

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



**ESTADO DE LOS SUELOS Y RECURSOS HÍDRICOS
SUPERFICIALES DEL MUNICIPIO LA CONQUISTA, CARAZO,
NICARAGUA**

**TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

Presentada por:

**Br. Yader Mayquel Barrera Rivera
Bra. Marvel Virginia Amador Andino**

Asesores:

**Dra. Martha Orozco
M.Sc. César Aguirre**

Managua, Septiembre 2008

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **Dios** por haberme dado el conocimiento, la salud la fortaleza y el empeño para la finalización de esta investigación; también por permitirme conocer personas que me condujeran por buenos caminos.

A mi madre **Agustina Rivera Mondragón**, por el apoyo incondicional desde el momento de cargarme en su vientre hasta los últimos segundos de mi vida, por los valores inculcados desde mi infancia y sobre todo la disposición que siempre perseveró en ella para llegar a cumplir mi meta. "**Mi meta siempre fue su Meta**".

A mi padre **Cruz Antonio Barrera Martínez**, que desde el cielo siempre guió mis pasos para que nunca tropezara y llegara donde él siempre quiso que estuviera. "**El Triunfo de un Hijo es la inspiración de un padre**".

A mis hermanos que siempre estuvieron a mi lado brindándome todo su apoyo incondicional, y en especial a **Cruz Antonio Barrera Rivera** que siempre estuvo a la disposición donde siempre lo necesité.

A profesionales, estudiantes, técnicos, productores y demás personas que algún día encuentren en este documento información necesaria para su formación.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma fueron de gran inspiración para salir adelante .

Yader Mayquel Barrera Rivera

DEDICATORIA

Al ser más importante de mi vida **JEHOVĀ** por que me ha guiado, me ha instruido, me ha dado las fuerzas y salud que he necesitado para concluir con esta investigación hasta la recta final. Verdaderamente reconozco que sin el, yo no sería quien soy hasta el día de hoy.

A mis padres **Juan Francisco Amador** y **María de los Ángeles Andino Martínez** ya que gracias a la unión de ellos hicieron posible que sus metas se cumplieran en mí y sus esfuerzos, apoyo, recursos y dedicación tuvieran frutos excelentes; así como su amor, cuidado, tiempo, educación y valores que me brindaron e inculcaron desde mi infancia, han logrado que yo pueda alcanzar una de mis metas.

A mi compañero, amigo, confidente pero sobre todo a mi esposo **Reynolds L Scott** que ha estado cuando más lo he necesitado, que ha sido la fuente de mi inspiración, que me ha brindado su amor y apoyo incondicional así como sus recursos, tiempo y energías desde el momento en que lo conocí.

A mis hermanos tanto espirituales como carnales que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme, brindándome su apoyo incondicional, y en especial a **Carlos Amador Andino** y **Francisco Morales** que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme con sus recursos cuando los necesité.

A todas aquellas personas y amigos que estuvieron pendientes de mi investigación, que de una u otra forma fueron fuente de apoyo para salir adelante.

Marvel Virginia Amador Andino.

AGRADECIMIENTO

A la **Dra. Martha Orozco Izaguirre** y al **Ing. MSc. César Aguirre Jiménez** por haber confiado en nosotros para la realización de esta investigación. También por sus recomendaciones, asesoramiento, consejos, apoyo, regaños, etc, que siempre fueron de gran validez en nuestro desarrollo personal y profesional.

Al **Dr. Efraín Acuña** por el apoyo incondicional en la etapa de campo, clasificación taxonómica de los suelos y el procesamiento de la información en el Sistema de Información Geográfica, ya que su ayuda contribuyó enormemente para que esta investigación se realizara.

Al Programa de Apoyo a la Investigación – UNA, por brindarnos el financiamiento necesario para llevar a cabo esta investigación, ya que sin su apoyo no hubiese sido posible este estudio, así como también para obtener nuestro título de graduación.

A la Dirección de Servicios Estudiantiles y en especial a la **Lic. Idalia Casco** por su ayuda durante mi estadía en la UNA y haber puesto su empeño en consolidar mis valores (Yader).

A la familia del profesor **César Aguirre** por brindarnos alimentación y techo al momento de realizar la recolección de datos en la etapa de campo, para lograr con éxito la culminación de esta investigación. También a **Yamila, Harvin, Ulises y Miguel** y todas aquellas personas que colaboraron con nosotros en la etapa de campo.

A todos nuestros amigos que siempre estuvieron en las buenas y en las malas, que nos brindaron su apoyo moral, y una persona en especial....

Yader Mayquel Barrera Rivera
Marvel Virginia Amador Andino.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar las restricciones, limitantes y potencialidades de los recursos suelos del municipio La Conquista, se realizó la actualización de la información a nivel de fase de serie de suelos, a través de un levantamiento semidetallado a escala 1:20,000; se realizaron noventa barrenadas (una por km²), y se describieron seis perfiles de los suelos más representativos. Para el estudio los recursos hídricos superficiales, se delimitaron las microcuencas y se determinaron parámetros morfométricos; cálculo de los caudales máximos utilizando el método del número de curvas; estimación de balances hídricos; medición de caudales con el método del flotador en cuatro ríos; toma de muestras de aguas para determinar los parámetros físico-químicos (DBO, DQO, temperatura y pH) parámetros bacteriológicos (coliformes totales y fecales); y para la calidad biológica se utilizó el índice BMWP/col que utiliza macroinvertebrados como indicadores. Del estudio de los suelos resultaron mapas de serie de suelos, pendientes y de uso de la tierra, así como una valoración de la aptitud de los suelos por fase de serie. En el recurso hídrico se determinó que el municipio tiene en su territorio 18 microcuencas de drenaje dendrítico; en todo el año los suelos presentan déficit de agua; el agua de los ríos estudiados no puede ser utilizada para consumo humano ni para la recreación, debido a la alta presencia de coliformes fecales y totales; no obstante, se pueden usar en la agricultura, ganadería, entre otros.

