha)

H= Altura de la lámina perdida (cm o mm)

A= Área medida (m² o Ha)

Da= Densidad aparente (g/cm³)

$$S = H \times A \times Da$$

Donde, S= Suelo sedimentado (mm o ton/ha)

H= Altura de la lámina acumulada (cm)

A= Área medida (m²)

Da= Densidad aparente (g/cm³)

$$EN = E - S$$

Donde, EN= Erosión Neta (mm o ton/ha)

E= Erosión o pérdida de suelo (mm o ton/ha)

S= Suelo sedimentado (mm o ton/ha)

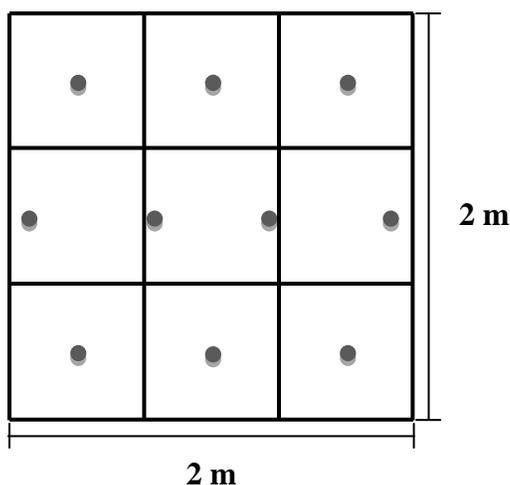


Figura 4. Distribución de los clavos en cada uno de los sets.

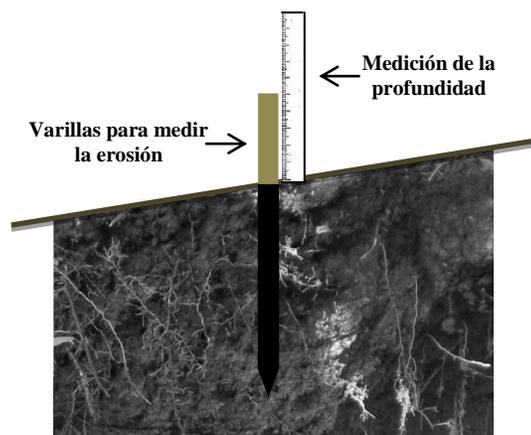


Figura 5. Lecturas de los clavos para medir las pérdidas de suelo en milímetros.

· *Evaluación de sombra con densiómetro*

Se midió la sombra en el centro de cada cuarto de hectárea siguiendo la metodología propuesta por la Asociación Nacional del Café en Guatemala (Anacafé, 2006).

El densiómetro se orientó hacia el Norte, Sur, Este y Oeste. En cada cuadrado del espejo se imaginó 4 puntos igualmente espaciados (figura 6) y luego se procedió a contar el número de puntos no cubiertos por los doseles.

El densiómetro utilizado tenía 24 cuadros, y cada cuadro 4 puntos, que corresponde a un total de 96 puntos. Así la suma de los puntos sin cobertura menos 100 multiplicado por 1.04, da el porcentaje de cobertura. Luego se promediaron las 4 mediciones (N, S, E y O) del punto. Este método fue empleado en cada uno de los set de las seis fincas cafetaleras estudiadas.



Figura 6. Orientación del densiómetro para evaluación de sombra.

· *Establecimiento de pluviómetros caseros*

Se establecieron un total de 6 pluviómetros, uno por cada finca. Los productores fueron capacitados para el registro de lluvias utilizando un formato de apuntes, realizándose registros diarios a las 7:00 am, 1:00 pm y 7:00 de la noche, se recolectaron los datos cada mes para poder analizar su relación con los rendimientos y la tasa de erosión.

Los pluviómetros caseros se construyeron con envases de botellas plásticas de 3 litros, el fondo de las botellas fue relleno con plastilina para que quedara a nivel y no interfiera en el momento de la lectura, con una cinta adhesiva se fijó una regla transparente para poder leer, según el nivel de agua captado por la botella, la cantidad de lluvia caída en mm (Anexo 2).

b) Características físicas del suelo en cada parcela

· Densidad Aparente

Se determinó la densidad aparente para calcular la pérdida o ganancia de suelo, y se realizó por cada set instalado. La densidad aparente del suelo se determinó utilizando métodos de campo (Figura 7), procediendo de la siguiente manera:

Paso 1. Usando una pala recta se extrajo suelo, quedando un hueco.

Paso 2. Una vez extraído se depositó en una bolsa para determinar su peso en una balanza de precisión.

Paso 3. Se colocó una bolsa plástica en el hueco realizado y se le agregó agua hasta que estuviese a nivel con la superficie del suelo.

Paso 4. El volumen de agua se midió con una probeta.

Paso 5. El volumen de suelo extraído se llevó al laboratorio para secarlo durante 24 horas a una temperatura de 105 °C para obtener el peso seco.

Una vez registrados los datos en nuestras respectivas hojas de trabajo se utilizó la fórmula siguiente para el cálculo de la densidad aparente:

$$\text{Dap} = \frac{\text{Peso del suelo secado en el horno (g)}}{\text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}}$$



Figura 7. Determinación de la densidad aparente utilizando métodos de campo.

· ***Determinación de materia orgánica en campo***

Para demostrar la existencia de materia orgánica en el suelo, se utilizó agua oxigenada (H_2O_2), que en presencia de materia orgánica reacciona y se descompone en agua normal y libera oxígeno. La materia orgánica del suelo procede de los seres vivos que habitan en él, fundamentalmente de los vegetales.

La prueba de campo consistió en adicionar un poco de agua oxigenada en la muestra de suelo para observar si ocurría o no alguna reacción. Se obtuvieron de forma cualitativa los resultados y se definieron según la siguiente descripción:

- Ninguna: si no hay efervescencia (no contiene materia orgánica).
- Ligera: si se observa una leve efervescencia (hay presencia pero en pequeñas cantidades).
- Fuerte: si se observa una efervescencia fuerte (contiene gran cantidad de materia orgánica)

· ***Infiltración de agua en el suelo***

Se realizaron pruebas de infiltración de agua en el suelo en cada parcela donde estaban instalados los set de clavos para medir pérdidas de suelo por erosión hídrica, utilizando anillos de acero de 6cm de diámetro.

La textura o porcentaje de arena, limo y arcilla, afecta el régimen de infiltración. Usualmente, suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces (Hillel, 1982).

La infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios porosos son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas, o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos (Donahue *et al.*, 1997).

En el cuadro 5 se muestran las velocidades de infiltración y las clases de infiltración pertinentes, estas son las clases de permeabilidad históricamente usadas en el reconocimiento edafológico del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA, 1993).

Los materiales utilizados en la medida de infiltración fueron: un anillo de 6 pulgadas de diámetro, envoltura plástica, probeta graduada de 500 ml y un cronómetro. Los pasos que se siguieron para realizar la prueba de infiltración del suelo fueron los siguientes:

Paso 1. Afirmar el Suelo: con el anillo emplazado en su sitio, con los dedos y con mucho cuidado, se afirmó suavemente el suelo solamente alrededor de los bordes internos del anillo para prevenir filtraciones adicionales. Evitando disturbar el resto de la superficie del suelo dentro del anillo.

Paso 2. Cubrir el anillo con una envoltura de plástico: se cubrió con una lámina de plástico, el anillo y la superficie del suelo dentro del anillo. Este procedimiento evitó disturbar la superficie del suelo al agregar agua.

Paso 3. Agregar Agua: se llenó de agua el anillo recubierto con la envoltura de plástico.

Paso 4. Remover plástico y registrar el tiempo: se sacó la cobertura de plástico tirando con cuidado hacia fuera, dejando el agua dentro del anillo y anotando de inmediato el tiempo. Algunas de las imágenes al momento de realizar las respectivas pruebas de infiltración se muestran en la figura 8.

Cuadro 5. Velocidades de infiltración y clases de infiltración pertinentes

Velocidad de infiltración (centímetros/minutos)	Velocidad de infiltración (centímetros/hora)	Clases de infiltración
<1.18	> 50.80	Muy rápido
1.18 – 3.94	15.24 – 50.80	Rápido
3.94 – 11.81	50.80 – 15.24	Moderadamente rápido
1.81 – 39.37	15.24 – 50.08	Moderado
39.37 – 118.11	5.08 – 1.52	Moderadamente lento
118.11 – 393.70	1.52 – 0.51	Lento
393.70 – 15,748.03	0.51 – 0.0038	Muy lento
> 15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Fuente: USDA, 1993.



Figura 8. Ejecución de las pruebas de infiltración.

· ***Textura del suelo empleando probeta***

La textura del suelo en las parcelas de erosión se determinó con una probeta. Se extrajeron 10 cm de suelo y se depositaron en la probeta con capacidad de 1000 ml, a la cual se le agregó agua hasta llegar a los 1000 ml, se agitó el suelo hasta que no contuviera ningún terrón, se dejó reposar por un minuto y se midió con una regla la cantidad de arena que había decantado en el fondo, después de dos horas se efectuaron lecturas del material que se había depositado encima de la arena correspondiente a la arcilla y limo.

· ***Textura del suelo al tacto***

En campo se determinó la textura del suelo por el método del tacto para la descripción de los perfiles en cada uno de los sitios muestreados en ambas microcuencas y se procedió según el esquema metodológico que se presenta en la figura 9.

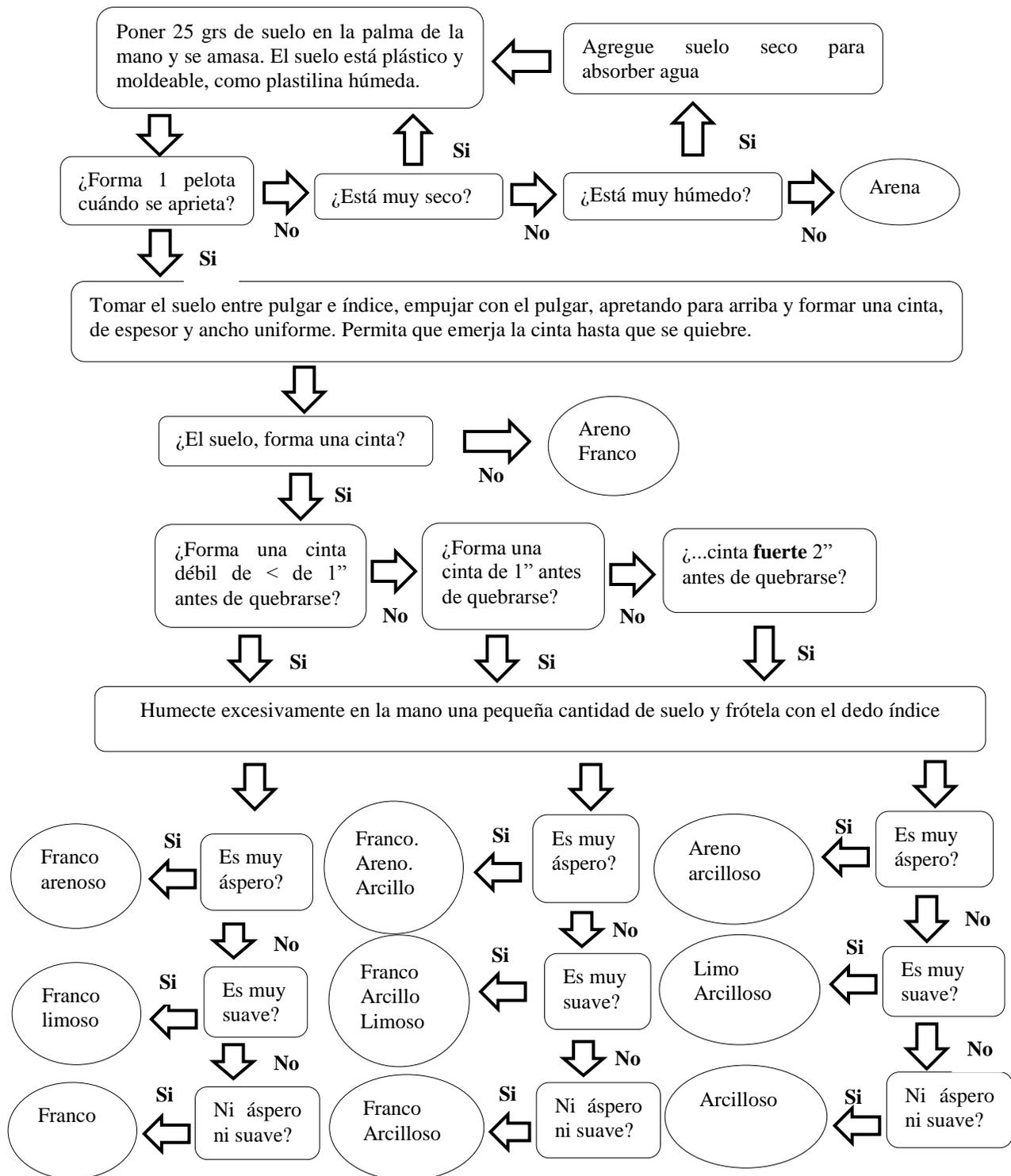


Figura 9. Procedimiento para determinar textura al tacto.

· *pH del suelo*

El pH del suelo en cada set instalado se determinó con un pHmetro móvil.

3.2.3. Modelo SWAT (Herramienta para Evaluar Suelo y Agua)

A través de modelos hidrológicos se realizó un análisis para relacionar de forma combinada el uso del suelo, la pendiente, la precipitación y el tipo del suelo con la generación de caudales y sedimentos, elementos fundamentales para priorizar áreas por su importancia actual o potencial para producir agua y retener sedimentos.

El estudio sigue tres pasos importantes:

Paso 1. Recopilación, ajuste y sistematización de la información biofísica de la microcuenca necesaria para el análisis hidrológico.

Paso 2. Simulación del balance hídrico, calibración y validación.

Paso 3. Priorización de las áreas que tienen una mayor contribución al caudal en la zona baja de la microcuenca.

Estas áreas no deberán ser únicamente aquellas que actualmente proveen la mayor cantidad de agua sino las que con un cambio en su uso o manejo pueden mejorar su nivel de provisión actual.

Existen extensiones para la aplicación de SWAT en un SIG, por lo que se trabajó el modelo SWAT basado en ArcGIS 10.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Aforo de corrientes

Se determinaron los caudales circulantes en los tres sitios de muestreo de agua en las partes alta de las microcuencas del Río San Juan y del Río El Bálsamo. El aforo de las corrientes se midió en tres momentos; un primer momento fueron los días 24 y 25 de agosto, un segundo momento en los días 12 y 13 de octubre del 2012 y un tercer momento el 01 de febrero del 2013, como se muestra en el cuadro 6 donde se detallan los resultados de la medición del caudal circulante para cada microcuenca.

En los tres momentos en que se determinó el caudal de los sitios seleccionados, se observó un flujo continuo (no había presencia de aguas estancadas).

Cuadro 6. Caudales medidos en las microcuencas del Río San Juan y del Río El Bálsamo

Fecha	Sitios muestreados Río San Juan		
	Alta m ³ /s	Media m ³ /s	Baja m ³ /s
24/08/2012	0.023	0.186	0.189
12/10/2012	0.021	0.327	0.403
01/02/2013	0.017	0.191	0.169
Sitios muestreados Río El Bálsamo			
25/08/2012	0.002	0.129	0.134
13/10/2012	0.006	0.198	0.314
01/02/2013	0.005	0.154	0.172

Se observa un mayor caudal en los muestreos realizados durante el mes de Octubre debido a las precipitaciones que suceden en esa época del año.

Según las figuras 10 y 11, el caudal circulante mantiene una tendencia de aumento a la salida del área de drenaje (parte baja), en las dos microcuencas. En los tres momentos de medición los caudales resultaron ser mayores en la microcuenca del Río San Juan, probablemente debido a que esta tiene más afluentes que drenan sus aguas en el cauce de este río. Además, en su parte media se vierten las aguas residuales de la población que habita en la cabecera municipal.

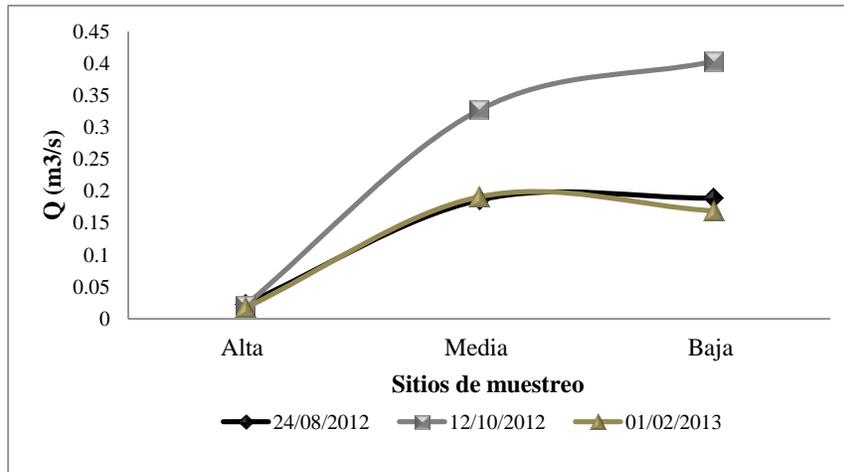


Figura 10. Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua en la microcuenca del Río San Juan.

El caudal del Río San Juan en las mediciones de los meses de agosto y febrero tienen la misma tendencia (valores casi iguales). En el mes de agosto se da el período canicular lo que hace que el caudal de los ríos sea menor y en febrero las lluvias son mínimas, por tanto el aporte al río se hace por flujo subsuperficial.

A pesar que el caudal disminuye, estos ríos no se secan debido a la cobertura vegetal que sirve de interceptación del agua de lluvia y permite la infiltración de agua en el suelo y con ello la recarga del acuífero, manteniendo un caudal circulante en época de estiaje. Los ríos sufren variaciones en su caudal, ya que aumenta en las estaciones lluviosas y disminuye en las secas.

En la figura 11 se evidencia el aumento de caudal en la época húmeda (mes de Octubre) y a la vez la disminución del mismo en los meses de febrero y agosto, en la microcuenca del Río El Bálsamo. Se debe destacar que en el mes de febrero ocurrieron precipitaciones que aumentaron el caudal en el río.

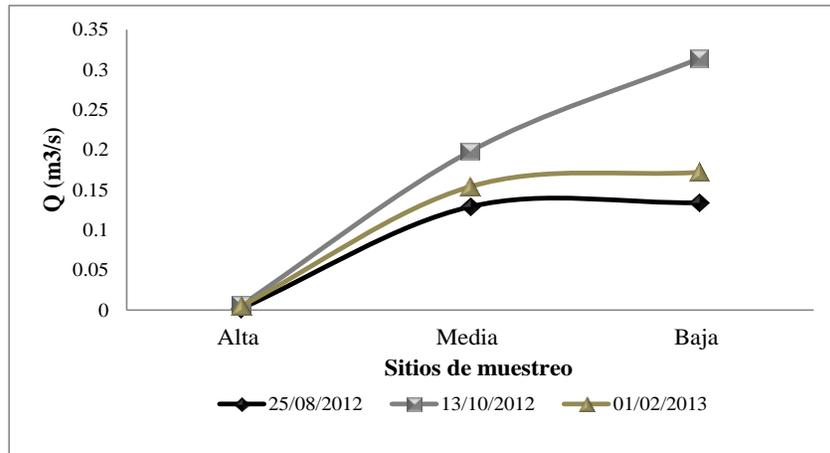


Figura 11. Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua en la microcuenca del Río El Bálsamo.

4.2. Balances hídricos de los suelos en las microcuencas

Para la planificación del agua en la microcuenca se determinó el balance hídrico de los suelos. Cada microcuenca cuenta con un volumen de agua para la satisfacción de las diversas demandas, por lo que tomar más volumen del que naturalmente tiene disponible llevaría a la misma a una sobreexplotación hídrica. Por tanto la planificación hidrológica debe tener como fin último la satisfacción de las demandas hídricas en el área de captación.

Los balances hídricos de los suelos de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo (figura 12 y 13; anexos 3 al 6) indican que las precipitaciones para el año 2050 serán mayores en los meses de Septiembre y Octubre, meses en los que se da la ocurrencia de huracanes en nuestro país. Independientemente que tiende a llover más en esos meses, se presenta un marcado déficit de agua en los mismos, disminuyendo significativamente en los meses de noviembre y diciembre.

Los mayores déficits de agua en el suelo se dan en los meses de enero a abril que corresponde a la época en que la cobertura vegetal hace uso de las reservas de agua acumulada en el suelo. En el mes de mayo debido a que inicia la época húmeda el déficit es menor.

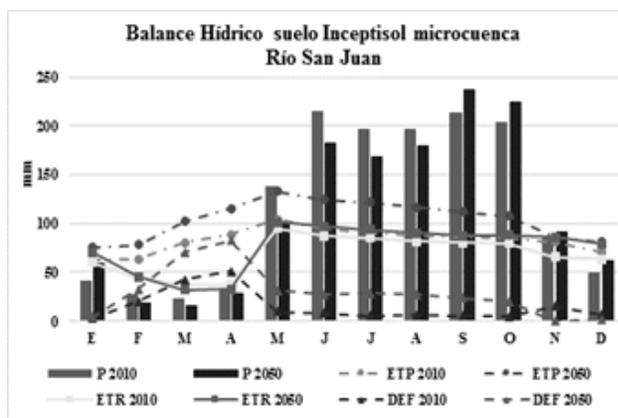


Figura 12. Balance hídrico del orden de suelo Inceptisol en la microcuenca del Río San Juan.

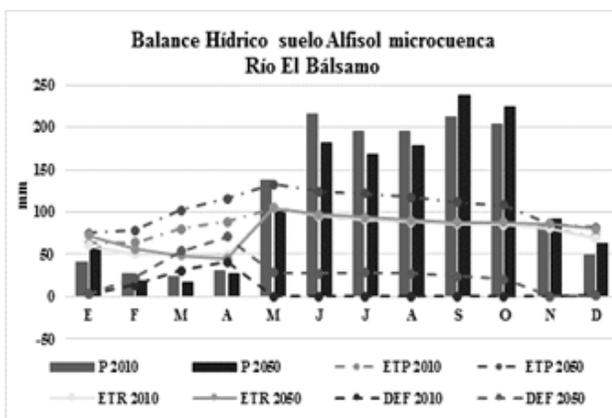


Figura 13. Balance hídrico del orden de suelo Alfisol en la microcuenca del Río El Bálamo.

4.3. Oferta de agua disponible

La oferta de agua se calculó a partir de los excesos que se obtuvieron en el balance hídrico determinado, según los órdenes de suelos identificados en las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálamo. Por los valores obtenidos, la oferta hídrica es positiva en el área estudiada, sin embargo la mayor parte de esta agua se pierde por escorrentía superficial.

El uso de una cobertura vegetal densa en las áreas de mayores pendientes permiten que sea efectiva la recarga de los acuíferos y con ello la permanencia del caudal circulante. De seguir incrementando las áreas con pastizales en la microcuenca del Río El Bálamo y que se sigan realizando actividades agrícolas inadecuadas, se favorecerán los procesos erosivos. Impidiendo de esta manera que el agua se infiltre, percole y recargue el acuífero, repercutiendo en un futuro en quebradas o ríos secos.

Cuadro 7. Oferta de agua de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálamo

Microcuenca	Orden de Suelo	Área km ²	Clima Actual 2010	Clima Futuro 2050
			MMC/año	MMC/año
Río San Juan	Inceptisol	12.43	7.23	4.42
	Molisol	10.99	6.4	3.91
	Alfisol	3.25	1.9	1.2
Total			15.53	9.53
Río El Bálamo	Alfisol	10.62	61.82	37.8
	Molisol	5.54	32.28	16.91
	Inceptisol	3.13	18.05	12.28
Total			112.15	66.99

El cuadro 7 muestra la tendencia de la disponibilidad de agua en la microcuenca. En las dos áreas de captación se puede notar que disminuirá casi el 50% de agua disponible para el año 2050, lo que puede provocar inestabilidad en el ecosistema.

4.4. Calidad del agua superficial

El primer muestreo de agua se hizo en el mes de octubre, antes de que iniciaran el corte de café en ambas microcuencas, esto para tener una base de la composición química del agua antes de que se viertan aguas mieles a las quebradas durante el beneficio del café. Se realizó un segundo muestreo a finales de Enero para determinar la composición química del agua en la temporada de corte de café, época en que algunos productores vierten aguas mieles a los ríos.

Aparte de la cantidad, la calidad de las aguas es un aspecto esencial en el uso del agua para riego, para consumo humano y como un condicionante de los ecosistemas de ríos y riberas. La calidad del agua representa un importante control sobre la actividad humana y utilización del recurso. Existen parámetros de calidad mínima estándar para los varios usos del agua que en caso de disminuir por debajo de valores umbrales inhiben el uso de este recurso. Se describen a continuación los parámetros para evaluar la de calidad biológica de agua.

4.4.1. Calidad físico-química del agua

Se determinaron los siguientes análisis con el objetivo de determinar la carga de contaminantes residuales y aguas mieles vertidas por productores de café asentados en caseríos cerca de la ribera de los ríos.

En el cuadro 8 se muestran los principales resultados físico-químicos obtenidos en ambas microcuencas; así como también los valores recomendados por las normas que regulan la calidad del recurso tanto para consumo humano como para los diversos usos que el hombre hace de ella. El hecho de comparar algunos parámetros con normas internacionales ocurre debido a que en la legislación nicaragüense (NTON 05 007-98, 2000) no registra valores guías para los mismos.

Cuadro 8. Resultados del ensayo físico-químico del agua

Parámetros	Microcuenca del Río San Juan						Microcuenca del Río El Bálsamo						Límite o rango máximo
	Primer muestreo			Segundo muestreo			Primer muestreo			Segundo muestreo			
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	
pH (Unidades de pH)	6.8	7.4	7.51	6.02	6.92	6.98	6.86	7.25	7.23	7.66	6.94	7.4	6 - 8.5 (*)
CE (µmhos/cm)	64.9	212	215	73.7	258	256	343	177.7	210	379	188.6	220	400 (**)
Sodio (mg/l ⁻¹)	5.28	11.7	11.2	6.09	12.58	13.38	15.48	9.09	10.45	17.84	9.76	13.35	200 (**)
Calcio (mg/l ⁻¹)	20	20	46	32	101	75	109	42	44	57	30	75	100 (**)
Magnesio (mg/l ⁻¹)	28	60	44	0	12	40	47	80	40	120	46	15	50 (**)
Dureza total (mg/l ⁻¹)	48	80	90	26	113	115	156	122	84	177	76	90	400 (*)
Amonio (mg/l ⁻¹)	0.01	0.12	0.08				0.06	0.04	0.06				0.5 (**)
Nitritos (mg/l ⁻¹)	<1.d	0.001	0.009	<1.d	0.072	0.052	0.01	0.004	0.007	0.035	0.017	0.035	0.1 (**)
Nitratos (mg/l ⁻¹)	<1.d	<1.d	<1.d	0.41	0.38	0.36	<1.d	<1.d	<1.d	0.6	0.37	0.48	50 (**)
Alcalinidad total (mg/l ⁻¹)	55.6	92.6	92.6	130.2	104.9	95.9	126	70.4	85.2	166.8	86.8	88.6	20 (***)
Turbidez (UNT)	18.56	120	149	2.23	4.13	27.89	19.59	23.5	29.87	12.68	12.73	18.09	<5 (*)

* Valor recomendado por las Normas para la clasificación de los recursos hídricos - NTON 05 007-98, 2000

** Valor recomendado por las Normas de calidad del agua para consumo humano - Normas CAPRE, 1994

***Valor mínimo aceptable - Red MAPSA, 2007

a) Análisis de pH

En el primer muestreo realizado en Octubre del 2012 en la microcuenca del Río San Juan en la parte alta, media y baja los valores de pH del agua obtenidos son de 6.8, 7.4 y 7.5 respectivamente. Este aumento de pH de la parte alta a la parte baja puede ser probablemente a descargas de aguas residuales que no reciben ningún tratamiento a lo largo del afluente.

En el segundo muestreo se obtuvieron valores de 6.02, 6.92 y 6.98 que corresponden a la parte alta, media y baja. Dichos valores son bajos comparados con el primer muestreo, esto posiblemente a los vertidos de aguas mieles por el beneficiado de café (figura 14).

En la microcuenca del Río El Bálsamo en el primer muestreo sus valores de pH fueron de 6.83 a 7.25 y en el segundo muestreo se obtuvieron valores de 6.94 a 7.66 (figura 15).

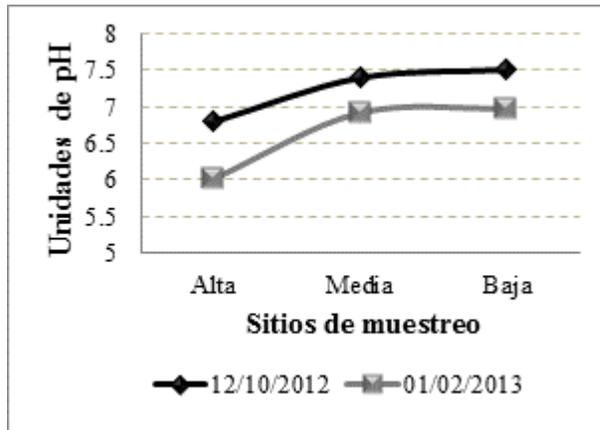


Figura 14. Valores de pH del agua obtenidos en la microcuenca del Río San Juan.

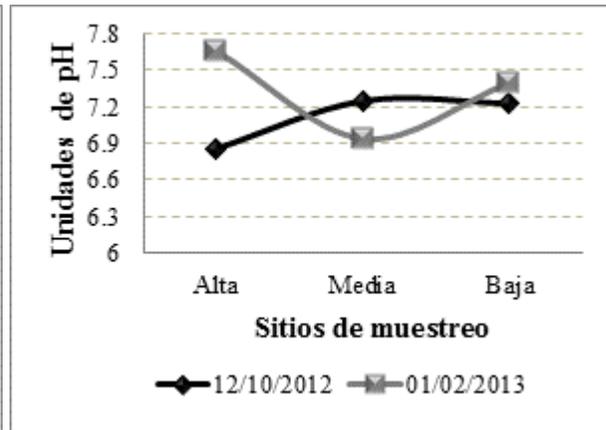


Figura 15. Valores de pH del agua obtenidos en la microcuenca del Río El Bálsamo

Según las Normas CAPRE (1994) estos valores están dentro de los valores de pH recomendados, por lo que el agua puede ser utilizada para consumo humano, riego de cultivos y para ganado.

En base a lo referido en las Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses para la clasificación de los recursos hídricos (NTON 05 007-98, 2000) clasificar sus aguas como aguas Tipo 1 que se encuentran en la Categoría 1-A; las cuales pueden ser destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, y que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.

b) Conductividad Eléctrica

Los resultados obtenidos en ambas microcuencas indican que el agua no contiene muchas sales que sobrepasen lo recomendado por las Normas CAPRE (1994) (figuras 16 y 17).

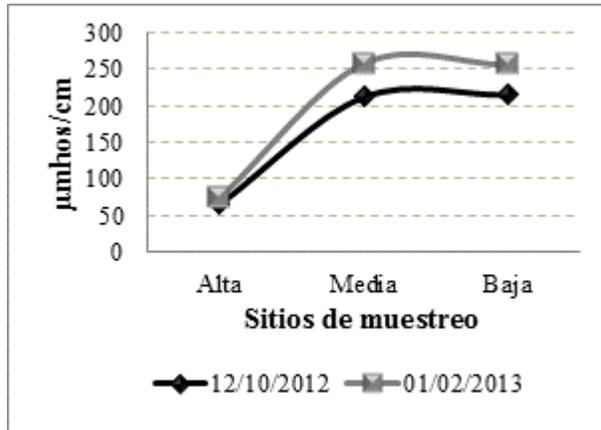


Figura 16. Valores de Conductividad Eléctrica del agua obtenidos en la microcuenca del Río San Juan.

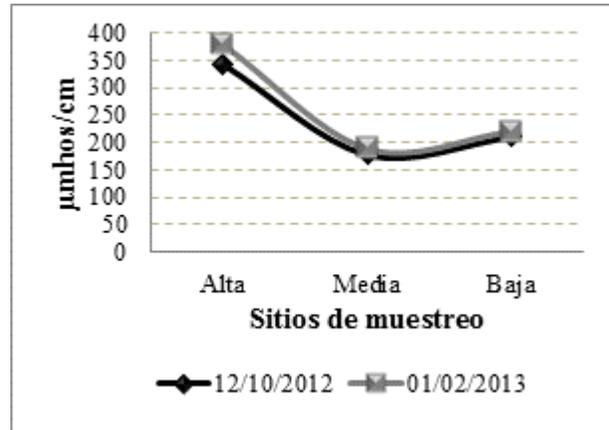


Figura 17. Valores de conductividad Eléctrica del agua obtenidos en la microcuenca del Río El Bálsamo.

Los valores de conductividad eléctrica en los dos muestreos también pueden estar asociados a los contenidos de sodio presentes en el agua, debido a las descargas domésticas en el río y que aumentan de la parte alta a la parte baja.

Roldán & Ramírez (1992) establecen que la medida de conductividad de un cuerpo de agua es uno de los parámetros más importantes en limnología; además de que aseguran que altas diversidades de especies corresponden, a menudo, a bajas conductividades y viceversa. Es una medida conservativa, junto con la alcalinidad y los cloruros. Por ello se puede decir que existe una estrecha relación entre las poblaciones de macro-invertebrados encontradas y las concentraciones de sales que arrojan los ensayos físico-químicos.

c) Sodio

Los valores obtenidos en ambas microcuencas, muestran que este anión se presenta en las aguas superficiales con valores muy bajos. En la microcuenca del Río San Juan y en la microcuenca El Bálsamo alcanzan valores de 17.84 mg/l^{-1} sin embargo estos valores no sobrepasan lo recomendado por las Normas CAPRE (1994) y la NTON 05 007-98 (2000), por lo tanto estas aguas pueden ser utilizadas para uso doméstico y agrícola.

d) Calcio

Según los niveles de calcio encontrados en la microcuenca del Río San Juan las concentraciones aumentan en el segundo muestreo sin embargo estos valores se encuentran por debajo de lo que las Normas CAPRE (1994) recomienda, en cambio en la microcuenca del Río El Bálsamo los valores de este ión sobrepasan los 9 mg/l^{-1} en la parte alta durante el primer muestreo, esto se deba posiblemente por el contenido de calcio presente en el suelo y que es arrastrado por escorrentía (figura 18 y 19).

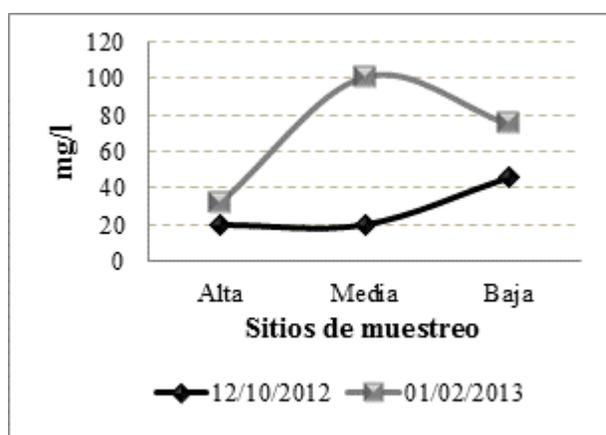


Figura 18. Contenidos de calcio en el agua durante los muestreos realizados en la microcuenca del Río San Juan.

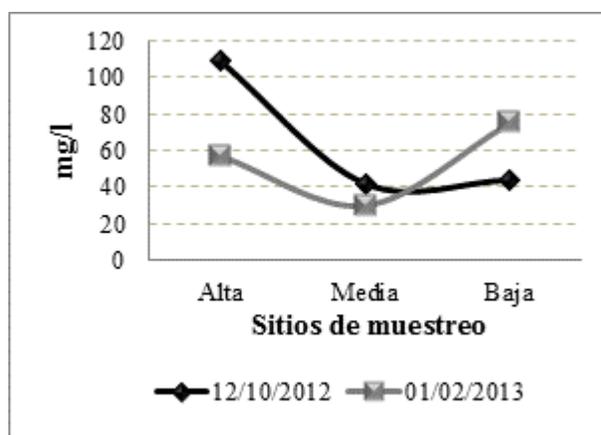


Figura 19. Contenidos de calcio en el agua durante los muestreos realizados en la microcuenca del Río El Bálsamo.

e) Magnesio

En el muestreo del mes de Octubre se obtuvieron en la microcuenca del Río San Juan valores de magnesio de 28 mg/l^{-1} , 60 mg/l^{-1} , 44 mg/l^{-1} correspondientes a la parte alta, media y baja, en el segundo muestreo estos valores fueron de 0 mg/l^{-1} , 12 mg/l^{-1} y 40 mg/l^{-1} .