SUMMARY

In order to characterizing the soil and water resource in the municipality, La Conquista a study was performed to doing a segment slope survey semidetailed using a scale 1:20,000, ninety bored holes (one every km²) and six profiles of the most prevailing soils were described. For the Hydric resources, the microbasins were delimited and morfometric parameters were determined; calculated the maximum water volume using the method of number of curves; estimation of the hydric balance, measurements of water volumes using the method of floater in four rivers; taking water samples to determine the physic-chemicals (DBO, DQO, Temperature and pH); bacteriological parameters (total coliforme and fecals); and the biological quality the BMWP/col was used which use macroinvertebrates as indicators. Several maps were obtained from this study; soils, slopes and the use of land, and also a valorization what is good the land in soil serie. In the hydric resource it was found out that the municipe has in its territory 18 microbasins of dendritical drainage; throughout the year the soils shows water shortage; the water of the river under study are not for human consume neither for recreation because of the high presence of fecal coliforms and totals; however they can be used in agriculture, livestock among some.

ÍNDICE

Índice de contenido

Título	Pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
SUMARY	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Recurso suelo	4
3.1.1. Factores y procesos de formación del suelo	5
3.1.2. Levantamiento de suelo	7
3.1.3. Sistema de clasificación del suelo (Soil Taxonomy)	10
3.1.4. Mapa y escala	11
3.1.5. Evaluación de tierras: El método de clase de capacidad agrológica	13
3.2. Hidrología	14
3.2.1. Ciclo hidrológico	14
3.2.2. Recurso hídrico superficial	14
3.2.3. Cuenca hidrográfica	15
3.2.4. Caudal circulante	20
3.2.5. Caudales máximos	21
3.2.6. Balance hídrico	22
3.2.7. Contaminación del agua	23
3.2.8. Calidad del agua	25
3.2.8.1. Parámetros físico-químicos como indicadores de calidad de agua	26
3.2.8.2. Indicadores biológicos de calidad de agua	30
3.2.8.3. Bacterias del grupo coliforme como indicadores de calidad de agua	31
3.2.9. Manejo de cuenca y ordenamiento	34
3.2.10. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Medio Ambiente	37
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.1. Descripción general de la zona de estudio	40
4.1.1. Localización y extensión	40

4.1.2. Geología	41
4.1.3. Geomorfología	42
4.1.4. Clima	42
4.1.5. Vegetación	42
4.2. Proceso metodológico	43
4.2.1. Metodología para el estudio del recurso suelo	43
4.2.2. Metodología para el estudio del recurso hídrico superficial	45
4.2.2.1. Estudio de la cantidad de agua	45
4.2.2.2. Determinación de los parámetros morfométricos de las microcuencas	51
4.2.2.3. Balance hídrico	55
4.2.2.4. Calidad del agua	57
4.2.2.5. Evaluación de la calidad del entorno	62
4.3. Metodología para proponer estrategias de uso y manejo de los recursos suelo y agua.	63
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
5.1. Estado del recurso suelo en el municipio La Conquista Carazo	64
5.1.1. Descripción de los suelos del municipio	64
5.1.1.1. Serie de suelos San Rafael	64
5.1.1.2. Serie de suelos Santa Teresa	68
5.1.1.3. Serie de suelos Buena Vista	71
5.1.1.4. Serie de suelos Diriamba	73
5.1.1.5. Tierras Misceláneas	75
5.1.2. Clasificación taxonómica de los suelos más representativos del municipio La Conquista	81
5.1.3. Uso actual de los suelos	82
5.1.4. Pendientes del terreno	82
5.1.5. Causas y problemas de degradación de estos suelos	85
5.1.6. Estrategias y alternativas para el manejo de los suelos del municipio La Conquista	85
5.2. Recurso hídrico superficial del municipio La Conquista	86
5.2.1. Características morfométrica de las 18 microcuencas del municipio	86
5.2.1.1. Parámetros de forma	87
5.2.1.2. Parámetros de relieve	88
5.2.1.3. Parámetros relativos a la red de drenaje	92
5.2.2. Caudal circulante en los sitios de muestreo	99
5.2.3. Caudales máximos	100
5.2.4. Balances hídricos de las series mas representativas del municipio	102
5.2.5. Calidad de las aguas en los sitios de muestreo	107
5.2.5.1. Análisis físico-químico	107

5.2.5.2. Análisis bacteriológico	111
5.2.5.3. Análisis biológico	112
5.2.6. Evaluación de la integridad física de los sitios de muestreo	115
5.2.7. Estrategias y alternativas para el manejo de los recursos hídricos superficiales del municipio	117
VI. CONCLUSIONES	119
VII. RECOMENDACIONES	122
VIII. BIBLIOGRAFÍA	123
IX. ANEXOS	128

Índice de Cuadros

Título	Pág.
1. Relación entre el tipo de levantamiento de suelos y la escala de trabajo y de publicación.	12
2. Relación entre el tipo de levantamiento de suelos con la escala del mapa y el área mínima de mapeo en campo	12
3. Relación entre la intensidad, la escala y la exactitud en un levantamiento de suelos	13
4. Criterios utilizados para la clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.	16
5. Clasificación de las cuencas por su tamaño.	17
6. Rangos de tamaño establecidos para la Región del Pacífico de Nicaragua para la sectorización hidrográfica del territorio.	17
7. Clasificación de la situación de las aguas fluviales según los datos de DBO ₅ a 20 °C.	28
8. Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	28
9. Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Química de Oxígeno.	29
10. Ventajas y desventajas de la utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua.	31
11. Sitios de aforo de corrientes en el municipio La Conquista, Carazo	46
12. Condición hidrológica según cobertura vegetal	47
13. Valores del número de curva (NC) según condiciones hidrológicas del complejo suelo-vegetación, para la condición	49
14. Condiciones precedentes de humedad.	51
15. Clasificación de los tipos y formas de la cuenca de acuerdo a los valores del índice de compacidad	52