En la microcuenca del Río El Bálsamo los valores del primer muestreo son 47 mg/l^{-1} en la parte alta, 80 mg/l^{-1} parte media y 40 mg/l^{-1} en la parte baja, en el segundo muestreo estos valores corresponden a 120 mg/l^{-1} , 46 mg/l^{-1} y 15 mg/l^{-1} . Estas concentraciones están por encima de los 30 mg/l^{-1} según lo recomendado por las Normas CAPRE (1994); sin embargo están por debajo del valor máximo admisible por las mismas normas (50 mg/l^{-1}).

Por lo antes descrito, estas aguas no pueden ser usadas para consumo humano ya que la superación de estos valores implican un riesgo para la salud de los consumidores a no ser que se lleve a cabo la toma de acciones correctivas inmediatas, por ejemplo mediante técnicas de ablandamiento del agua.

f) Dureza del agua

Los valores de dureza se relacionan con la litología del suelo, ya que el calcio y el magnesio son elementos básicamente de origen litofílico. En los dos muestreos realizados en ambas microcuencas estos valores se encuentran por debajo del límite establecido por las NTON 05 007-98 (2000), que corresponde a 400 mg/l^{-1} de CaCO_3 .

Se debe considerar que la dureza del agua proviene del contenido de iones alcalinos térreos, esencialmente iones calcio y magnesio, los cuales son disueltos con mayor dificultad en comparación con los iones sodio, potasio y silicio. Por ello, y tomando en cuenta los valores obtenidos, se clasifican sus aguas como duras; ya que las concentraciones se encuentran en el rango de 76 a $177 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}^{-1}$.

Se establece que por cada 10 mg/l^{-1} de CaCO_3 se desperdician 120 mg de jabón, esto indica que se consume mucho jabón y detergente. Debido a la dureza excesiva de muchas aguas, diariamente se desperdician en el mundo toneladas de jabón y detergente tanto en las industrias de lavado como en el uso doméstico (Catalán, 1981).

g) Amonio

El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua, puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es el producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

Las concentraciones de amonio se determinaron solamente durante el primer muestreo. En general estas concentraciones se encuentran por debajo del valor máximo admisible pero a la vez están por encima de los valores recomendados por las normas CAPRE (1994). Las concentraciones de este ion no deberían ser mayores a 0.05 mg/l^{-1} .

Es importante destacar que los valores obtenidos en la parte media de la microcuenca del Río San Juan son mayores en comparación con la parte baja según los resultados del laboratorio que se presentan en el cuadro 8 , ya que hay dos importantes afluentes en la parte baja del Río San Juan, que diluyen las concentraciones de los iones. Este ion favorece la multiplicación de los microorganismos y hace que el número de bacterias sean mayores en el río.

h) Nitritos

La presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal (Catalán, 1981). En aguas superficiales bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 mg/l^{-1} . Los nitritos tienen un efecto tóxico más rápido y pronunciado en agua potable, que los nitratos; afortunadamente las condiciones de nitritos en fuentes de agua son generalmente muy bajas (USDA, 1999). Cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato.

Atendiendo al cuadro 8, las concentraciones de nitritos son menores al límite de detección, según las Normas CAPRE (1994), pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la contaminación por aguas residuales domésticas, sin embargo, este ion no representa un riesgo para la salud de las personas que hacen uso de esta agua, ya sea que se destinen para consumo humano, riego de cultivos agrícolas o para aguar ganado.

i) Nitratos

En base a los resultados obtenidos, se determinó que los niveles de nitratos se encuentran en la microcuenca del Río San Juan en concentraciones muy bajas, según lo que recomienda las normas CAPRE (1994), para consumo humano.

En la microcuenca del Río El Bálsamo las concentraciones de nitrógeno en forma de nitrato resultaron ser mayores que las concentraciones de nitrógeno en forma de amonio y nitritos como se muestra en el cuadro 8. Los nitratos se encuentran en concentraciones muy bajas; los valores más altos corresponden a la parte alta durante el segundo muestreo ($0.6 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}^{-1}$) pero aun así las concentraciones están muy por debajo de los rangos permitidos por las Normas CAPRE (1994).

Las concentraciones tanto de amonio y nitritos como de nitratos, pueden deberse a que en ambas microcuencas hay mucha incidencia de asentamientos humanos en la ribera de los ríos y que a la vez hacen descargas de aguas negras y desechos sólidos al cauce principal, además de la presencia de letrinas a lo largo del afluente. Aunque puede tener diferentes orígenes, siendo la agricultura moderna la principal fuente de nitratos en donde se utilizan como componentes de abonos y fertilizantes nitrogenados.

j) Alcalinidad total

Internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg/l de CaCO₃ para mantener la vida acuática. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación).

Por lo antes descrito y haciendo uso de los descriptores categóricos propuestos, se determinó que los valores de alcalinidad total que se muestran en el cuadro 8 para la microcuenca del Río San Juan y del Río El Bálsamo, ubican estos cuerpos de agua entre las categorías moderadamente amortiguadas a muy amortiguadas.

k) Turbidez

Según los valores recomendados por las Normas CAPRE (1994) y las NTON 05 007-98 (2000), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso los niveles de calidad exigibles que corresponden a 5 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

En la microcuenca del Río San Juan se registraron valores comprendidos entre las 18.56 y las 149 UNT, en el primer muestreo realizado en el mes de octubre. De acuerdo a los valores de turbidez detectados, las aguas de esta microcuenca no son aptas para consumo humano, debido a que éstos sobrepasaron el valor máximo admisible por las Normas CAPRE. Se debe enfatizar que el arrastre de sólidos desde la parte alta de la microcuenca favorece esta situación.

En el segundo muestreo realizado en el mes de febrero, a pesar de que sucedieron algunas precipitaciones, la turbidez resultó ser baja y está por debajo de los límites permisibles según la NTON 05 007-98 por lo tanto estas aguas pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de sedimentación, filtración y/o cloración. Sin embargo en la parte baja, se obtuvieron valores de 27.89 UNT, haciéndola no aptas para su consumo sin tratamiento alguno.

En la microcuenca del Río El Bálsamo los valores registrados estuvieron comprendidos en el rango de 12.68 a 29.87 UNT, el peor escenario de acuerdo a este parámetro corresponde a la parte baja durante el primer muestreo realizado en el mes de octubre. De acuerdo a los valores de turbidez detectados, las aguas de esta microcuenca no son aptas para consumo humano, debido a que sobrepasan los rangos permisibles por las normas.

l) Calidad del agua según la DBO₅

Los dos métodos de uso más frecuente para determinar las necesidades de oxígeno en el agua son las pruebas de DBO₅ y DQO. En el cuadro 9 se muestran los resultados obtenidos en ambas microcuencas mediante el uso de estos métodos, así como la relación existente entre ambas.

Cuadro 9. Comportamiento de la DBO₅ y DQO en los sitios de muestreo

Parámetros	Microcuenca del Río San Juan						Microcuenca del Río El Bálsamo						Límite o rango máximo
	Primer muestreo			Segundo muestreo			Primer muestreo			Segundo muestreo			
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	
DBO ₅ (mg/l)	0.7	3.88	2.21	3.3	2.2	3.4	1.38	0.89	0.86	2.4	1.8	1	2 o 5 ^(*)
DQO (mg/l ⁻¹)	<1	10.11	<1	10	18	20	<1	<1	<1	16	18	14	
DBO ₅ /DQO	1.42	0.38	4.42	0.33	0.12	0.17	2.76	1.78	1.72	0.15	0.1	0.07	

* Valor recomendado por las Normas para la clasificación de los recursos hídricos - NTON 05 007-98, 2000

En los tres puntos de muestreo seleccionados en la microcuenca del Río San Juan se registraron concentraciones de DBO₅ en el rango de 0.7 a 3.88 mg/l (ver figura 20). Esto supone que el agua no estaba contaminada con altas cantidades de desechos orgánicos; es decir que había poca materia orgánica, y con ello poca actividad bacteriana.

En la microcuenca del Río El Bálsamo se registraron concentraciones de DBO_5 en el rango de 0.86 a 1.38 mg/l durante el primer muestreo, y de 1 a 2.4 durante el segundo (ver figura 21), el valor más alto de DBO_5 correspondió a la parte alta durante el segundo muestreo.

Según los valores obtenidos mediante el empleo de este indicador, el agua superficial no presenta indicios de contaminación con altos contenidos de materia orgánica; en base a ello clasificamos las mismas como cuerpos de agua Tipo 1 que pueden ser destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él, según lo referido en las NTON 05 007-98.

En general estas pueden situarse en la Categoría 1-B de las mismas normas, por los que son de buena calidad, además de tener capacidad de autodepuración; y que a la vez pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales.

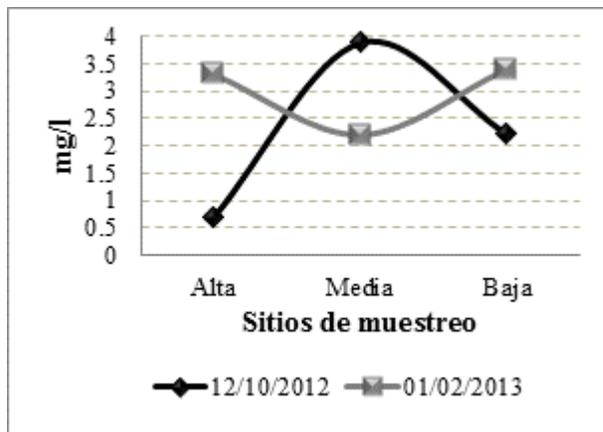


Figura 20. Valores de la DBO_5 obtenidos en los muestreos de Octubre del 2012 y Febrero del 2013 en la microcuenca del Río San Juan.

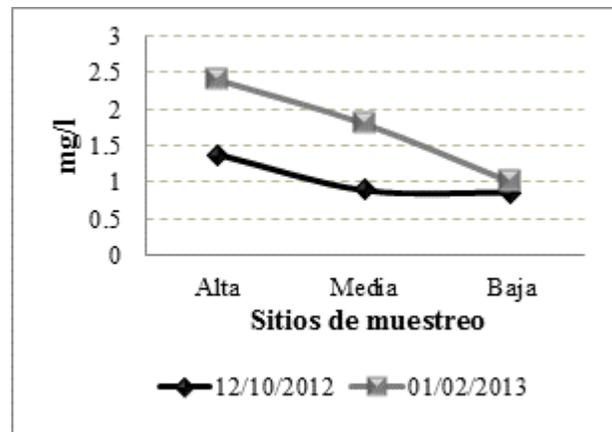


Figura 21. Valores de la DBO_5 obtenidos en los muestreos de Octubre del 2012 y Febrero del 2013 en la microcuenca del Río El Bálsamo.

m) Análisis de la DQO

Con respecto a los valores de la DQO obtenidos en la microcuenca del Río San Juan, estos se encuentran en un rango que no supera los 20 mg/l^{-1} , en la microcuenca del Río El Bálsamo los valores resultaron ser menores al límite de detección durante el primer muestreo; en el segundo muestreo estos se encontraron en un rango que va de 14 a 18 mg/l^{-1} .

Por ello se puede considerar el agua superficial de la misma como agua de buena a excelente calidad, que no se encuentra contaminada y por consiguiente presenta bajo contenido de materia orgánica biodegradable. El hecho de ser biodegradable la materia orgánica presente en el agua no limita su uso, pero para consumo humano, deberá de considerarse el análisis bacteriológico.

n) Relación DBO_5/DQO

El de los parámetros anteriores clasifica la calidad del agua de las microcuencas en base a dos indicadores y a diferentes descriptores categóricos. Para conocer acerca de la posible naturaleza del sustrato se utilizó el índice de relación entre ambos, que además de indicarnos el tipo de materia predominante, también nos indica el nivel de biodegradabilidad o degradabilidad de la misma.

Las relaciones DBO_5/DQO calculadas en esta microcuenca presentaron el siguiente comportamiento: 2.76 mg/l^{-1} en la parte alta, 1.78 mg/l^{-1} en la parte media y 1.72 mg/l^{-1} en la parte baja, esto durante el primer muestreo; en el segundo muestreo se obtuvieron valores de 0.15 mg/l^{-1} en la parte alta, 0.1 mg/l^{-1} en la parte media y 0.07 mg/l^{-1} en la parte baja (figuras 22 y 23).

Por los valores obtenidos durante el primer muestreo se observa que en ambas microcuencas los contaminantes presentes en el cuerpo de agua son de naturaleza biodegradable; es decir son fácilmente depurables de forma biológica.

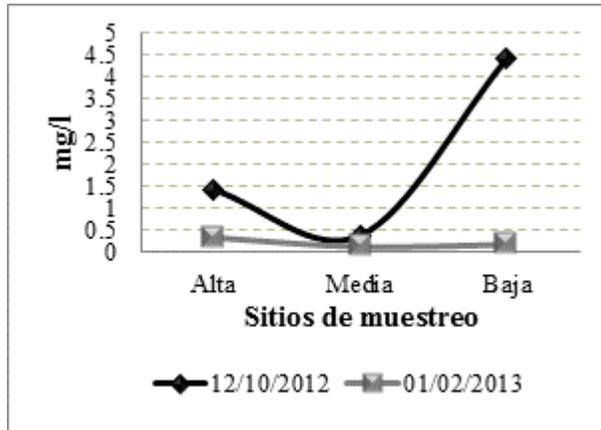


Figura 22. Relación DBO₅/DQO en los sitios de muestreo en la microcuenca del Río San Juan.

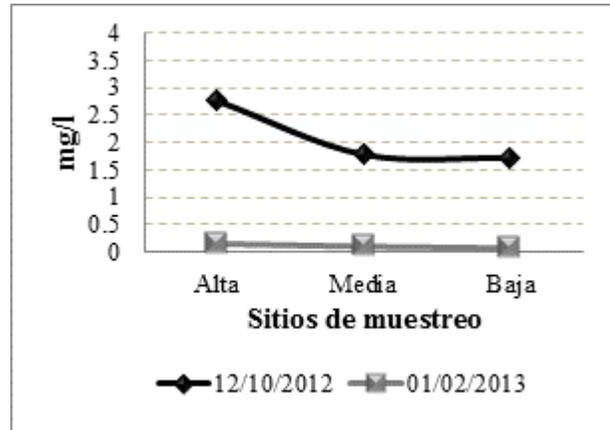


Figura 23. Relación DBO₅/DQO en los sitios de muestreo en la microcuenca del Río El Balsamo.

En el segundo muestreo la relación DBO₅/DQO indica que en la microcuenca del Río El Balsamo y en las partes media y baja de la microcuenca del Río San Juan se hicieron vertidos con contaminantes inorgánicos imposibles de depurar de forma biológica. Alterar la calidad del agua significa atentar contra la vida de los seres que dependen de ella, por lo que la calidad del agua ha de mantenerse al nivel adecuado para los usos previstos y ha de satisfacer especialmente las exigencias de la salud humana.

4.4.2. Análisis bacteriológico del agua

De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, se determinó que en ambas microcuencas los tres sitios de muestreo presentaron contaminación bacteriológica; siendo la parte media y baja los sitios con mayor presencia de coliformes fecales y totales, con valores que sobrepasan los 1600 NMP/100ml. Dichos valores se encuentran por encima de los niveles máximos admisibles por la Norma Regional CAPRE, 1994.

Los valores que se muestran en el cuadro 11, indican que el agua de este río no debe utilizarse para consumo humano, ni uso doméstico; ya que pueden representar un riesgo para la salud y el bienestar de las personas que hacen uso de la misma, estos valores se pueden atribuir a las aguas de desecho doméstico que descargan directamente sus heces fecales al afluente, así como también al fecalismo al aire libre. En la figura 24 se observa la toma de muestra para realizar los respectivos ensayos bacteriológicos en el Instituto CIDEA de la UCA.

Cuadro 10. Resultados del ensayo bacteriológico del agua

Parámetros	Microcuenca del Río San Juan						Microcuenca del Río El Bálsamo						Límite o rango máximo
	Primer muestreo (Octubre 2012)			Segundo muestreo (Febrero 2013)			Primer muestreo (Octubre 2012)			Segundo muestreo (Febrero 2013)			
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	
Coliformes fecales (NMP/100ml)	54.92	>1600	110	3.7	>1600	>1600	27.63	93.02	27.99	38.43	110	140	Negativo NMP/100ml (*)
Coliformes totales (NMP/100ml)	>1600	>1600	>1600	10.2	>1600	>1600	430	>1600	>1600	50.44	>1600	920	4 NMP/100ml (*)

* Valor recomendado por las Normas de calidad del agua para consumo humano - Normas CAPRE, 1994
 NMP: Número Más Probable



Figura 24. Toma de muestras de agua para análisis bacteriológico.

4.4.3. Calidad biológica del agua

a) Calidad biológica del agua en la microcuenca del Río San Juan

Se realizaron tres muestreos de calidad biológica; el primer muestreo se realizó el 20 de septiembre del 2012, el segundo muestreo se efectuó el día 12 de octubre del 2012 y un tercer muestreo el 31 de enero del 2013.

El uso de macro-invertebrados como indicadores de calidad del agua en este estudio simplificó en gran medida las actividades de campo, ya que su aplicación solo requirió de la identificación y cuantificación de estos organismos basándonos en el índice BMWP/Col. En dichos muestreos se colectaron en total 1584 individuos representados por 14 órdenes y 29 familias. El listado general de las familias registradas en el área de estudio durante los muestreos, así como la cantidad total de macro-invertebrados, es presentado en la figura 25.

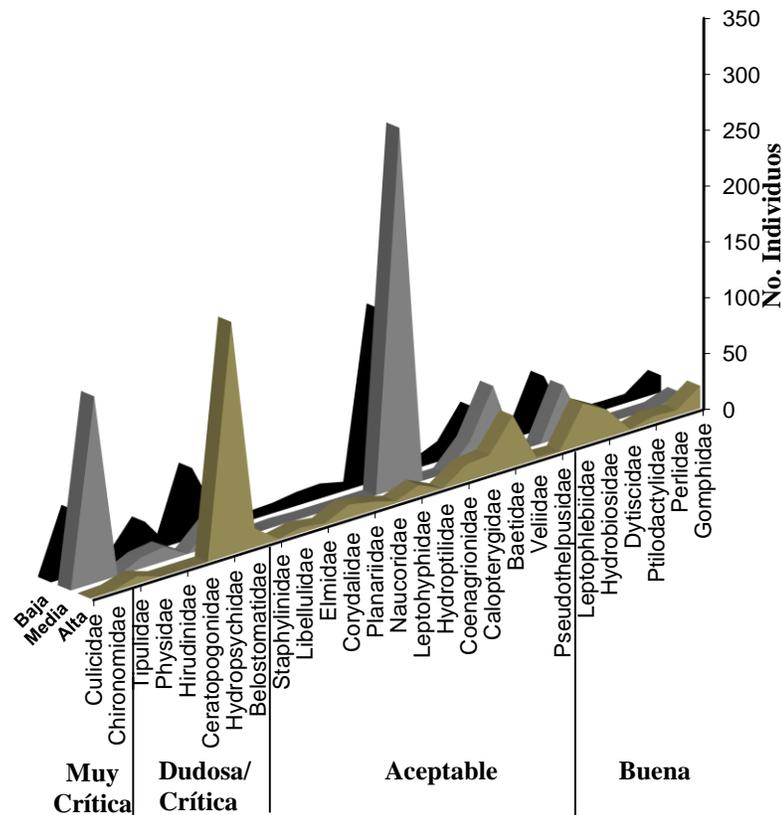


Figura 25. Familias de macro-invertebrados identificadas en la microcuenca del Río San Juan durante los tres muestreos y su relación con la calidad del agua.

Los órdenes más diversos fueron Diptera representado por 5 familias; seguido de Coleoptera y Odonata con 4 familias cada uno. El mayor número de individuos fue registrado por la familia Leptohyphidae (485 especímenes) del orden Ephemeroptera. La familia Hydropsychidae (291 especímenes) del orden Trichoptera fue la segunda más representativa. La tercera familia en orden de importancia fue Chironomidae (226 especímenes) del orden Diptera.

En la figura 26 se muestran algunos de los organismos identificados en esta microcuenca. Se puede observar la vista dorsal de un miembro de la familia Leptohyphidae (1), panorama lateral de Hydropsychidae (2), una ninfa de Hemiptera de la familia Belostomatidae (3a) y un macho de la misma familia cargando los huevos que la hembra colocó sobre su dorso (3b), Odonata de la familia Gomphidae (4), panorama lateral de Baetidae (5), y una larva de Leptophlebiidae del orden Ephemeroptera (6).

Se presenta el estado larvar de un Calopterygidae (7) y Tipulidae (8), se aprecian algunas larvas del orden Diptera de la familia Chironimidae (9), ventosas anterior y posterior de una sanguijuela de la familia Hirudinidae (10), vista lateral de Hydrobiosidae (11) y por último un Tricladido de la familia Planariidae (12).

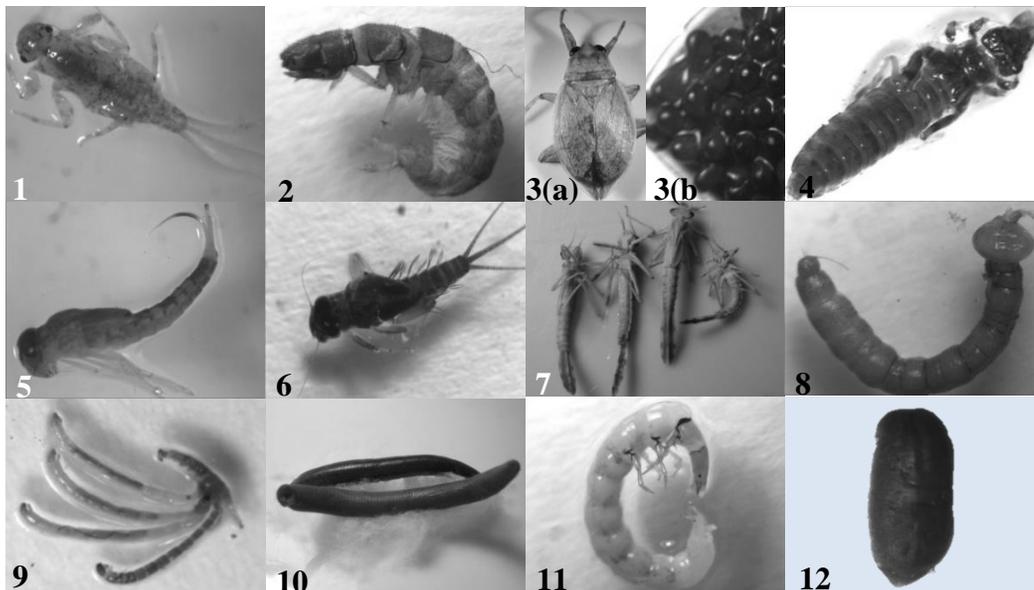


Figura 26. Macro-invertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del Río San Juan durante los tres muestreos.

De las 29 familias que se han registrado en esta microcuenca, 20.7 % presentan valores de bioindicación BMWP/Col entre 9 y 10, y que a la vez son indicadoras de aguas de buena calidad; 44.8 % presentan valores entre 6 y 8 (aguas de calidad aceptable); 20.7 % de las familias obtuvieron puntuaciones que van de 4 a 5 (aguas de calidad dudosa a crítica); al 13.8 % de las mismas se les asignaron valores entre 2 y 3 (calidad muy crítica).

Cuadro 11. Puntaje total BMWP/Col y ASPT obtenidos en cada sitio de muestreo en la microcuenca del Río San Juan

Microcuenca del Río San Juan		BMWP/Col	Calidad	ASPT	Significado
24/08/2012	Alta	114	Buena	7.1	Aguas ligeramente contaminadas
	Media	72	Aceptable	6	Aguas moderadamente contaminadas
	Baja	74	Aceptable	5.7	Aguas moderadamente contaminadas
12/10/2012	Alta	67	Aceptable	6.7	Aguas moderadamente contaminadas
	Media	44	Dudosa	6.3	Aguas moderadamente contaminadas
	Baja	59	Dudosa	6.6	Aguas moderadamente contaminadas
31/01/2013	Alta	93	Aceptable	7.2	Aguas ligeramente contaminadas
	Media	29	Crítica	5.8	Aguas moderadamente contaminadas
	Baja	73	Aceptable	5.2	Aguas moderadamente contaminadas

En el cuadro 11 se muestran los valores BMWP/Col obtenidos en esta microcuenca, una vez que se les asignó puntuación a las diferentes familias de macro-invertebrados encontradas.

El puntaje BMWP/Col para la parte alta durante el primer muestreo es de 114, que equivale a aguas Clase I, de buena calidad; y ASPT con valor de 7.1, lo que califica el agua de la microcuenca del Río San Juan en su parte alta como aguas ligeramente contaminadas. En el segundo y tercer muestreo hubo una leve variación en las poblaciones de macro-invertebrados encontradas, reflejándose en una moderada contaminación.

En la parte media se obtuvo un puntaje BMWP/Col de 72 en el primer muestreo que indica que son aguas Clase II de calidad aceptable. Al igual que en la parte alta, durante el segundo y tercer muestreo hubo una notable diferencia en cuanto a la calidad se refiere; obteniendo un valor BMWP/Col de 44 durante el segundo y 29 en el tercero que concierne a aguas de calidad dudosa a crítica (Clase III y IV), con ASPT de 6.3 y 5.8 cuyo valor corresponde a aguas moderadamente contaminadas.

La parte baja presentó un valor BMWP/Col de 74 durante el primer muestreo, 59 durante el segundo y 73 durante el tercero. Por los valores antes descritos sus aguas se clasifican como Clase II y III, de calidad aceptable a dudosa. Los valores del ASPT expresan que esta microcuenca en su parte baja presenta una moderada contaminación.

Se observan las familias que no toleran la contaminación, como Gomphidae, Perlidae, Ptilodactylidae, Dytiscidae, y Leptophlebiidae. Al igual que aquellas familias que pueden resistir un elevado nivel de contaminación dentro de este afluente, como lo son Hirudinidae y Tipulidae.

Se hace notar que las mayores perturbaciones se dan en la parte media y baja, donde se da más incidencia de vertidos en el cauce principal de este río, lo que altera la composición química del agua y que a la vez podría provocar inestabilidad en el ecosistema fluvial.

Prevalecen aquellas familias que son indicadoras de agua con calidad muy crítica. La parte media es el sitio donde está asentada la población del casco urbano del municipio de San Juan del Río Coco, por lo que hay vertidos puntuales en el río; además de que a finales de diciembre e inicio de enero es la época en que está establecido el corte de café, por lo que la descarga de las aguas mieles durante la etapa de beneficiado se hace de manera directa lo que justifica que la presencia de individuos de las familias Chironomidae, Hirudinidae y Culicidae.

La relación DBO₅/DQO cuyos valores indican que durante ese período, en la parte media y baja, se realizaron vertidos con contenidos inorgánicos difíciles de depurar de forma biológica. Se debe de considerar también que el agua de escorrentía no corresponden necesariamente a vertidos puntuales, sino que arrastran contaminantes generados en zonas amplias.

b) Calidad biológica del agua en la microcuenca del Río El Bálsamo

Se realizaron tres muestreos; los dos primeros se realizaron el 25 de agosto y el 13 de octubre del 2012, y el tercero se efectuó el 01 de febrero del 2013.

Se colectaron e identificaron un total de 645 ejemplares representados por 24 familias. El número de familias y el total de individuos colectados en esta microcuenca se detalla en la figura 27.

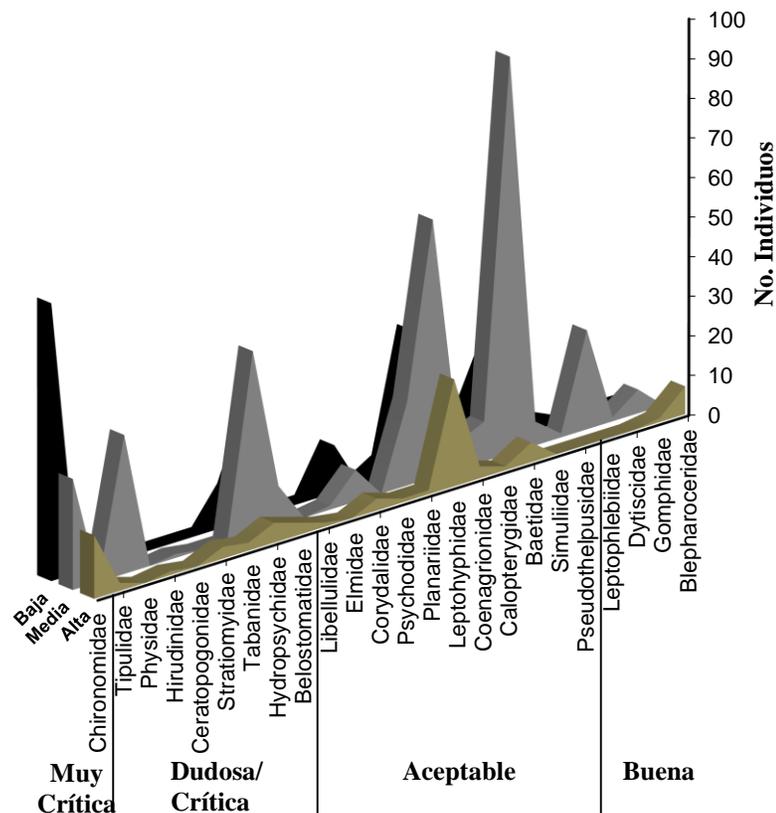


Figura 27. Familias de macro-invertebrados identificadas en la microcuenca del Río El Bálsamo durante los tres muestreos y su relación con la calidad del agua.

Las 24 familias identificadas se agruparon en 11 órdenes taxonómicos. Diptera, registrando 8 familias, fue el orden más diversos; seguido de Odonata con 4 familias y Ephemeroptera con 3. Las familias con mayor predominancia en número de individuos fueron Leptohyphidae (127 especímenes) y Baetidae (126 especímenes) ambas del orden Ephemeroptera, la tercera más predominante corresponde a Chironomidae (114 especímenes) del orden Diptera.

Algunos de los ejemplares capturados en esta microcuenca se pueden apreciar en la figura 28. Se observa la vista dorsal de un Pseudothelpusidae (1), vista dorsal y ventral de un adulto de Dytiscidae (2a) y vista dorsal de una larva de la misma familia (2b), una ninfa de Corydalidae (3a) y agallas abdominales de la misma (3b), segmentos torácicos de una larva de Stratiomyidae vistos dorsalmente (4), larva de Ceratopogonidae (5), y una ninfa de Coenagrionidae del orden Odonata conocidos como libélulas en su estado adulto (6).

Se muestra la vista dorsal de un Coleoptero adulto de la familia Elmidae (7), vista ventral de una larva de Libellulidae del orden Odonata (8), vista dorsal de un Physidae del orden Basommatophora (9); segmentos abdominales dorsales de un Blepharoceridae con discos de adhesión y branquias traqueales situados ventralmente (10a) cabeza, tórax, y primer segmento abdominal fusionados (10b); vista lateral de una larva Diptera de la familia Simuliidae (11), y propatas de un Tabanidae observadas en uno de los segmentos abdominales (12).

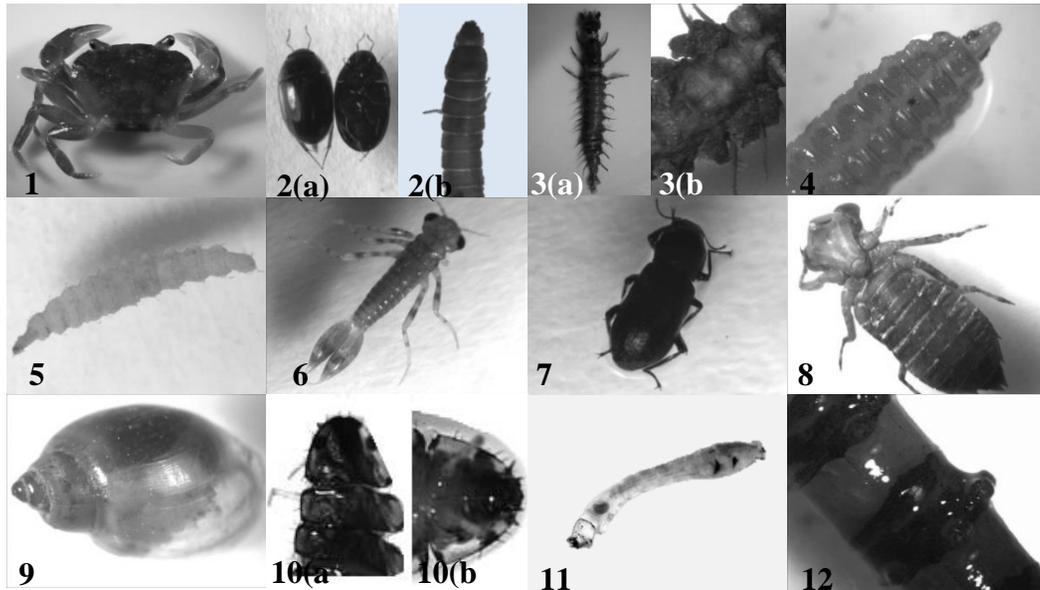


Figura 28. Macro-invertebrados bentónicos identificados en la microcuenca del Río El Bálsamo durante los tres muestreos.

De las 24 familias que se han registrado en esta microcuenca, 16.7 % presenta valores de bioindicación BMWP/Col entre 9 y 10 que corresponde a aguas de buena calidad; al 45.8 % se les concedieron valores de 6 a 8, y que sobresalen por ser indicadoras de aguas de calidad aceptable; se les asignó puntuaciones de 4 a 5 a aquellas familias que se encuentran en aguas de calidad dudosa a crítica (33.3 %).

Aquellas familias que toleran altos grados de contaminación y que son indicadoras de aguas de calidad muy crítica se les concedieron valores comprendidos en el rango de 2 a 3 (4.2 %). En el cuadro 12 se presentan los valores del BMWP/Col obtenidos en los tres puntos de muestreo ubicados en la microcuenca del Río El Bálsamo, luego que se les asignó puntuación a las diferentes familias de macro-invertebrados bentónicos registradas.

Cuadro 12. Puntaje total BMWP/Col y ASPT obtenidos en cada sitio de muestreo en la microcuenca del Río El Bálsamo

Microcuenca del Río El Bálsamo		BMWP/Col	Calidad	ASPT	Significado
25/08/2012	Alta	21	Crítica	7	Aguas ligeramente contaminadas
	Media	59	Dudosa	5.9	Aguas moderadamente contaminadas
	Baja	19	Crítica	6	Aguas moderadamente contaminadas
13/10/2012	Alta	50	Aceptable	5	Aguas moderadamente contaminadas
	Media	61	Dudosa	6.1	Aguas ligeramente contaminadas
	Baja	52	Dudosa	6.5	Aguas moderadamente contaminadas
01/02/2013	Alta	62	Aceptable	6.2	Aguas moderadamente contaminadas
	Media	31	Crítica	5.2	Aguas moderadamente contaminadas
	Baja	74	Aceptable	6.2	Aguas moderadamente contaminadas

Respecto al índice BMWP/Col, la parte alta presenta valores que ubican la calidad del agua en la Clase IV durante el primer muestreo, Clase III durante el segundo y Clase II durante el tercero; lo que califica el agua de la microcuenca del Río El Bálsamo en su parte alta como aguas que van de calidad crítica a aceptable.

En cuanto a la parte media, sus aguas se ubican en la Clase III (calidad dudosa) durante el primer muestreo y en la Clase II (calidad aceptable) durante el segundo; mientras que en el tercero su calidad asciende a Clase IV (calidad crítica).

En la parte baja se puede observar un leve incremento del valor en el tercer muestreo lo que ubica sus aguas en la Clase II, de calidad aceptable; estos valores disminuyen gradualmente en los otros dos muestreos, situando sus aguas en las Clases III y IV (calidad dudosa a crítica).

En relación al ASPT, los valores presentados reflejan el grado de perturbación de los tres sitios de muestreo; en base a ello podemos clasificar el agua de manera general como moderadamente contaminada por lo que se presenta un mismo rango de calidad de agua.

Se observa que predominan aquellas familias que son indicadoras de aguas de calidad aceptable tales como Baetidae y Leptohyphidae, ambas del orden Ephemeroptera. La presencia de las familias Belostomatidae e Hydropsychidae son indicadoras de una ligera contaminación de las aguas, lo cual indica una alerta para el monitoreo de los vertidos que se realizan en la red hídrica.