Título	Pág.
16. Ejemplo para obtener datos y graficar la curva hipsométrica para determinar la elevación media de una cuenca.	53
17. Densidad de drenaje y clase de densidad de drenaje.	54
18. Puntajes dados para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col	59
19. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas.	62
20. Categorías para la clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo	62
21. Clasificación taxonómica de los perfiles estudiados La conquista Carazo 1971-2006	81
22. Estrategias de manejo, alternativas y líneas de acción que se deben seguir para lograr el uso sostenible del recurso suelo del municipio La Conquista.	86
23. Parámetros relativos a la forma de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo	87
24. Parámetros relativos al Relieve de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo	89
25. Principales ríos y sus afluentes en el municipio de La Conquista, Carazo	92
26. Número de orden y longitud de las corrientes de la red hidrográfica de las microcuencas con mayor número de orden del municipio de La Conquista Carazo	93
27. Parámetros relativos a la Red de Drenaje de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo	95
28. Caudal circulante en los cinco sitios de muestreo de agua en el municipio de La Conquista, Carazo.	100
29. Caudales máximos en las microcuencas del municipio La Conquista, generados a partir de una precipitación de 100 mm.	100
30. Deficiencias y excesos de agua en los suelos más representativos del municipio La Conquista Carazo	103
31. Familias de macroinvertebrados encontrados en los sitios de muestreo Septiembre 2006	113
32. Familias de macroinvertebrados encontrados en los sitios de muestreo Noviembre 2006.	115
33. Evaluación de la calidad del entorno de los sitio de muestreo	115
34. Síntesis de las restricciones y oportunidades de los recursos hídricos superficiales La Conquista Carazo.	115
35. Estrategias y alternativas para el manejo de los recursos hídricos superficiales del municipio la Conquista Carazo.	117

Índice de Figuras

Título	Pág.
1. Representación esquemática de un levantamiento de suelos	9
2. Ciclo hidrológico o ciclo del agua.	14
3. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión	19
4. Ubicación geográfica del municipio La Conquista, Carazo	40
5. Muestreo de macro invertebrados en el río La Conquista	61
6. Conservación de muestras de macro invertebrados en el río La Conquista	61
7. Fases de serie de suelos del municipio La Conquista	65
8. Perfil representativo de la serie SRe	67
9. Perfil representativo de la serie SRf	68
10. Perfil representativo de la serie STc	69
11. Perfil representativo de la serie BVb	72
12. Perfil representativo de la serie BVd	73
13. Perfil representativo de la serie Q	77
14. Uso actual de la tierra del municipio La Conquista	83
15. Pendientes del municipio La Conquista	84
16. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río El Recogedero, La Conquista	89
17. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río El Gigante, La Conquista	90
18. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río Tecomapita, La Conquista	90
19. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río Alto de Ochomogo, La Conquista	91
20. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río La Conquista, La Conquista	91
21. Red de Drenaje de Municipio La Conquista	97
22. Microcuencas Municipio La Conquista	98
23. Medición de la velocidad media del flujo del río	99
24. Períodos de exceso o deficiencia de agua, serie de suelo Buena Vista (b)	104
25. Períodos de exceso o deficiencia de agua, serie de suelo Santa Teresa (c)	105
26. Períodos de exceso o deficiencia de agua, serie de suelo San Rafael (e)	106
27. Períodos de exceso o deficiencia de agua serie de suelo Q (f)	107
28. Valores obtenidos del pH en los muestreos de Septiembre y Noviembre	108
29. Valores obtenidos de la Temperatura del agua en los muestreos de Septiembre y Noviembre del 2006 en el municipio	109
30. Valores obtenidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en los muestreos de Octubre y Noviembre del 2006	110
31. Valores obtenidos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en los muestreos de Septiembre y Noviembre del 2006	111
32. Especie de la familia Amphipoda	112
33. Especies de moluscos encontrados	114

Índice de Anexos

Título	Pág.
Anexo I: Descripción de Perfiles de las Series más Representativas del Municipio La Conquista.	128
Anexo II: Balances hídricos de los suelos más representativos del municipio La Conquista.	132
Anexo III: Curvas hipsométricas de las microcuencas con menor área en el municipio de La Conquista, Carazo 2006.	137
Anexo IV: Representative physical properties of soils	142
Anexo V: Análisis de laboratorio de los suelos más representativos del municipio La Conquista, Carazo 2006.	143
Anexo VI: Clases de pendientes, descripción y área que ocupan en el municipio La Conquista	145

I. INTRODUCCIÓN

La situación ambiental en Nicaragua es afectada por la problemática social y económica que dificulta un crecimiento económico; que implique la explotación racional de sus recursos naturales. Consecuentemente no se cuenta con acceso equitativo a los servicios básicos, lo cual implica que la salud del ambiente y la salud de las personas se agraven, volviendo al país ambientalmente insostenible y obliga a incrementar los fondos destinados a combatir epidemias. No obstante, distintos sectores sociales del país van percibiendo de manera más eficiente los procesos y riesgos de degradación de los recursos naturales y el ambiente mismo, despertando preocupaciones de cómo evitarlos o al menos reducirlos en un grado que puedan ser ecológicamente sostenibles. El municipio de La Conquista no se escapa de esta problemática, ya que no cuenta con un plan de ordenamiento de su territorio municipal; las actividades de su población, están estrechamente vinculadas al uso de los recursos naturales, sin una planificación adecuada. Es por esta razón que el gobierno local del municipio se interesó en que se realizara una actualización de la información existente de los suelos y sus recursos hídricos superficiales, que sirva de instrumento para una planificación efectiva de las actividades que se realizan en dicho territorio.

Consecuentemente es necesario implementar acciones de ordenamiento territorial que permitan una planificación más explícita y efectiva, con el fin de buscar solución a los problemas que enfrentan los sectores más vulnerables y reducir el impacto de los desastres provocados por fenómenos naturales. Una de las restricciones para llevar a cabo procesos de esta naturaleza es la carencia de información básica actualizada. Por ejemplo, en 1971 se hizo el levantamiento de los suelos de la región del pacífico de Nicaragua, hasta el nivel de fase de serie de suelos, usando la metodología de la Soil Taxonomy, es por ello que se requiere una actualización de la información del estado de los recursos naturales con que cuenta este territorio.

Por otro lado, en la Región del Pacífico se identifican los acuíferos de mayor potencial, Pero es aquí donde se concentra la mayor densidad poblacional y es donde se realiza la mayor actividad agrícola e industrial del país; lo que ha conllevado, en algunos casos

a la explotación excesiva de los acuíferos, y a una degradación progresiva de la calidad del agua, lo que amenaza la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Se han encaminado esfuerzos en la solución a estos problemas, con un enfoque integral de cuencas, que actualmente está poco a poco resultando en conservación y restauración de los recursos hídricos.