En la población de insectos se dio un aumento del número de individuos en la parte media y baja, producto de la descarga y conforme avanzaba la cosecha; atribuyéndose a un aumento en las poblaciones de Chironomidae y Physidae, las cuales se convirtieron en las familias más dominantes. Al mismo tiempo disminuyeron o desaparecieron las familias sensibles a la contaminación como Blepharoceridae y Gomphidae.

4.5. Calidad del entorno de los sitios muestreados

Se muestra un comportamiento similar en ambas microcuencas, obteniendo un puntaje promedio de 10 a 14.6. El sistema mantiene su morfología natural, además conserva condiciones ambientales que las sitúa en la categoría sub-óptima según la valoración del entorno realizada. Los parámetros que recibieron las puntuaciones más bajas fueron la velocidad y profundidad en la parte media y baja de las dos microcuencas que se refiere a la presencia de los cuatro hábitats en una corriente donde predomina la turbulencia y la corriente rápida no es común.

Seguido de esto, los mayores disturbios morfológicos fueron simbolizados por la deposición de sedimentos en la parte alta y media de la microcuenca del Río San Juan y el ancho que presenta la zona riparia en la parte alta de ambas microcuencas. Esto posiblemente sea por la explotación que las personas ejercen sobre el recurso bosque para satisfacer las necesidades del hogar, así como la evidente contaminación de los afluentes de agua por el arrastre de aguas residuales.

Los resultados presentados en el cuadro 13 muestran que las mayores afectaciones sucedieron en la parte media de la microcuenca del Río San Juan. Esta situación puede deberse a la descarga de aguas residuales, así como también por el deterioro del entorno físico de la misma a través de la construcción de caminos y puentes en esta zona.

Cuadro 13. Clasificación de la calidad del entorno de los sitios muestreados en las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo

Parámetros del Hábitat	Microcuenca San Juan			Microcuenca El Bálsamo		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Sustratos disponibles para la fauna	13	13	15	18	16	17
Perturbación del hábitat disponible	18	2	13	19	18	16
Velocidad Profundidad	16	1	5	15	5	5
Deposición de sedimentos	6	2	15	19	13	13
Flujo del canal	14	12	16	9	16	11
Alteración del canal	20	20	20	20	16	20
Frecuencia de hábitat	13	10	16	16	14	17
Estabilidad del canal	11	17	13	15	16	17
Protección por vegetación	7	13	15	10	10	16
Ancho de la zona riparia	2	10	15	5	8	10
Total puntaje	120	100	143	146	132	142
Promedio	12	10	14.3	14.6	13.2	14.2
Clasificación	Sub-Optimo	Sub-Optimo	Sub-Optimo	Sub-Optimo	Sub-Optimo	Sub-Optimo

4.6. Potencialidades del recurso hídrico

La oferta de agua que tiene el municipio es positiva, por lo que todo el año los ríos conducen agua en sus cauces.

La alta disponibilidad de agua y las pendientes en las microcuencas de los ríos El Bálsamo y San Juan, permite que se pueda aprovechar para pequeñas hidroeléctricas.

El relieve presta condiciones para hacer captura o cosecha de agua para establecer riego a los cultivos anuales y pastos, como práctica de adaptación al cambio climático, donde el café bajo sombra permiten la infiltración del agua en el suelo y con ello la recarga del acuífero manteniendo el caudal circulante durante todo el año.

4.7. Descripción de los suelos de la microcuenca del Río San Juan

En la microcuenca del Río San Juan predominan los suelos maduros, bien desarrollados del orden Molisol, con una saturación de base mayor al 50%.

El orden Inceptisol se encuentra ubicado en la parte alta de la microcuenca con relieve más inclinado, por lo que sufren procesos de rejuvenecimiento, lo que evita la formación de perfiles más desarrollados, son definidos por la profundidad del suelo y la presencia de un horizonte cámbico (Anexo 7). Los suelos clasificados fueron:

4.7.1. Orden Inceptisol

Son suelos de regiones húmedas y subhúmedas, con un desarrollo incipiente (pero mayor que los Entisoles), generalmente con horizonte superficial ócrico o úmbrico y un sub horizonte cámbico (Bw). El perfil típico muestra una secuencia de horizontes A – Bw – C (cuadro 14).

Cuadro 14. Características del subgrupo Lithic Hapludepts

	Horizonte	Características
A 0 a 29 cm	A 0 a 29 cm	Color café oscuro, 7.5 YR 3/4 en húmedo, textura arcillosa, estructura granular, consistencia friable; abundantes poros y raíces finas; límite plano y neto.
Bw ₁ 29 a 65 cm	Bw ₁ 29 a 65 cm	Color café 7.5 YR 4/4 en húmedo, textura arcillosa, estructura en bloques angulares, consistencia friable y plástico, abundantes poros; muchas raíces; límite plano y neto.
Bw ₂ + de 65 cm	Bw ₂ + de 65 cm	Textura arcillosa, estructura similar a la roca,

4.7.2. Orden Molisol

Consiste en suelos con un horizonte superficial mólico, caracterizado por ser de color oscuro, fértil (saturación de bases mayor de 50 %), rico en materia orgánica y bien estructurado, siendo más aptos para la mayoría de los cultivos.

a) Subgrupo Typic Hapludolls

Suelos profundos, en relieve escarpado con pendientes de 30 a 50 %, de colores oscuros a pardo oscuro, permeable bien drenados, erosión moderada escurrimiento superficial rápido, alta pedregosidad en la superficie y en el perfil (cuadro 15).

Cuadro 15. Características del subgrupo Typic Hapludolls

	Horizonte	Características
	A 0 a 22 cm	Color café muy oscuro 10 YR 2/2 en húmedo, textura arcillosa; estructura granular, no es plástico, ni adhesivo, friable en húmedo, poros abundantes y finos, presencia de muchas raíces finas y medias, límite plano y gradual.
	Bt 22 a 44 cm	Color marrón oscuro 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura arcillosa, estructura sub angular, friables, plástico, poros abundantes, muchas raíces medias, límite plano y difuso.
	C + de 44 cm	Textura arcillosa, estructura, similar a la roca.

b) Subgrupo Typic Argiudolls

Suelos profundos a moderadamente profundos, ubicados en relieve colinado a escarpado, con pendientes de 15 a 45 %; su característica principal es que presentan un horizonte mólico, que yace sobre un horizonte arcilloso con evidencias migración de arcillas (horizonte argílico); tienen color café oscuro en la superficie y pardo rojizo oscuro en el subsuelo, drenaje moderado, buena capacidad de retención de humedad, en algunas áreas presentan pedregosidad en la superficie y en el perfil presentan gravas en el perfil (cuadro 16).

Cuadro 16. Características del subgrupo Typic Argiudolls

	Horizonte	Características
	A 0 a 31 cm	Color café muy oscuro, 10 YR 2/2 en húmedo, textura franco arcillo limoso, estructura granular, consistencia friable, abundantes poros, abundantes raíces finas y medias; límite plano y gradual.
	Bt 31 a 54 cm	Color marrón fuerte oscuro 7.5 YR 3/4 en húmedo, textura arcillosa, estructura en bloques angulares, consistencia friable y plástico, abundantes poros, pocas raíces, límite plano y gradual.
	C + 54 cm	Textura arcillo arenoso, estructura masiva.

4.8. Descripción de los suelos de la microcuenca del Río El Bálsamo

En la microcuenca del río El Bálsamo, predominan los suelos maduros, bien desarrollados del orden Alfisol, seguido los Molisoles y por último los Entisoles (Anexo 7). Esta microcuenca se caracteriza por presentar rocas graníticas que le han dado origen a estos suelos. Las áreas mejor conservadas están ocupadas por suelos Molisoles. El uso es bosque natural latifoliado y/o café bajo sombra.

En la parte media predominan los Alfisoles probablemente de una formación geológica más antigua y estos Alfisoles presentan un desgaste por erosión debido a que el uso predominante es café bajo sombra y pastizales. En la parte baja el proceso erosivo ha sido más severo por lo que se encontró suelos rejuvenecidos por erosión que ahora se clasifican como Entisoles, probablemente eran suelos Alfisoles, con un cambio de uso severo de pinares que era la vegetación natural a pastizales (ganadería extensiva). Los suelos clasificados:

4.8.1. Orden Molisol

Consiste de suelos con un horizonte superficial mólico, caracterizado por ser de color oscuro, fértil (saturación de bases mayor de 50 %), rico en materia orgánica y bien estructurado, lo cual los convierte en los suelos más aptos para la mayoría de cultivos.

a) Subgrupo Typic Hapludolls

Suelos profundos, en relieve escarpado con pendientes de 30 a 50 %, de colores oscuros a pardo oscuro, permeable bien drenados, erosión moderada escurrimiento superficial rápido, sin pedregosidad en la superficie y en el perfil (cuadro 17).

Cuadro 17. Características del subgrupo Typic Hapludolls

	Horizonte	Características
	A 0 a 32 cm	Color café oscuro 7.5 YR 3/2 en seco y 7.5 YR 3/1 en húmedo, textura franco arcilloso arenosa; estructura granular, ligeramente adhesivo, friable en húmedo, poros abundantes, abundantes raíces finas y medias y pocas raíces gruesas.
	BC 32 a 47 cm	Color café 7.5 YR 4/2 en seco y 7.5 YR 3/2 en húmedo, textura arcilloso arenoso, estructura granular, ligeramente friables, ligeramente adhesivo, poros abundantes, muchas pocas raíces finas, pocas raíces gruesas.
	C + de 47 cm	

4.8.2 Orden Alfisol

a) Subgrupo Lithic Hapludalfs

Son suelos típicos del orden Alfisol, caracterizados por la presencia de un horizonte argílico (rico en arcilla de carácter iluvial), son moderadamente profundos, ubicados en pendientes mayor de 45 %, de textura franco arenosa en la superficie y franca en el subsuelo, de color café oscuro en la superficie y café rojizo en el subsuelo, drenaje bueno, permeabilidad buena, erosión moderada; en algunas áreas presentan pedregosidad en la superficie y en el perfil. Permanece húmedo la mayor parte del año. Están siendo utilizados con café con sombra y pastizales. Son aptos para forestal, sistemas agroforestales (café con sombra) y silvopastoriles (cuadro 18).

Cuadro 18. Características del subgrupo Lithic Hapludalfs

	Horizonte	Características
	A 0 a 10 cm	Color pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2, textura Franca arcillosa en la superficie, estructura granular, consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes macro, meso y microporos, abundantes raíces medias y finas, límite plano y neto.
	Bt 10 a 85 cm	Color pardo rojizo 5 YR 4/4, textura arcillosa, estructura bloques angulares, consistencia firme en húmedo y adhesivo en mojado, abundante microporos. Pocas raíces gruesas y finas.
	C 85+ cm	

4.8.3 Orden Inceptisol

a) Subgrupo Litic Hapludepts

Son suelos poco profundos, situados en terrenos escarpados y colinados, en pendientes que oscilan entre 30 y 45 %, de color pardo oscuros, textura franco arcillosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo, poco profundos, bien drenados, con escurrimiento superficial rápido. Presentan riesgo de erosión moderado a severo y pedregosidad en la superficie hasta de un 15 %.

Están siendo usados con pastos, café con sombra, y remanente de bosque de pinos. Son aptos para bosques y protección de la vida silvestre, pastos con árboles; en áreas con menor pendiente se pueden establecer cultivos anuales bajo sistemas agroforestales y obras de conservación de suelos, para evitar su degradación (cuadro 19).

Cuadro 19. Características del subgrupo Lithic Hapludepts

	Horizonte	Características
	A 0 a 18 cm	Color café 7.5 YR 4.2 en seco y 7.5YR 3/1 en húmedo, textura arcillosa arenosa en la superficie, estructura en bloques angulares, consistencia firme en seco, adhesivo en húmedo, y adhesivo en mojado, abundantes poros, muy pocas raíces.
	C 18+ cm	Roca alterada

4.9. Uso actual del suelo en las microcuencas

De acuerdo al mapa de uso actual en ambas microcuencas se identificaron cinco categorías de uso de la tierra (anexo 8), con predominancia del sistema agroforestal café bajo sombra, cultivos anuales, pastos, y remanentes de bosque latifoliado (cuadro 20).

En la parte alta de la microcuenca del Río San Juan, el 43.39 % corresponde a bosque, el 50.15 % a vegetación de hábitat boscoso, 0.02 % a vegetación de ciclo corto, el 4.57 % a vegetación de ciclo largo, 0.27 % a suelos sin vegetación y el 1.6 % a áreas humanizadas.

El uso actual del suelo se consideró bajo los siguientes criterios para las microcuencas del Río San Juan y del Río El Bálsamo.

4.9.1. Vegetación de bosque

Sistemas ecológicos compuestos de árboles de 5 metros de altura mínima en edad madura, asociados con flora y fauna silvestre, constituido por remanentes de bosques latifoliados. En esta categoría se incluye:

a) Bosque Latifoliado Abierto (BLA)

Es un bosque remanente que se encuentran dispersos en toda la microcuenca, con cobertura de copas entre 50 y 70 %. En este grupo se encuentran los bosques latifoliados fuertemente intervenidos, así como potreros abandonados que por regeneración natural se han venido poblando nuevamente de árboles.

b) Bosque Latifoliado Cerrado (BLC)

Se encuentra en las partes montañosas mayor de 30% de pendiente, presenta una vegetación característica de ecosistemas con temperatura media anual inferior a los 24° C y lluvias mayores a los 1200 mm anuales (subtropical húmedo), desarrollándose este tipo de formación vegetal adaptada a estas condiciones bioclimáticas.

Comprende varias especies maderables, remanentes del bosque original o producto de la regeneración natural, incluyendo aguacate mico (*Hermandia sonora*), zapotillo (*Calocarpum viride*), tempisque (*Mastichodendron capiri*), cedro amargo (*Cedrela odorata*) Chaperno (*Albizia adinocephala*) sonzapote (*Lycania platypuse*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), acacia amarilla (*Senna siamea*), entre otras.

El bosque latifoleado abierto comprende un área de 7.07 km² y el bosque latifoleado cerrado 4.05 km² lo que conforma un área total de 11.57 km² correspondiente a vegetación de bosque en la Microcuenca de San Juan y en El Bálsamo un total de 4.43 km² (cuadro 20).

4.9.2. Vegetación de hábitat boscoso

Constituida de vegetación leñosa derivada del aclareo del bosque natural para la agricultura itinerante. Es una clase intermedia entre el bosque y cultivos que tienen hábitat boscoso (café, árboles frutales, entre otros). Está representada por:

a) Café con sombra (C)

Café de zonas altas con sombra de árboles de porte mediano y alto, de copas de buena cobertura, (Guabas *Inga vera*, Eritrinas *Erythrina poeppigiani*, Laurel *Cordia gerascanthus L*, entre otras.) donde el factor climático y los suelos juegan un papel muy importante en lo que se refiere a bajas temperaturas y suelos profundos. Aquí se dan condiciones ambientales y de relieve (altitud) propicias para café especiales. Ocupa una extensión territorial de 11.49 km² en San Juan y en el Bálsamo corresponde a 14.25 km² (cuadro 20).

4.9.3. Vegetación de ciclo corto

Se refiere al uso continuo de la tierra anualmente, donde los suelos permanecen cubiertos de cultivos durante una época del año, o en rotación durante todo el año. Generalmente son tierras con mediano potencial agropecuario.

a) Cultivos anuales

Cultivos de granos básicos con predominio de maíz, frijol que se siembran en asociación. Ocupa un área de 0.01 km² en San Juan y 0.02 km² en El Bálsamo (cuadro 20).

4.9.4. Vegetación de ciclo largo

Comprende el uso estacional de la tierra (cinco años o más) por cultivos herbáceos forrajeros, sean cultivados o naturales que no necesitan ser replantados (praderas naturales o pasturas), con cobertura de vegetación leñosa menor del 10% de copas.

a) Pastizales

Potreros de ganadera extensiva, pastos mejorados, barbecho, pastos con arbustos y pastos con árboles dispersos, así como también vegetación arbustiva, ya que la resolución de la imagen de satélite no permitió separar estas unidades con más detalle, siendo la firma espectral idéntica para estos usos.

Debido a que la mayoría de los potreros están ocupando tierras de vocación forestal, es evidente que hay una fuerte degradación de los suelos que se expresa con la erosión hídrica y el empobrecimiento acelerado de su fertilidad, consecuencia de la sobreutilización a la que están siendo sometidos, principalmente las tierras de laderas con pendientes mayores de 15 %. El total cubierto por este grupo de vegetación en San Juan es de 1.22 km² y 0.31 km² en El Bálsamo (cuadro 20).

4.9.5. Áreas humanizadas

a) *Uso Urbano*

Zonas pobladas, la principal es la cabecera municipal. Ocupa 0.43 km² del área en San Juan, la microcuenca El Bálsamo no posee zonas pobladas en comparación a la microcuenca del Río San Juan (cuadro 20).

Cuadro 20. Distribución de las categorías de uso actual del suelo de las microcuencas del Río San Juan y El Bálsamo

Categoría de Uso	Río San Juan		Río El Bálsamo	
	Km ²	%	Km ²	%
Vegetación de bosque				
Bosque Latifoliado Abierto	7.07	26.52	3.43	17.8
Bosque Latifoliado Cerrado	4.5	16.87	1	5.18
Sub-total	11.57	43.39	4.43	22.98
Vegetación de hábitat boscoso				
Café con Sombra	11.49	43.1	14.25	73.88
Tacotal	1.88	7.05	0.27	1.43
Sub-total	13.37	50.15	14.52	75.31
Vegetación de ciclo corto				
Cultivos/pastos	0.01	0.02	0.02	0.1
Sub-total	0.01	0.02	0.02	0.1
Vegetación de ciclo largo				
Pastizales	1.22	4.57	0.31	1.61
Sub-total	1.22	4.57	0.31	1.61
Suelos sin vegetación				
Sin vegetación	0.07	0.27	0	0
Sub-total	0.07	0.27	0	0
Áreas Humanizadas				
Centro Poblado	0.43	1.6	0	0
Sub-total	0.43	1.6	0	0
Total	19.28	100	19.28	100

4.10. Modelo Hidrológico SWAT

Se presentan los resultados obtenidos del agua que entra, que se almacena y sale de la cuenca. El año analizado fue el 2008, por presentar los parámetros climáticos necesarios (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, radiación solar y humedad relativa) completos.

En la figura 29 se presenta el flujo de agua de la microcuenca del Río San Juan producto de las precipitaciones. Se observa que durante el período de junio a octubre se dan los mayores valores de flujo lateral, que no es más que el agua que se mueve por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel freático y que alimenta la red. Los valores obtenidos fueron de 856.37 mm/año en la microcuenca San Juan y 905.24 mm/año en la microcuenca El Bálsamo (figura 30).