El estudio de los suelos y los recursos hídricos superficiales del municipio La Conquista se realizó en el año 2006. Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de determinar las restricciones, limitantes y potencialidades de los suelos y los recursos hídricos superficiales del municipio La Conquista. Se espera que la información generada contribuya a que los actores locales puedan tomar decisiones idóneas, priorizar estrategias, programas y proyectos tendientes a atacar las restricciones y aprovechar las oportunidades y potencialidades de estos recursos.

II. OBJETIVOS

2.1 . Objetivo general

Identificar el estado actual de los suelos y los recursos hídricos superficiales del municipio La Conquista , con el propósito de generar información que contribuya a que los actores locales tomen decisiones idóneas, priorizar estrategias, programas y proyectos tendientes a atacar las restricciones y aprovechar las oportunidades y potencialidades de estos recursos.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las restricciones, limitantes y potencialidades de los suelos del municipio La Conquista
- Caracterizar el recurso hídrico superficial
- Identificar la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos superficiales
- Proponer alternativas para el manejo y aprovechamiento sostenible de estos recursos naturales

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Recurso Suelo

Los suelos constantemente están expuestos a procesos de degradación a diferentes escalas de afectación, originados por distintas actividades practicadas por los seres humanos para obtener algún beneficio. Es por eso que para definir el suelo se debe tener en cuenta cuál es el interés que se tiene sobre él; por ejemplo, los distintos profesionales lo definen según las posibilidades de uso que para ellos representa. En este estudio consideramos el suelo desde el punto de vista agronómico.

Concepto de Suelo: De acuerdo con Lal *et al.*, (1997), el suelo se define como un cuerpo tetradimensional que almacena energía (largo, profundidad, ancho y tiempo), o sea límite superior (atmósfera), lateral con otros cuerpo, inferior con la roca y desarrollado en el tiempo. Según el mismo autor, el suelo se localiza entre las interfaces atmósfera, hidrosfera, y biosfera, basado en tres formas de energía: Gravitacional, interna en la roca y la energía solar. Este cuerpo natural tiene funciones ecológicas y socioeconómicas; las funciones ecológicas identificadas son: i) Producción de biomasa, ii) Filtrar, amortiguar y transformar todo residuo y iii) Es biológicamente hábitat de reserva de genes. Las funciones socioeconómicas identificadas son: i) Base espacial de las actividades antópicas, ii) Como recurso de materia prima y iii) Patrimonio cultural.

Cuando el suelo pierde sus funciones, es porque se están desarrollando procesos de degradación del mismo. Según la FAO y PNUMA (1980), los procesos de degradación de suelos, se les puede agrupar en seis categorías: i) Erosión hídrica, ii) Erosión eólica, iii) Exceso de sales, iv) Degradación química, v) Degradación física y vi) Degradación biológica

El Perfil de Suelos: es corte vertical del terreno que permite estudiar el suelo en su conjunto, desde su superficie hasta el material originario. Al observar un perfil pueden distinguirse capas que se denominan horizontes, dado que su disposición suele ser horizontal o subhorizontal (Porta *et al.*1999).

Para estudiar el perfil se hace una **calicata**, que no es mas que una excavación que tiene de 70 a 100 cm. de ancho, su longitud debe permitir realizar el estudio con

comodidad y su profundidad debe ser tal que permita llegar a comprender la organización del suelo como un todo, su génesis y respuesta frente a diversos usos. (Porta *et al.*, 1999).

3.1.1. Factores y procesos de formación de suelos

El suelo es un recurso natural que al paso del tiempo sufre pequeñas transformaciones, a través de procesos de formación; para entender estos procesos es necesario tomar en cuenta que participan dos grupos de procesos como son: la meteorización y el desarrollo del perfil.

La formación de los suelos se debe a la acción de los procesos de formación, los cuales se ven influenciado por diferentes factores o grupo de factores: material original, factores climáticos, topografía, vegetación y organismos y el tiempo

Además de estos factores se puede añadir un sexto factor: la acción del hombre. Este nuevo factor puede conjugarse con el factor vegetación, llamándolos factores bióticos. Todos estos factores actúan en conjunto, ninguno se encuentra aislado de los otros, con el fin de dar lugar a la formación de los suelos, cada factor actúa en dependencia de las condiciones que se presenten.

La relación entre el suelo y los factores que lo forman pueden expresarse así: el carácter del suelo queda determinado por la acción de ciertos procesos que dependen del clima, modificados por la topografía. Estos procesos actúan directamente y, a través de la vegetación y de otros factores bióticos, indirectamente sobre un material original dado, que ha resultado por procesos de meteorización y por procesos de formación del suelo a lo largo del tiempo, que afecta así, aunque no directamente, el resultado final.

a) Material Original

El material original participa de un modo pasivo en la formación del suelo; se puede decir que el material original es el resultado de los procesos de meteorización en la roca madre, y así es el participante pasivo básico de la formación de suelos. En algunos casos, la naturaleza de la roca madre, al determinar el carácter del material original, puede afectar decididamente el carácter del producto final (Wooding, 1967).

b) Factores Climáticos

Los principales agentes del clima en la formación de suelos son la lluvia y la temperatura. La lluvia determina la humedad del suelo y también su aireación. Determina asimismo el carácter y extensión del lavado a que está sometido el perfil. La temperatura tiene una acción directa en la formación del suelo por influir en la velocidad de las reacciones químicas, que aproximadamente se duplica por cada aumento de 10 °C de temperatura (Wooding, 1967).

c) Topografía

La topografía es un factor edafogénico, principalmente por que afecta a la actuación de los factores climáticos. Se puede considerar como un factor directo en el desarrollo del perfil, donde la pendiente determina el grado de erosión y puede producirse su truncamiento. La topografía afecta los factores climáticos como la temperatura y el régimen de humedad - aire en el suelo; además, afecta al aspecto y relieve superficial (Wooding, 1967).