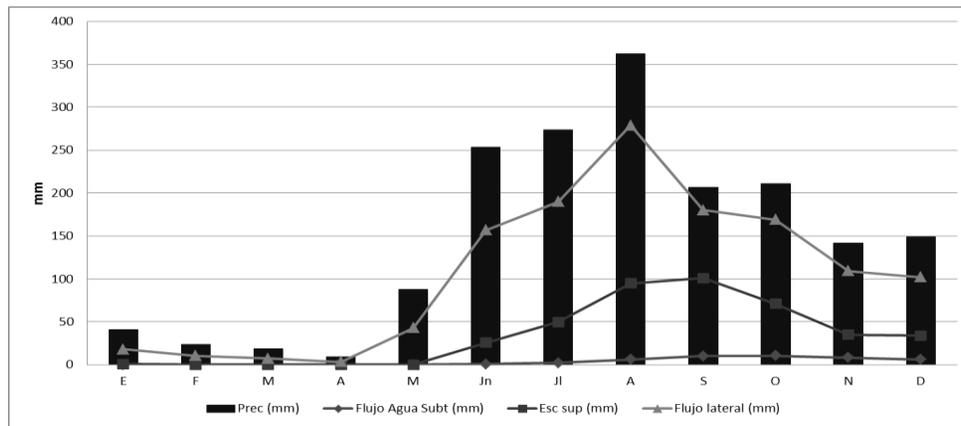


Figura 29. Relación entre precipitación, escorrentía superficial y agua infiltrada en la parte alta de la microcuenca del Río San Juan, según datos de clima 2008.

La escorrentía superficial total en el año fue de 367.46 mm en la microcuenca del río San Juan y 318.77 mm en la microcuenca del río El Bálsamo; presentando en los meses de agosto, septiembre y octubre los mayores valores en ambas microcuencas, en correspondencia a las precipitaciones de esos meses.

Entre los meses de Enero – Abril en la microcuenca San Juan y entre Enero – Mayo en la microcuenca El Bálsamo la escorrentía es casi nula, debido a que las precipitaciones fueron muy pocas y que la cobertura vegetal por su papel protector del suelo, no permitió que se perdiera el agua por escorrentía, sino más bien favoreció a que se diera la infiltración del agua en los suelos y con ello mantener el caudal circulante de los ríos en la época seca (verano).

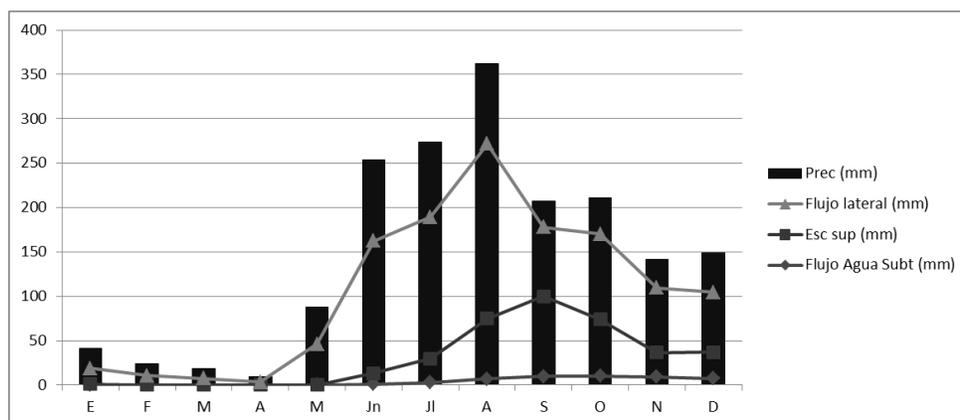


Figura 30. Relación entre precipitación, escorrentía superficial y agua infiltrada en la parte alta de la microcuenca del Río El Bálsamo, según datos de clima 2008.

En la microcuenca del Río San Juan la recarga del acuífero a través de la percolación profunda fue de 44.37 mm y en El Bálsamo fue de 47.94 mm en el año, siendo las mayores recargas en los meses de septiembre y octubre en la microcuenca San Juan y de septiembre a noviembre en la microcuenca El Bálsamo.

El aporte de agua en el caudal base y que permite que la red hidrográfica mantenga agua durante todo el año, se da por el flujo lateral el cual está influenciado por las pendientes del terreno que son mayores del 15%, por lo que se da en menor proporción el flujo lateral que de forma vertical, lo que disminuye la posibilidad de recarga del acuífero.

En la figura 31, se presenta la cantidad de agua que se puede aprovechar en la microcuenca del Río San Juan, el cual es la suma de la escorrentía superficial, el flujo lateral y recarga del acuífero. Los máximos valores corresponden a los meses de precipitaciones mayores de 50 mm.

A diferencia de la microcuenca San Juan, en la microcuenca El Bálsamo los valores máximos corresponden a los meses de precipitaciones mayores de 100 mm (figura 32) La infiltración de agua la facilita la cobertura vegetal ya que predomina áreas de bosque latifoliado y café bajo sombra, si en estos suelos se cambia su uso, se llevaría a una degradación física, química y biológica de los mismos, sumando grandes pérdidas de suelo por erosión hídrica.

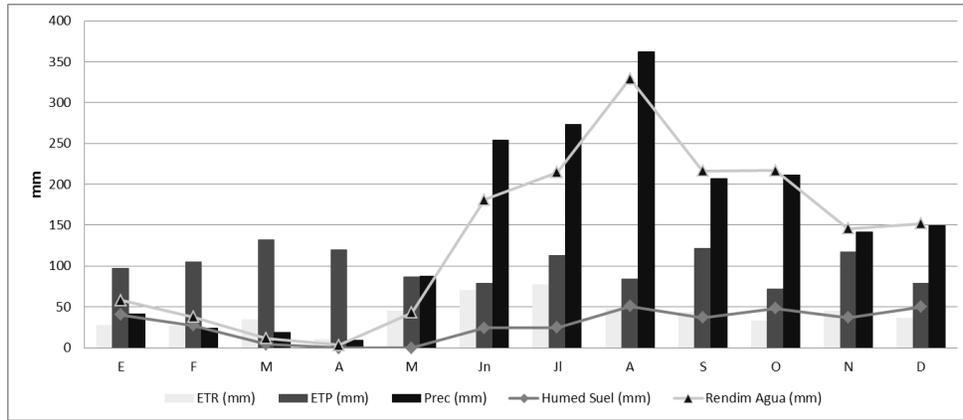


Figura 31. Relación entre precipitación, humedad del suelo y producción de agua en microcuenca del Río San Juan.

La humedad del suelo en la vertiente de ambas microcuencas, es casi nula en los meses de abril y mayo, aumentando una vez que inician las lluvias y disminuye en la medida que se inicia la época seca del mes de enero al mes de abril.

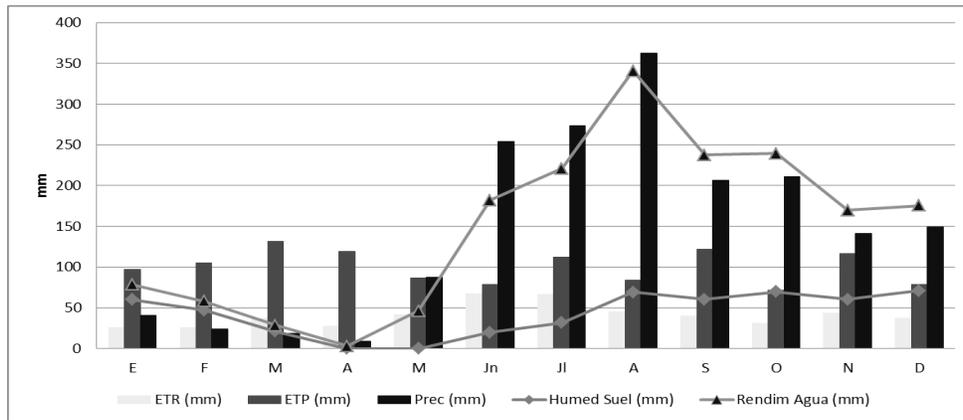


Figura 32. Relación entre precipitación, humedad del suelo y producción de agua en microcuenca del Río El Bálsamo.

Ambas microcuencas no presentan un comportamiento hidrológico homogéneo debido a que el uso de los suelos, los suelos, el relieve y el clima varían espacialmente, se dan múltiples interacciones por lo que del complejo suelo – vegetación, relieve y clima se combinan para determinar las unidades de la microcuenca que presenten condiciones homogéneas que dan resultados específicos a las unidades de respuesta hidrológicas, que producen un impacto sobre la cantidad y calidad del agua en la microcuenca.

Las unidades hidrológicas son la base para identificar las áreas que más aportan sedimento y agua a la red hidrográfica. En la parte alta de la microcuenca Río San Juan se determinaron siete unidades de respuesta hidrológicas (cuadro 21). Se puede observar que las unidades de respuesta hidrológicas que más sedimento reportan fueron: COFFHapludept (café bajo sombra en suelo Inceptisol), COFFHapludalf (café bajo sombra en suelo Alfisol), FRSDHapludalf (bosque latifoliado en suelo Alfisol).

Cuadro 21. Parámetros determinados en las Unidades de Respuestas Hidrológicas (URH) en la microcuenca del Río San Juan

HRU	Uso del suelo	Número Curva	Capacidad de Agua disponible (mm)	Precipitación (mm)	Escorrentía Superficial (mm)	Flujo Agua Subterránea (mm)	ETR (mm)	Sedimento (T/ha)
1	FRSDArgiudol	66	64.8	1779.62	227.61	1010.18	519.23	0.36
2	FRSDHapludalf	77	108.5	1779.62	285.03	972.55	502.48	2.38
3	FRSDHapludept	77	39.6	1779.62	451.93	823.98	489.88	2.7
4	FRSDHapludol	66	24.2	1779.62	204.56	1105.75	429.71	0.38
5	COFFArgiudol	66	64.8	1779.62	234.51	1000.63	526.73	0.53
6	COFFHapludalf	77	108.5	1779.62	333.7	930	501.35	3.31
7	COFFHapludept	77	39.6	1779.62	470.97	807.09	491.59	3.71

En el mismo cuadro 21 se reflejan las pérdidas de suelos (Sedimentos T/ha) que ocurren en cada Unidad de Respuesta Hidrológica (combinación de Uso Actual, Suelos y Pendiente), presentando la combinación de Café con sombra y Suelos Inceptisoles los mayores valores de erosión con 3.71 T/ha, sin embargo estos valores se consideran bajos. La tasa máxima permisible de pérdidas de suelo en los trópicos es de 10 t/ha; mayores pérdidas significan degradación (Martínez, 2005).

En la parte alta del Río El Bálsamo se determinaron siete unidades de respuesta hidrológicas, (cuadro 22). Se puede observar que las unidades de respuesta hidrológicas que más sedimento producen fueron: COFFHapludalfs (café bajo sombra en suelo Alfisol), COFFHapludepts (café bajo sombra en suelo Inceptisol) y en menor cantidad están las URH COFFArgiudolls (café bajo sombra en suelo Mollisol).

Cuadro 22. Parámetros determinados en las Unidades de Respuestas Hidrológicas (URH) en la microcuenca del Río El Bálsamo

HRU	Uso del suelo	Número Curva	Capacidad de Agua disponible (mm)	Precipitación (mm)	Escorrentía Superficial (mm)	Flujo Agua Subterránea (mm)	ETR (mm)	Sedimento (T/ha)
1	COFFHapludalfs	77	108.5	1779.62	410.8	829.01	514.85	1.33
2	COFFArgiudolls	66	64.8	1779.62	234.46	1000.57	526.82	0.78
3	COFFHapludalfs	77	108.5	1779.62	333.52	930.05	501.47	3.54
4	COFFHapludepts	77	39.6	1779.62	470.89	807.03	491.69	3.02
5	COFFHapludalfs	77	108.5	1779.62	333.67	929.86	501.37	5.08
6	COFFHapludepts	77	39.6	1779.62	470.96	806.84	491.61	2.74
7	COFFHapludolls	66	24.2	1779.62	204.07	1103	436.67	0.6

En la microcuenca El Bálsamo se presenta una combinación de Café con sombra y Suelos Alfisoles e Inceptisoles los mayores valores de erosión con 5.08 T/ha y 3.54 T/ha en los Alfisoles y 3.02 en los suelos Inceptisoles, sin embargo estos valores se consideran bajos (cuadro 22).

Por las características de los suelos, en los que predominan texturas franco arenosos a arenosos, son susceptibles de pérdidas de suelos por erosión, acentuado por el relieve donde las pendiente predominantes son mayores del 15% y a pesar de tener un uso del suelos con más del 70% de cobertura vegetal, se producen sedimentos que contaminan las fuentes de agua superficiales.

Cuando la tasa de erosión es mayor que la tasa de formación del suelo, es señal de que el manejo está originando su degradación y se hace necesario realizar prácticas e implementar obras de conservación del suelo y de esa forma contribuir al desarrollo sostenible de los recursos naturales.

Las tasas de sedimento producto de la erosión hídrica en las fincas, hacen indicar que se debe de mantener la cobertura vegetal de café con sombra, para seguir protegiendo los suelos de procesos erosivos; por lo que en la medida de lo posible en la microcuenca del Río San Juan se debe de mejorar la cobertura vegetal, convirtiendo los sistemas tradicionales de cultivo en sistemas agroforestales y silvopastoriles bien manejados a fin de conservar los recursos existentes acompañado siempre de obras de conservación de suelos y agua.

En la aplicación de SWAT no se ha hecho ninguna calibración ni validación, debido a que no se cuenta con estaciones de aforos y aparatos para medir sedimentos en el agua de la escorrentía directa.

a) Número de Curva

En la medida que el número de curva se acerca a 100, la escorrentía superficial aumenta, por lo que se puede observar en los cuadros 21 y 22, en las unidades de respuestas hidrológicas con número de curva de 77 la escorrentía es mayor y disminuyendo en el número de curva con valor de 66, por lo que bajo estas condiciones indica que hay mayor infiltración de agua en el suelo.

La capacidad de agua disponible varía según las características del suelo como la profundidad efectiva de enraizamiento, textura, densidad aparente, así como su capacidad de campo y punto de marchitez permanente, puede observarse que los suelos alfisoles presentes son suelos profundos, por lo que tendrán una capacidad de retención de agua disponible que el resto de los suelos clasificados en la parte alta de la microcuenca.

El modelo determinó que en la parte alta de ambas microcuencas bajo las condiciones de clima de los meses secos se dan 50 días de estrés hídrico y con 23 días y medio de estrés en temperatura, lo cual es soportado por el cultivo de café sin problemas significativos, es decir, sin merma de sus rendimientos, ni de su calidad.

4.11. Caracterización de las fincas cafetaleras

A continuación se muestran las ganancias y pérdidas de suelos en cada set de clavos instalados en cada finca cafetalera, así como las características físicas determinadas en cada una de ellas.

4.11.1. Dinámica de la erosión en fincas cafetaleras

a) Pérdidas o ganancias de suelo

En suelo de laderas los procesos de erosión transportan frecuentemente suelo de las partes (altas) de mayor pendiente y son depositados en las partes bajas en forma de sedimentos. Dependiendo de las intensidades de las lluvias, el sistema de manejo y las diferentes características de los suelos, constantemente hay zonas que pierden y otras que ganan, lo que expresa un desequilibrio en el ecosistema. En cada uno de los sets de clavos instalados se realizó la toma de datos para medir erosión de los suelos (ver cuadro 23 y anexo 12).

Estas parcelas son representativas de solamente 1 hectárea del área total de finca y tienen como uso de la tierra el cultivo de café bajo sombra. Tomando en cuenta las intensidades de las precipitaciones presentes en la zona, si estos suelos no tuvieran ese tipo de cobertura, fueran suelos degradados por la erosión hídrica.

En la finca Santa Gema de 6 lecturas de medición se reflejan solo 4 lecturas de datos esto debido a que los set de clavos instalados inicialmente fueron removidos por trabajadores de la zona. Las parcelas de monitoreo fueron reubicadas en pendientes de 71 %, aquí se muestra una tasa de erosión promedio de 39 mm lo que representa una erosión neta de 387.5 ton/ha.

En la finca El Solar se realizaron 7 tomas de datos en cada parcela de monitoreo las cuales fueron ubicadas a una pendiente de que va de 7 % en la parte baja y entre 71 % y 29 % en la parte media. En esta finca se muestra una tasa de erosión promedio de 4.7 mm de suelo lo que representa una erosión neta de 12.04 ton/ha.

Las parcelas de monitoreo de erosión en la finca El Porvenir fueron ubicadas en pendientes entre los 59 % y 100 % en ellas se realizaron 4 toma de datos que nos reflejan una tasa de erosión promedio de 11.9 mm siendo esta una erosión neta de 70.9 ton/ha.

En El Espejo las parcelas fueron ubicadas en pendientes entre 22 % y 49 % donde se efectuaron 5 tomas de datos que muestran un depósito de suelo de 5.4 mm y una tasa de erosión de 5.44 mm lo que representa una erosión neta de 0.3 ton/ha.

Cuadro 23. Resumen de la dinámica de erosión en los set instalados en las fincas cafetaleras.

Finca	El Espejo			La Consentida			San Antonio			El Porvenir			El Solar			Santa Gema		
	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %	Perd (mm)	Dep. (mm)	P %
set 1	-2.72		22		1.5	54		5.5	60	-3.1		100		1.3	24	-7		63
set 2		1.66	33		8.94	63		0.92	51	-3		70		1.1	35	-15.1		82
set 3	-1.02		35	-1.6		45	-0.8		28	-5.8		59		0.8	56	-16.9		68
set 4	-1.7		39		0.4	41							-3.8		52			
set 5		3.74	49		0.98	26							-0.9		7			
set 6					1.2	25												
Total	-5.44	5.4		-1.6	13		-0.8	6.42		-11.9			-4.7	3.2		-39		

En el cuadro 23 se muestra el comportamiento de las pérdidas de suelos a nivel interno de cada parcela (set de clavos instalados). En la finca San Antonio se observa que hay pequeño desprendimiento y arrastre de suelo por efectos de la erosión hídrica (0.8 mm de suelo) y en la finca la Consentida un desprendimiento de suelo de 1.6 mm.