d) Vegetación y Organismos

La conexión entre vegetación y suelo es tan íntima que los principales grupos de suelos pueden ser definidos casi totalmente según los tipos de vegetación bajo los cuales se representan. El efecto de las condiciones del suelo se ve más marcadamente en las zonas de transición entre tipos de vegetación y puede producir asociaciones de plantas marcadamente distintas en condiciones climáticas idénticas (Wooding, 1967).

f) Tiempo

El factor tiempo para que ocurran las transformaciones del material parental, bajo las influencia de una combinación única de factores ambientales, es fundamental en la génesis y en el desarrollo de las propiedades de los suelos. Mientras mas tiempo ha actuado el clima y la vida animal y vegetal sobre el material del suelo, más definidos son los horizontes que se forman. La formación del suelo es un proceso muy lento que puede durar miles y hasta millones de años. En general, el tiempo requerido para que

un suelo desarrolle diferentes capas, depende sobre todo de las interacciones de todos los demás factores (clima, topografía, vegetación, material original y el hombre).

g) El Hombre

Desde hace mucho tiempo, la intervención humana ha modificado profundamente los suelos. Esa intervención ha producido cambios en el uso de la tierra, trastornando el perfil original donde se desarrollan los cultivos establecidos. Los efectos de la intervención humana producen efectos degradativos como la erosión acelerada, por ejemplo, cuando se destruye la cubierta vegetal natural. Además, como efecto inmediato de la deforestación se produce una reducción de la infiltración del agua en el suelo.

3.1.2. Levantamiento de Suelos

Para los levantamientos edafológicos el suelo se define como una colección de cuerpos naturales sobre la superficie terrestre, en algunos lugares modificados o inclusive hecho por el hombre a partir de materiales terrestres, que contiene materia viva y que soporta o es capaz de soportar plantas en forma natural, (USDA, 1990).

El objetivo del levantamiento de suelos es el conocimiento de su variabilidad, registrando las diferencias de un lugar a otro y como capturar en mapas esta información. Según Moreno (1989), el propósito de los estudios edafológicos es proveer la información necesaria sobre el recurso suelo para muchos usos como:

- a) Determinar las características importantes del medio edáfico
- b) Clasificar los suelos dentro de series definidas y otras unidades.
- c) Establecer y mapear los límites entre las clases de suelos existentes.
- d) Correlacionar y predecir la adaptabilidad de los suelos a varios cultivos, pastizales, y/o árboles; predecir el comportamiento y la productividad de los suelos bajo diferentes sistemas de manejo, como también la producción de los cultivos adaptables en suelos bajo una función definida de prácticas de manejo.

Antes de realizar un levantamiento de suelos se debe tener en cuenta el proceso metodológico que se debe seguir, para obtener los resultados requeridos por el

edafólogo. En la figura 1 se muestra un ejemplo de un esquema metodológico para llevar a cabo un levantamiento de suelos.

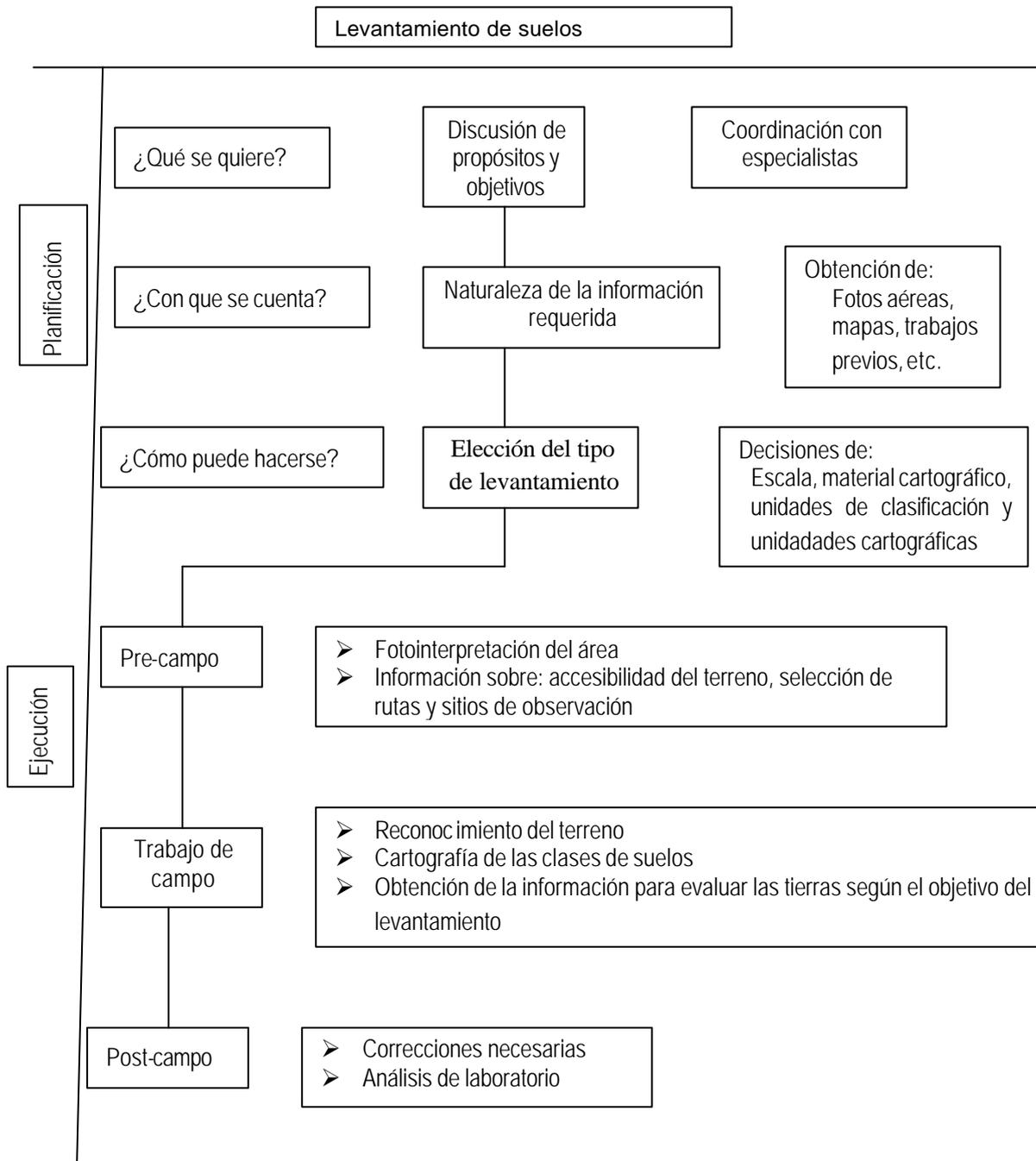


Figura 1 Representación esquemática de un levantamiento de suelos (Ortiz y Cuanalo, 1981 Citado por Bautista *et al.*, 2004).

3.1.2.1. Objetivos específicos de los levantamientos edafológicos

Según Moreno (1989), para lograr una mayor utilidad de un estudio de suelos es menester velar por el cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Procurar que el trabajo de gabinete, el de campo y el de laboratorio sean lo suficientemente completos y exhaustivos para que la información recabada y contenido en el informe sea muy precisa; de ello depende que su utilización posterior sea o no confiable.
2. El análisis de los resultados fisicoquímicos y mineralógicos debe ser en forma integral y amplia, ya que de estas propiedades dependen las recomendaciones de uso y manejo de los suelos.
3. Dar recomendaciones sobre la fertilidad de cada suelo mapeado en el área de estudio e indicar, de ser posible, las cantidades de los elementos tóxicos existentes para los mismos.
4. Se requiere clasificar los suelos en cuanto a su uso potencial. Esta información es muy útil para las personas encargadas de desarrollar programas de conservación de suelos, para extensionismo y apoyo técnico.
5. Conocer la taxonomía de los suelos mapeados es esencial para establecer con precisión la aptitud de uso y manejo de las tierras
6. La organización y redacción del informe debe ser sencilla, clara y funcional para que lo pueda comprender fácilmente cualquier persona que lo consulte.

Foth (1987), afirma que el objetivo final de la clasificación de suelos es contribuir con ello a la satisfacción máxima de las necesidades humanas que dependen de su uso, lo cual requiere la agrupación de suelos de propiedades semejantes, de tal manera que las tierras puedan ser manejadas en forma eficiente.

3.1.3. Sistema de Clasificación de Suelos (Soil Taxonomy)

Para establecer los nombres de los suelos puede recurrirse a dos criterios: utilizar nombres populares locales o introducir una nomenclatura que resulte auto explicativa. En lo que respecta a este último criterio, en Nicaragua se utiliza el sistema propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, conocido como "Soil

Taxonomy". La Soil Taxonomy establece 6 niveles jerárquicos, de homogeneidad creciente entre los suelos incluidos en cada uno de ellos; estos niveles son los siguientes: *Orden, Sub-orden, Grupo, Sub-Grupo, Familia y Serie*. Este sistema fue iniciado en 1951 y se ha desarrollado mediante cierto número de aproximaciones, habiéndose publicado la 10^{ma} edición en el 2006.

Es un sistema taxonómico cuando en el mismo se agrupan los suelos según el tipo e intensidad de los procesos de formación que actuaron sobre bs materiales originales. Por tanto, una unidad taxonómica, es una unidad de clasificación de un sistema taxonómico, cualquiera que sea la categoría a la que pertenezca (desde el orden hasta la serie de suelos), (Niborski, 2002). La serie de suelos constituyen el nivel categórico mas bajo de la Taxonomía de Suelos. Una serie es el taxón más homogéneo y el que tiene una definición mas estrecha. Además, es el que cumple en forma mas aproximada los requerimientos en detalles categóricos exigidos en los objetivos de los inventarios detallados del recurso suelo (Luzio, 1985).

La serie es la categoría mas baja y los criterios de diferenciación son los mismos que se emplean para las categorías superiores, pero el rango que se permite en una o más de las propiedades es menor. A igual que los criterios para las familias, están relacionados con el manejo, las series de suelo se les dan nombres locales (FitzPatrick, 1984).

Los nombres de las series de suelos son principalmente nombres del lugares, tales como pueblos, regiones, ríos u otros rasgos geográficos del área donde los suelos se describieron por primera vez, o bien el nombre de un área donde la serie es prominente. En algunas oportunidades hay que crear un nombre si no hay nombres adecuados. Las series de suelos se pueden dividir en otras unidades que pueden responder a varios criterios o uno solo; estas pueden ser fases de suelos; las cuales son una subdivisión de un taxón del sistema taxonómico de clasificación de suelos o de una variante.

También se usa los nombres de las fases para subdividir clases de áreas misceláneas. Las fases se diferencian en base a criterios escogidos para crear unidades útiles para predecir el uso, el manejo o el comportamiento de la tierra. Las fases se utilizan para

subdividir clases taxonómicas, pero por si mismas las fases de suelos no constituyen una categoría del sistema taxonómico (Luzio, 1985).

3.1.4. Mapa y Escala

Un mapa es una representación convencional de la superficie terrestre, que debe guardar una proporción (conocida también como escala del mapa) con respecto al objeto representado.

La escala de un mapa es la relación que existe entre una distancia medida en el mapa y su correspondiente en el terreno (Moreno, 1989). La escala es un elemento muy importante dentro de la cartografía de suelos, por lo que se hace necesario definirla en un levantamiento edafológico desde el principio; su importancia radica en que condiciona el contenido, las dimensiones y la precisión del mapa. La relación entre la escala de publicación del mapa y el tipo de levantamiento agrológico que se pretende, depende de varios factores; de estos, el objetivo del estudio es el más importante.

En un mapa los límites entre los suelos se muestran mediante líneas. Cada área completamente circunscrita por una línea se denomina delineación de suelos. El conjunto de todas las delineaciones de suelos que están identificadas en símbolos únicos, color o nombre, u otra representación en los mapas se denominan unidades cartográficas (Niborski, 2002).

Las unidades cartográficas son la representación sobre un mapa primario de las áreas ocupadas por una sola unidad taxonómica o una determinada combinación de dos o más unidades taxonómicas, con o sin sus fases, mediante una línea que la separa de otras unidades cartográficas (Niborski, 2002) .