Se puede observar que ocurre un depósito de suelo, debido a la erosión ladera arriba de otras áreas adyacentes de las parcelas de medición. Hay un depósito de suelo de 6.42 mm en la finca San Antonio y 13 mm en la Consentida, representando una erosión neta de otros sitios ubicados más arriba de los sitios de medición y que se deposita en las misma parcela con un promedio de 51.7 ton/ha en la finca San Antonio y 76.45 ton/ha en La Consentida.

El manejo que hacen en el sistema agroforestal, es manejo de la sombra para evitar ataques de plagas y enfermedades propias de ambientes húmedos, limpia de las malezas para evitar la competencia por los nutrientes del suelo y por ser hospederos de plagas que afecten al cultivo del café, permite que el suelo este algo expuesto a la escorrentía superficial, por lo que se deben de implementar obras de conservación de suelos y agua. Se deben de construir zanjas de infiltración, cubas de infiltración para restar velocidad a la escorrentía superficial que se ve favorecida por las pendientes escarpadas.

En las fincas Santa Gema y El Porvenir hubieron únicamente pérdidas de suelo como se puede apreciar en el anexo 11, debido a las pendientes fuertemente escarpadas que ambas fincas presentan y a que los suelos no tienen suficiente protección ya sea por menor cobertura vegetal o por la falta de biomasa (materia orgánica, hojarasca), que tienen un papel importante en la protección de los suelos por tal razón son suelos susceptibles al desprendimiento y arrastre por erosión hídrica.

En cambio en las fincas El Solar, San Antonio, La Consentida y El Espejo se observan pérdidas de suelo pero también un depósito bastante significativo esto es debido a la efectiva cobertura vegetal y al efecto beneficioso de la biomasa acumulada en la superficie del suelo y el uso que hace el productor de un efectivo sistema agroforestal (café bajo sombra) el cual aporta mayor cobertura al suelo reducen la erosión, mejoran las condiciones del suelo y aumentan su productividad.

El tipo de material parental (granito) que le dio origen a estos suelos son condiciones que favorecen a la erosión. Por lo frágil que es este ecosistema se pone de manifiesto la importancia de mantener la cobertura vegetal que ofrecen los sistemas agroforestales, además de incorporar prácticas de conservación de suelos y agua.

De los registros de precipitaciones realizados por los dueños de las fincas, se reportan que las mayores precipitaciones se sucedieron en el mes de Agosto en las mayoría de las fincas, en el caso de la finca San Antonio el mes de julio muestra mayor precipitación siendo esta de 97 mm, en La Consentida el mes de Enero 141 mm y en El Espejo sus valores de precipitación son en el mes de Enero de 230.5 mm.

b) Pruebas de infiltración

La prueba de infiltración se determinó en la parte alta, media y baja de cada una de las fincas (cuadro 24). Se obtuvieron valores clasificados como muy rápidos según la Clasificación del Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos.

Estos valores pueden ser debido al buen drenaje que estos suelos tienen por su porosidad, a la presencia de orificios producto de las actividades de las lombrices, a la textura porosa que estos suelos poseen, por último a que estos suelos son poco compactos evitando así el desprendimiento de suelo por erosión hídrica debido a la rápida infiltración que tiene el agua en el suelo.

Cuadro 24. Valores de infiltración obtenidos en cada una de las fincas

Parte de la ladera	Infiltración (cm/min)					
	Santa Gema	El Solar	El Porvenir	San Antonio	La Consentida	El Espejo
Alta	0.66	0.25	0.63	0.26	1	1
Media	1.4	1.2	0.15	0.31	0.9	0.9
Baja	0.4	1.17	1.07	0.25	1.38	1.38

Una vez iniciada la prueba de infiltración en la finca Santa Gema la infiltración del agua en el suelo llega a una estabilización a los 7 minutos, El Porvenir y San Antonio a 4 minutos, y a los 6 minutos se logra la estabilización en las fincas La Consentida, El Espejo y El Solar.

c) Densidad aparente

En el cuadro 25 se reflejan los resultados obtenidos de densidad aparente la cual fue determinada por el método de campo estos indican que son suelos aireados, porosos, con buen drenaje, con mucha actividad biológica debido a la cantidad de materia orgánica que aportan los sistemas agroforestales como el café bajo sombra, establecido en estas fincas. En la finca Santa Gema los valores de Densidad Aparente son mayores, por lo que el espacio poroso del suelo para el movimiento del agua, la penetración de las raíces y el desarrollo de la planta sea menor.

Cuadro 25. Resultados de densidad aparente obtenidos en cada finca

Parte de la ladera	Densidad aparente (gr/cm ³)					
	Santa Gema	El Solar	El Porvenir	San Antonio	La Consentida	El Espejo
Alta	0.9722	0.814	0.592	0.95	0.716	0.716
Media	1.0491	0.896	0.614	0.89	0.5711	0.571
Baja	0.9593	0.697	0.58	0.716	0.7213	0.721

4.11.2. Presencia de materia orgánica en las fincas

De la evaluación cualitativa de la presencia de materia orgánica se observa que hay una reacción del suelo cuando se agregó agua oxigenada (Figura 33). Esta reacción sucedió en las seis fincas evaluadas lo que indica altos contenidos de materia orgánica en los suelos de estas fincas esto se debe a la hojarasca que se encuentra en el suelo en estado de descomposición por lo que guardan una mayor humedad y que a su vez se producen hongos benéficos para la fertilidad de estos suelos.

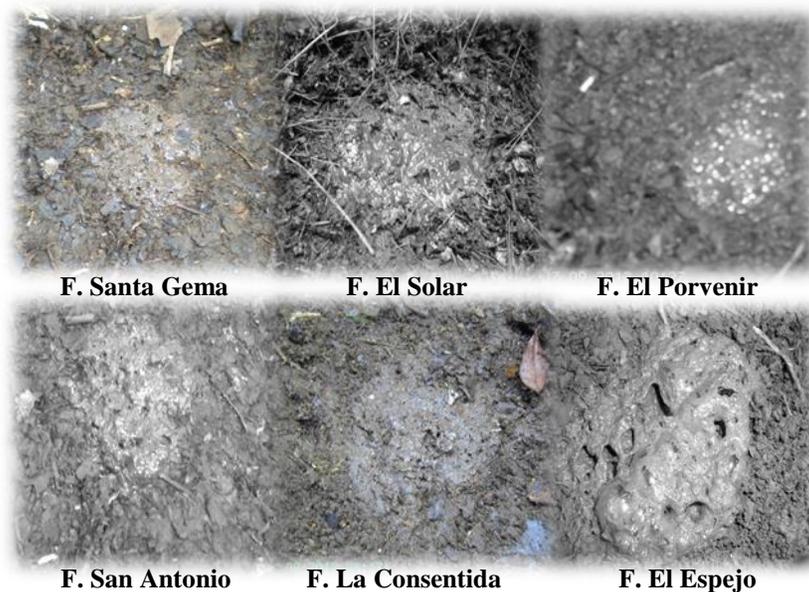


Figura 33. Presencia de materia orgánica en el suelo de las fincas cafetaleras.

4.11.3. Evaluación de sombra

El uso de la tierra de las seis fincas cafetaleras evaluadas es totalmente café con sombra. En el cuadro 26 se muestra una cobertura vegetal mayor al 50 % este porcentaje de cobertura juega una papel importante para el suelo porque ejerce un efecto positivo en la regulación del agua, ya que la sombra propicia a través de la interpretación una mayor infiltración de lluvia en el suelo reduciendo la escorrentía. Los arboles permiten conservar la humedad del suelo al proveer una cobertura natural con hojarasca.

Estas acciones cumplen un papel importante en la reducción de la erosión, conservación de la humedad y en la fertilidad del suelo. Para los cafetos el porcentaje de sombra actúa como un filtro a la luz solar, modificando la intensidad y calidad con que este llega a las hojas del cafeto.

Cuadro 26. Porcentaje de sombra correspondiente para cada set instalado en las fincas

Finca	El Espejo	El Solar	La Consentida	El Porvenir	Santa Gema	San Antonio
Productor	Salomé Zeledón	Gregorio López	Maritza Colindres	Onelia Castellón	Rosa Vanegas	Salvador Ortez
Set	Sombra (%)	Sombra (%)	Sombra (%)	Sombra (%)	Sombra (%)	Sombra (%)
1	52	96	85	91	88	62
2	74	93	75	79	96	95
3	85	99	94	75	94	42
4	73	89	85			
5	86	91	87			
6			87			

4.11.4. Relación entre pendiente, cobertura vegetal y pérdidas de suelo

Las fincas Santa Gema y El Porvenir son las que tienen las pendientes más escarpadas (mayores del 59%), y por ende es donde se dan las mayores pérdidas de suelos por erosión hídrica, manifestando que no hubo depósito de suelo alguno en las mismas.

En la finca El Espejo a pesar de que es donde se registran las pendientes menos escarpadas (22 a 49 %), se evidencia una notable pérdida de suelo; probablemente se deba a que el porcentaje de sombra en los sets también es bajo, lo que favorece los procesos erosivos. En la parte baja de la ladera donde se establecieron las parcelas de erosión en la finca el solar se registran pérdidas de suelo que eventualmente están también en relación con las pendientes en dichas parcelas.

En La Consentida y San Antonio se registran pendientes en el rango de 25 a 63 % pero es donde se dan las menores pérdidas de suelos, hay que mencionar que la cobertura vegetal juega un papel fundamental en estas fincas, ya que facilita los procesos de agradación y/o acumulación de suelo.

Cabe destacar que el mayor porcentaje de cobertura vegetal lo presentan las fincas Santa Gema y El Solar. Esto no garantiza por completo que no van a ocurrir pérdidas de suelo, pero si se puede asegurar que es uno de los elementos principales para la protección de los mismos, incluyendo técnicas de conservación de suelos y agua como cubas de infiltración siguiendo las curvas de nivel, entre otras: por lo que es muy importante mantener la cobertura vegetal, pero con un buen manejo para evitar plagas y/o enfermedades en el café.

Cuadro 27. Pendiente, porcentaje de sombra, pérdida o ganancia de suelo por cada set

Finca	El Espejo			La Consentida			San Antonio			El Porvenir			El Solar			Santa Gema		
	P/G	S	P	P/G	S	P	P/G	S	P	P/G	S	P	P/G	S	P	P/G	S	P
set 1	-2.72	52	22	1.5	85	54	5.5	62	60	-3.1	91	100	1.3	96	24	-7	88	63
set 2	1.66	74	33	8.94	75	63	0.92	95	51	-3	79	70	1.1	93	35	-15.1	96	82
set 3	-1.02	85	35	-1.6	94	45	-0.8	42	28	-5.8	75	59	0.8	99	56	-16.9	94	68
set 4	-1.7	73	39	0.4	85	41							-3.8	89	52			
set 5	3.74	86	49	0.98	87	26							-0.9	91	7			
set 6				1.2	87	25												

P: Pendiente (%); S: Sombra (%); P/G: Pérdida o Ganancia de suelo (mm)

4.12. Potencialidades del recurso suelo

En las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo predominan suelos maduros, bien desarrollados, con una saturación de base mayor al 50%.

Son suelos fértiles, permeables, bien drenados y ricos en materia orgánica los que los hace suelos aptos para la mayoría de los cultivos, sistemas agroforestales como café con sombra, sistemas silvopastoriles y bosques maduros.

Estos suelos tienen la capacidad de retener humedad. Por las estructura de estos podemos decir que ayudan a disminuir la erosión por escurrimiento aunque no aseguran por completo que no haya pérdidas de suelos.

4.13. Estrategias para el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales

La siguiente propuesta de estrategias y líneas de acción para el manejo sostenible de los recursos naturales en las dos microcuencas, y que pueden ser ampliadas a todo el municipio de San Juan de Río Coco, han surgido de la problemática identificada, del análisis de estudios y propuestas de desarrollo.

Estas estrategias pueden ser la base para la planificación la cual debe de analizarse, discutirse, y consensuarse con los diferentes actores sociales y autoridades municipales.

4.13.1. Estrategias horizontales

- Aplicar el marco legal ambiental, agropecuario y forestal existente en el país contribuyendo manejo y conservación de los recursos naturales y el ambiente.
- Fortalecer la educación ambiental en áreas rurales y urbanas, dando a conocer los resultados de este estudio.
- Fortalecer la estructura, instancia y operatividad institucional del sector público y privado para el manejo y conservación de los recursos naturales y el ambiente.
- Armonizar gestión de paisajes multifuncionales en el municipio, con los diferentes actores sobre la conservación, rehabilitación y manejo de los recursos naturales, la vulnerabilidad del territorio y la adaptación al cambio climático.
- Fomentar el agro-ecoturismo y turismo científico que beneficie a todos los sectores del municipio.

A continuación se describen las líneas de acción para cada una de las estrategias horizontales planteadas.

Estrategia y líneas de acción	Plazo		
	CP	MP	LP
<p><i>Fortalecer la educación ambiental en áreas rurales y urbanas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Difundir información sobre la problemática de los recursos naturales del territorio, empleando los diferentes medios disponibles (radiales, escritos, televisivos). • Fomentar la educación ambiental en los espacios de educación formal y no formal. 	X	X	
<p><i>Fortalecer la estructura y operatividad institucional del sector público y privado para el manejo y conservación de los recursos naturales y el ambiente</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer las capacidades del gobierno municipal (Unidad Técnica, Unidad de Gestión Ambiental), para la gestión de los recursos naturales del municipio, en el ámbito de su competencia. • Fortalecer alianza entre gobierno municipal, y los diferentes sectores como: instituciones públicas, privadas y ONG's, para ampliar cobertura y accionar institucional relacionado a la gestión de los recursos naturales y el ambiente. • Establecer mecanismos para el cumplimiento de la legislación ambiental vigente, basados en las leyes y reglamentos ambientales. • Fortalecer las estructuras de participación a nivel local para que asuman competencias y responsabilidades frente a problemas ambientales. 	X	X	
<p><i>Fomentar el agro -ecoturismo que beneficie a todos los sectores</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover la inversión privada de cara al desarrollo turístico, localizando corredores de interés para el turismo internacional y nacional. • Identificar y priorizar los sitios y destinos naturales con mayor valor para el desarrollo del ecoturismo. 	X	X	X

<ul style="list-style-type: none"> • Promover el turismo comunitario en zonas con atractivos para la recreación y el esparcimiento en fincas y áreas naturales, que incluya cabalgatas, caminatas, camping, observación y estudio de la biodiversidad, entre otros. • Sensibilizar y capacitar a potenciales inversionistas locales en agro ecoturismo. 			
---	--	--	--

4.13.2. Estrategias focalizadas

- Promover el manejo y aprovechamiento sostenible del recurso suelos, acorde a la gestión de paisajes multifuncionales.
- Impulsar un plan de capacitación y sensibilización ambiental para grupos de jóvenes y niños.
- Fomentar una ganadería sostenible, mediante la adopción de prácticas productivas conservacionistas y sistema silvopastoriles.
- Fomentar el Manejo de la regeneración natural y Manejo sostenible de los bosques latifoliados, acorde a las propuestas de gestión de paisajes multifuncionales.
- Fomentar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad (flora y fauna), mediante estrategias de conectividad del bosque y conservación de ecosistemas frágiles.
- Fortalecer la capacidad de monitoreo de indicadores de agua, suelo y vegetación por parte del municipio, de tal manera de prevenir situaciones no deseadas en relación a los recursos naturales.
- Fortalecer la Gestión Integral de los Recursos Hídricos.

Las estrategias focalizadas planteadas con sus líneas de acción se describen a continuación.

Estrategia y líneas de acción	Plazo		
	CP	MP	LP
<p><i>Promover el manejo y aprovechamiento sostenible del recurso suelos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover la aplicación de la Norma Técnica Nicaragüense para el Uso y Manejo del Suelo. • Promover la conservación de suelos y la aplicación de los principios de la agricultura sostenible. • Fomentar el establecimiento de sistemas agroforestales, agricultura orgánica y el manejo de la regeneración natural en áreas de laderas susceptibles a erosión y degradación de los suelos. • Sistematizar y validar las "buenas prácticas" relacionadas con sistemas de producción sostenibles: prácticas mecánicas y biológicas de conservación de suelos, fertilización orgánica, diversificación productiva, sistemas agroforestales, entre otras. • Apoyar a productores que generan externalidades ambientales positivas (compensación por servicios ambientales). • Fomentar iniciativas de diversificación de fuentes de ingreso, que contribuyan a disminuir la presión sobre los recursos naturales. 	X	X	X
<p><i>Fomentar una ganadería sostenible</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover el control de carga animal en áreas de pastoreo, principalmente en áreas con mayores pendientes. • Promover ganadería intensiva que incluya establecimiento de pastos de corte, mejorados, ensilaje, en áreas ganaderas con relieve escarpado. • Fomentar la implementación y manejo de sistemas silvopastoriles, que incrementen la cobertura arbórea brinde sombra, forraje, facilite la infiltración del agua, la conservación de suelos y refugio de la fauna 	X	X	X

<p>silvestre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el establecimiento y manejo de bancos forrajeros de árboles y arbustos y de gramíneas que reduzcan demanda de pastoreo y mejoren la alimentación de verano. 			
<p><i>Manejo sostenible de los bosques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Restaurar los bosques de galería de acuerdo al marco legal existente • Reforestar áreas de vocación forestal, estableciendo especies nativas. • Manejar la regeneración natural • Implementar Sistemas Agroforestales y/o Silvopastoriles • Monitorear flora y fauna para su conservación. 	X	X	X
<p><i>Gestión Integral de los Recursos Hídricos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Conformar, fortalecer y hacer funcionar los Comités de Agua Potable y Saneamiento, fomentado la participación de la mujer y jóvenes rurales en cada comunidad del municipio de San Juan de Río Coco. • Elaborar e implementar planes de manejo de las microcuencas de: El Bálsamo y San Juan • Establecer una red de monitoreo de calidad del agua de los ríos y manantiales. • Prevenir y controlar actividades contaminantes de las fuentes de agua, relacionadas con el uso de pesticidas y fertilizantes, principalmente en los vertidos de aguas mieles. • Desarrollar e implementar mecanismos de producción más limpia en el beneficiado de café. • Elaborar y aplicar normativa que regule el tratamiento de desechos provenientes de agroquímicos. Crear un centro de acopio de envases. • Mejorar la recolección y tratamiento de los desechos sólidos a nivel urbano y centros poblados relevantes. • Establecer infraestructura adecuada para la protección de fuentes de agua para el consumo humano. 	X	X	X

<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar, aprobar y aplicar ordenanza que prohíba la deposición de desechos sólidos y aguas mieles en ríos y manantiales. • Proteger y enriquecer los recursos forestales en las áreas de recarga de acuíferos, que abastecen de agua a la ciudad de San Juan y otros centros poblados relevantes. • Sistematizar y validar prácticas sencillas para el manejo del agua tales como cosecha y aprovechamiento de agua de lluvia, sistemas de riego artesanales. • Reforestar con especies nativas las áreas de recarga de acuíferos. • Proteger las riberas de los ríos, reforestando las márgenes de ríos y quebradas, de acuerdo al marco legal existente y priorizados por su importancia para el abastecimiento de agua y conservación de la biodiversidad. • Fomentar la aplicación de Normas Básicas de Higiene y Saneamiento orientado a proteger a la niñez de enfermedades que más le afecten. 			
---	--	--	--

V. CONCLUSIONES

- En base a los resultados del análisis de suelos se encontró que en el Municipio de San Juan predominan suelos con texturas de franco arenosos a arenosos, los cuales son susceptibles a la erosión, además del relieve que presentan los suelos con pendientes mayores de 15%.
- De las seis fincas en estudios, la finca Santa Gema, es la que presenta las mayores pérdidas de suelos la cual equivalen a 387.5 ton/ha, siendo influenciado por las características propias de los suelos que ahí predominan, así como las pendientes que existen mayores a 45%. A pesar de que ahí se establece el cultivo de café bajo sombra. Mientras la finca La Consentida, es la que adquirió la mayor acumulación de suelo, lo cual está influenciado por la cobertura vegetal ahí existente y presentar un relieve con poca pendiente.
- De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que en la parte alta de ambas micro cuencas los suelos son utilizados principalmente con sistema agroforestal café bajo sombra ya que las condiciones ambientales ahí presentes, son propicias para el cultivo de café, aunque se requiere de la combinación de técnicas de conservación de suelos y agua, para aumentar su productividad y conservación de los suelos.
- De acuerdo a las características propias de uso del suelo y cobertura vegetal que poseen las micro cuencas en estudio, se concluye que estas favorecen la infiltración del agua en el suelo, lo cual influye, en mantener el caudal circulante en los meses de febrero, marzo y abril que es cuando se presentan los mayores déficits de agua en el suelo.
- En base a los resultados obtenidos en los parámetros físico-químicos estos están entre los rangos permisibles de las normas CAPRE 1994 y bacteriológicos analizados para determinar la calidad del agua, estos indican que hay presencia de coliformes fecales y totales con valores más de 4 NMP y más de 1200 NMP respectivamente los cuales sobrepasan los niveles máximos admisibles establecidos por las normas CAPRE.

- Debido a que las aguas del área urbana del municipio de San Juan del Río Coco se encuentran contaminadas, por aguas residuales y residuos de agroquímicos que vierte la población al río, estas no pueden ser utilizadas para consumo humano, ni uso doméstico, sin previo tratamiento.
- De acuerdo al índice de BMWP/ASPT, el agua que se encuentra en la parte alta de la microcuenca de El Bálsamo y San Juan son clasificadas como aguas de ligeramente a moderadamente contaminadas predominando en ellas las familias Chironomidae y Hidropsychidae, las cuales son indicadoras de contaminación fuerte, también se encontraron las familias Leptohyphidae, Baetidae, indicadoras de aguas de contaminación moderada, asociado a las diferentes labores agrícolas que se realizan en cada una de las microcuencas, además de los vertidos de aguas mieles que realizan al río, según los muestreos realizados.

VI. LITERATURA CITADA

- Anacafé (Asociación Nacional del Café, GT). 2006.** Metodología para la evaluación de servicios ambientales. Guatemala. 36 p.
- Armitage, PB; Pets, GE. 1992.** Biotic score and prediction to assess the effects of water abstractions on river macroinvertebrates for conservation purposes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 2:1-17.
- CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana). 1994.** Norma Regional CAPRE: Normas de calidad del agua para consumo humano. Ed. rev. San José, CR. 27 p.
- Catalán Lafuente, JG. 1981.** Química del agua. 2 ed. Madrid, ES, BELLISCO. p. 33.
- Diéguez, A. 1999.** Evolución temporal de la concentración de iones en las aguas de escorrentía de una cuenca agrícola: Avances sobre el estudio de la erosión hídrica. Coruña, ES, Universidad de A Coruña. p. 325-341.
- Donahue, RL; Miller, RW; Shickluna, JC. 1997.** Soils: An introduction to soil and plant growth. Englewood, NJ., US, Prentice Hill.
- García Obando, LA. 2003.** Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 164 p.
- Hillel, D. 1982.** Introduction to soil physics. San Diego, CA., US, Academic Press.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). s.f.** Ficha municipal: San Juan de Río Coco (en línea). Managua, NI. Consultado 20 mar. 2012. Disponible en http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MADRIZ/san_juanderiococo.pdf
- Martínez Ménez, M. 2005.** Estimación de la erosión del suelo (en línea). México, DF. Consultado 12 may. 2013. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/6/04estim-eros-sue.pdf>
- MinAmbiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CO) / ECOCARBÓN (Empresa Colombiana de Carbón). 1998.** Guía ambiental para proyectos carboeléctricos (PCE) (en línea). Ed. H García. Bogotá, CO. Consultado 28 nov. 2013. Disponible en http://www.minambiente.gov.co/documentos/Guia_ambiental_para_proyectos_carboel%C3%A9ctricos.PDF
- NTON (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense). 2000.** Normas para la clasificación de los recursos hídricos. Managua, NI. 9 p.

Red MAPSA (Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, UY). 2007. Guía para la utilización de valijas viajeras: Determinación de la alcalinidad total. Montevideo, UY. 4 p.

Roldán Pérez, G. 1988. Guía para el estudio de macro-invertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 217 p.

Roldán Pérez, GA; Ramírez Restrepo, JJ. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. 2 ed. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 529 p.

Roldán Pérez, GA. 2003. Bioindicadores de calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 175 p.

TRAGSA (Empresa de Transformación Agraria S.A., ES). 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, ES, Mundi-Prensa. p. 47.

Trejo, M; Barrios, E; Turcios, W; Barreto, H. 1999. Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales de suelo a nivel de microcuenca. *In* Instrumento para la toma de decisión en el manejo de los recursos naturales. Cali, CO. 225 p.

USDA (Department of Agriculture, US). Soil Conservation Service. Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Washington, DC. 315 p.

USDA (Departamento de Agricultura, US). Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, DC. 82 p.

Zinck, A. 2005. Suelos, información y sociedad. *In* Bautista, F; Palacio, G. eds. Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Yucatán, MX, Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. p. 9-19.

VII. ANEXOS

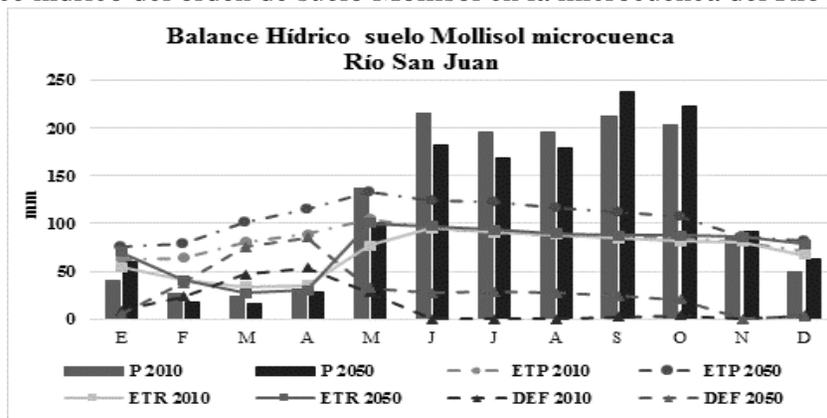
Anexo 1. Captura de macro-invertebrados bentónicos para evaluación de la calidad biológica.



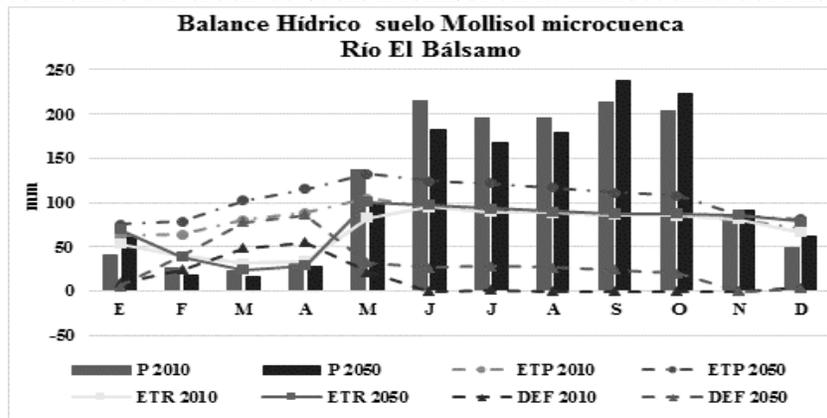
Anexo 2. Establecimiento de pluviómetros caseros en las fincas cafetaleras evaluadas.



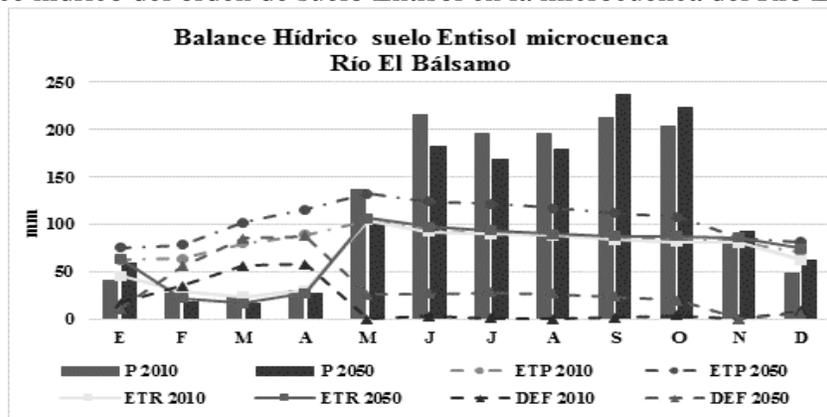
Anexo 3. Balance hídrico del orden de suelo Mollisol en la microcuenca del Río San Juan.



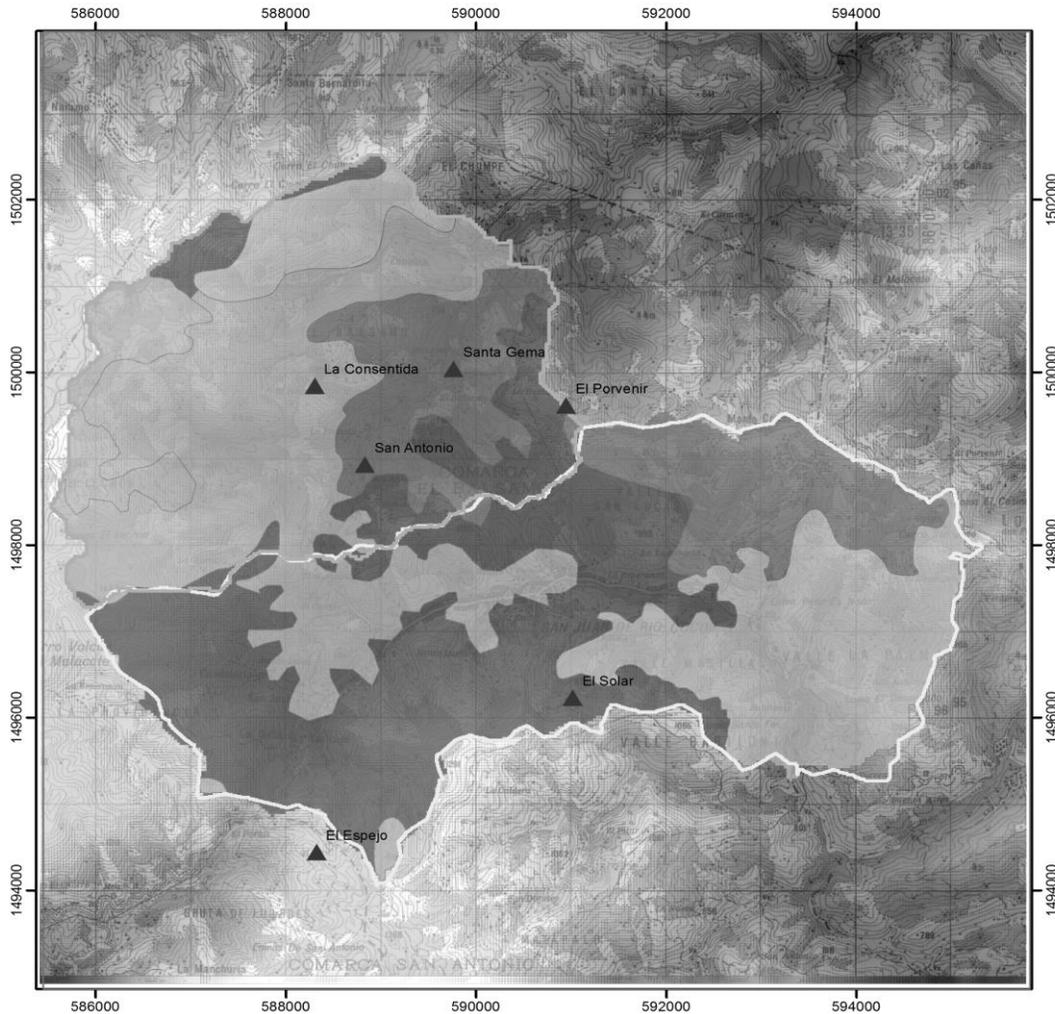
Anexo 4. Balance hídrico del orden de suelo Mollisol en la microcuenca del Río El Bálsamo.



Anexo 5. Balance hídrico del orden de suelo Entisol en la microcuenca del Río El Bálsamo.



Anexo 6. Mapa de suelos de la parte alta de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálsamo del municipio de San Juan del Río Coco.



Leyenda

▲ Fincas

Suelos

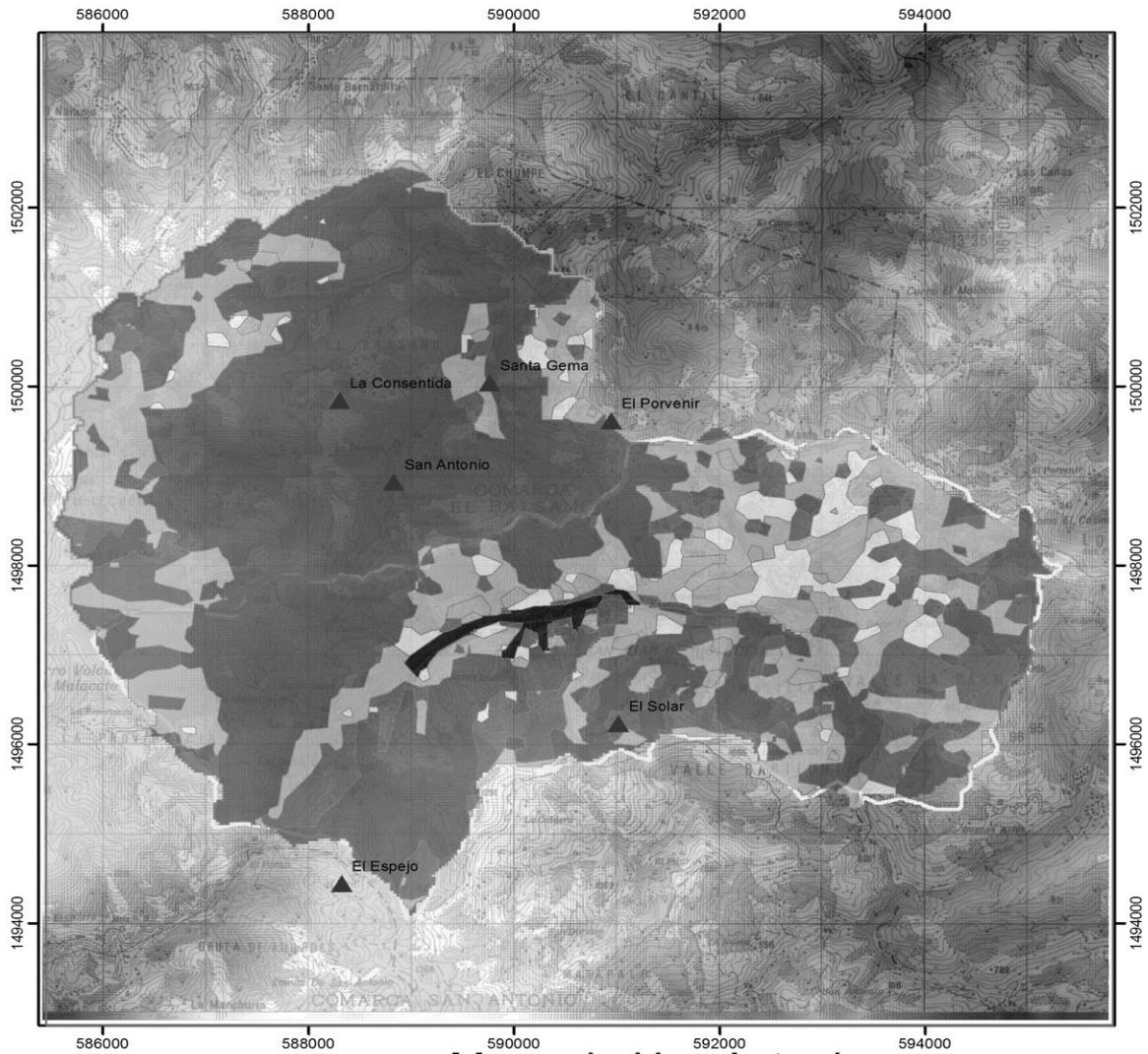
ORDEN

-  Argiudolls
-  Hapludalfs
-  Hapludolls
-  Lithic Udorthents

**Mapa de Suelos
San Juan de Rio Coco, Madriz, Nicaragua**



Anexo 7. Uso actual del suelo de la parte alta de las microcuencas del Río San Juan y Río El Bálamo del municipio de San Juan del Río Coco.



Mapa de Uso Actual

Legenda San Juan de Rio Coco, Madriz, Nicaragua

CLASEUSO

	Bosque latifoliado cerrado		Cultivos/pastos
	Bosque latifoliado abierto		Pastizales
	Café con sombra		Suelo sin vegetación
	Centro poblado		Tacotales



Anexo 8. Pérdidas de suelo en las fincas Santa Gema y El Porvenir.



Anexo 9. Medición de pérdidas o ganancias de suelo por erosión hídrica en las fincas.