El ordenamiento de los suelos en el espacio es un sistema de cartografía que rompe la continuidad del suelo en unidades espaciales, que tienen menos variabilidad en determinadas propiedades del suelo que el continuo o totalidad del suelo. Al estudiar, clasificar y cartografiar suelos existe una inherente dependencia con la escala de observación (cuadro 1).

Cuadro 1 Relación entre el tipo de levantamiento de suelos y la escala de trabajo y de publicación.

Tipo de levantamiento	Escala de las fotografías	Escala de publicación
General	1: 40,000 a 1:60,000	1: 100,000
Semidetallado	1: 20,000 a 1: 30,000	1: 50,000
Detallado	1: 5,000 a 1: 20,000	1: 10,000 – 1:25,000

Fuente: Moreno, 1989.

Según Moreno (1989), es lógico pensar que debe existir un equilibrio estrecho entre la escala de trabajo en un estudio de suelos y factores como el nivel de generalización taxonómica y las unidades de mapeo empleadas. En el cuadro 2 se muestra la relación entre el tipo de levantamiento, la escala y el área mínima cartografiable, utilizada ampliamente en levantamientos edafológicos en América Latina.

Cuadro 2 Relación entre el tipo de levantamiento de suelos con la escala del mapa y el área mínima de mapeo en campo (Adaptada de Elbersen et al, 1986).

Tipo de levantamiento	Escala del mapa	Área mínima de mapeo en campo (ha)
Detallado	1:10,000 a 1:25,000	0.25 ó 1.56
Semidetallado	1:25,000 a 1:50,000	1.56 ó 6.25
General	1:50,000 a 1:100,000	6.25 ó 25
Exploratorio	1:100,000 a 1:250,000	25 ó 156

Fuente: Bautista *et al.*, 2004

En cartografía el investigador decide subjetivamente sobre la variación permitida en sus unidades cartográficas, que dependen en gran medida del objetivo y con ello de la escala. En el cuadro 3 se muestra la estrecha relación que existe entre la escala y la intensidad del muestreo en los levantamientos edafológicos.

Los levantamientos de suelos a nivel semidetallado contienen la mejor escala para la realización de estudios de factibilidad de proyectos del desarrollo agropecuario de las tierras. Proveen información necesaria para la determinación de la actitud productiva para los principales tipos de utilización de las tierras (cultivos de cosecha, fruticultura, forestación, pastura, etc.) y el consiguiente análisis económico. No se adecua bien para la planificación de predios individuales (Niborski, 2002).

Cuadro 3 Relación entre la intensidad, la escala y la exactitud en un levantamiento de suelos

Levantamiento	Escala	Área por 1cm ²	Observaciones	Linderos
Exploratorio	1:5000000 1:500000	625 km ² 25 km ²	1/25 km ² 1/50 km ²	Inferidos
Reconocimiento	1:250000 1:100000	1km ²	1/2 km ²	La mayoría inferidos
Semidetallado	1:75000 1:25000	6.25 ha	1/12.5 ha	Algunos comprobados
Detallado	1:20000 1:10000	1 ha	1/2 ha	La mayoría comprobados
Intensivo	Mayor a 1:10000	Menos de una ha	Menos de 1/2 ha	Todos comprobados

Fuente FAO (1979) Citado por Bautista *et al.*, (2004).

3.1.5. Evaluación de Tierras: el Método Clases de Capacidad Agrológica

La **Clase de Capacidad de Uso** es la más alta categoría de este sistema, la cual clasifica todos los suelos en ocho clases de capacidad, de acuerdo al grado de riesgos o limitaciones de uso. Los grados de limitación tienen las categorías "nulo", "leve", "moderado", "severo" y "muy severo" (Klingebiel *et al.*, 1965).

Subclase de Capacidad: son grupos de unidades dentro de las clases que tiene las mismas clases de limitaciones dominantes para su uso agrícola, como resultado del suelo y el clima (Klingebiel *et al.*, 1965).

La Unidad de Capacidad: es un agrupamiento de suelos que son casi iguales en actitud para el crecimiento de las plantas y respuestas a la misma clase de laboreo del suelo. El agrupamiento de unidades de capacidad que responde en una forma similar y requiere trabajos similares aunque ellos pueden ser suelos con características que los pongan en distintas series (Klingebiel *et al.*, 1965).

3.2. Hidrología

Según Borsdorf (2005), la hidrología recopila, describe y explica las propiedades y las formas de manifestación de las aguas encima y debajo de la superficie terrestre, incluyendo su distribución espacial y las influencias antrópicas. Esta ciencia se ocupa tradicionalmente de **dos áreas principales**: la hidrología marina (**oceanología**) y la de tierra firme (**hidrografía**), que comprende a su vez la **limnología** (estudios de las aguas

estancadas), la *hidrogeología* (estudios de las aguas subterráneas) y la *glaceología* (origen y distribución de los hielos perpetuos).

3.2.1 Ciclo Hidrológico

La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la *evaporación* directa, a la *transpiración* por las plantas y animales y por *sublimación* (paso directo del agua sólida a vapor de agua),

(<http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>). En la figura 2 se muestra el esquema general en que ocurre el ciclo del agua en el planeta, aunque existen variaciones por regiones.

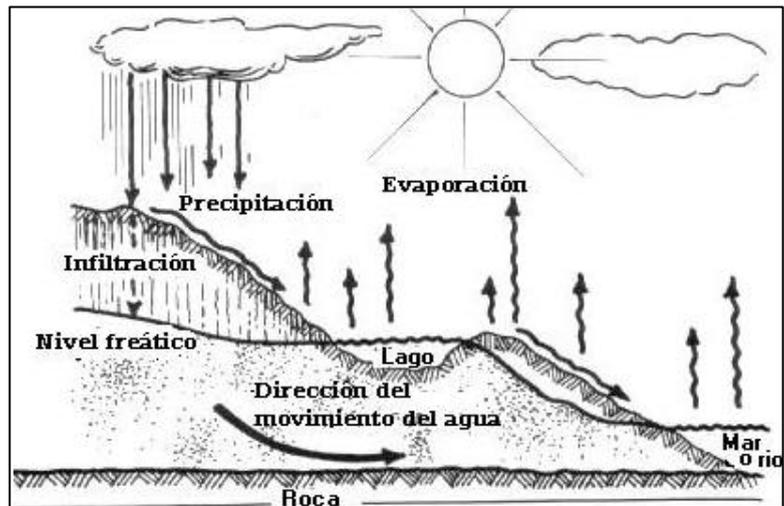


Figura 2. Ciclo hidrológico o ciclo del agua.

Fuente <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>

3.2.2. Recurso Hídrico Superficial

El agua pura es un líquido inodoro e insípido, principal componente del cuerpo del ser humano; toda la vida del planeta depende del agua. Todas las actividades que realizamos a diario de alguna manera están relacionadas con el uso del agua. Sin embargo, estas actividades están contaminando directa e indirectamente las fuentes de este recurso, lo que implica mayores costos en su depuración para disminuir el incremento de enfermedades producto de consumir aguas contaminadas.

3.2.3. Cuenca Hidrográfica

La cuenca es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal perenne o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar (Villon 2004).

La cuenca hidrográfica se concibe como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación, se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área interactúan seres humanos, animales y plantas.

La importancia de las cuencas hidrográficas radica en que los recursos de agua continentales son un componente esencial y una parte imprescindible de todos los ecosistemas terrestres. El ambiente del agua se caracteriza por el ciclo hidrológico, que incluye situaciones extremas como inundaciones y sequías. El cambio del clima mundial y la contaminación atmosférica también podrían tener repercusión en los recursos de agua y su disponibilidad y, mediante el aumento del nivel del mar, podrían amenazar las áreas costeras bajas y los ecosistemas insulares pequeños.

3.2.3.1. Características físicas de la cuenca

El ciclo hidrológico, visto al nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren, dentro de la cuenca, varios fenómenos que modifican dicha respuesta. Estos fenómenos en gran parte están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca.

Los parámetros morfológicos intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma y la influencia en la respuesta a las precipitaciones. Se deduce a partir de la cartografía y se incluyen en los proyectos hidrológicos (TRAGSA, 1994). La morfología de la cuenca queda definida por los siguientes parámetros: i) Parámetros de forma, ii) Parámetros de relieve, iii) Parámetros relativos a la red de drenaje.

En el cuadro 4 se muestran criterios utilizados para clasificar cuencas, subcuencas y microcuencas. Esta clasificación es relativa y puede no aplicarse a ciertas condiciones de regiones donde los rangos de las unidades son muy variables en magnitud; por eso muchas veces se deja a criterio de los especialistas, quienes de acuerdo a la complejidad, detalles requeridos e importancia pueden distinguir que significa una cuenca grande ó pequeña, ó que considera una subcuenca o microcuenca.

a) Parámetros de Forma

Esta característica es importante pues se relaciona con el tipo de concentración, el cual es el tiempo necesario desde el inicio de la precipitación para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio; en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites mas extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma (Monsalve, 1999).

El factor de forma expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud de la cuenca, medida esta última desde el punto más alejado hasta la descarga. El ancho promedio se obtiene, a su vez, dividiendo la superficie de la cuenca por la longitud. Para cuencas muy anchas o con salidas hacia los lados, el factor de forma puede resultar mayor que la unidad (Villon, 2004).

Tamaño o área de la cuenca: Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre sus divisorias topográficas (Monsalve, 1999). Según este mismo autor, el tamaño de la cuenca es una característica que influye en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos. En el cuadro 5 se muestra la clasificación de las cuencas que hace Monsalve (1999), de acuerdo al área de drenaje de la misma.

Cuadro 4 Criterios utilizados para la clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.

Unidad	No. de Orden de Corriente	Área (km ²)
Microcuenca	1, 2, 3	10 – 100
Subcuenca	4, 5	100 – 700
Cuenca	Más de 6, 7	700 – 6000

Fuente: Monsalve, 1999.

Cuadro 5 Clasificación de las cuencas por su tamaño.

Características	Área (km ²)
Pequeña	< de 50
Mediana	de 50 a 150
Grande	> de 150

Fuente: Monsalve, 1999.

En el cuadro 6 se muestran los rangos de tamaño establecidos por IRENA (1983), para la región del Pacífico de nuestro país, que orientan a la sectorización hidrográfica del territorio en cuencas, subcuencas y microcuencas, de forma que respondan a los requerimientos de macro y micro ordenamiento de la tierra.

Cuadro 6 Rangos de tamaño establecidos para la Región del Pacífico de Nicaragua para la sectorización hidrográfica del territorio.

Sectorización	Rangos de Tamaño (km²)
Cuenca	400 – 850
Subcuenca	100 – 250
Microcuenca	10 – 50

Fuente: IRENA, 1983.

Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius: la forma de la cuenca ha sido comparada con diferentes formas ideales, algunas con más éxito que otras. El índice de Gravelius (Gravelius, 1914) compara la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca. Según Monsalve (1999), el coeficiente de compacidad es indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca. Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.

b) **Parámetros de relieve**

El relieve de una cuenca condiciona el escurrimiento. La mayor parte de factores meteorológicos e hidrológicos (precipitación, temperatura, caudal específico, entre otros) se presentan en función de la altitud. La influencia del relieve sobre la respuesta hidrológica de la cuenca es importante, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración del agua a la salida de la cuenca

Pendiente de la cuenca: La pendiente de la cuenca es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca; tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. La pendiente es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y

concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas (Villon, 2004).

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca, entre las que pueden citar los siguientes: Criterio del rectángulo equivalente, criterio de Alvord, criterio de Horton y criterio de Nash (Villon, 2004).

La pendiente media de una cuenca: Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas (Guilarte, 1978). Este concepto trata de representar las infinitas pendientes que pueden existir dentro de la cuenca y está estrechamente relacionado con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie, guardando una relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la recarga del acuífero (mantiene el caudal base de los arroyos).

Curva hipsométrica: Es la representación gráfica de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar (Monsalve, 1999).

La curva hipsométrica puede modificarse en función de la altura relativa y ello permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca, bajo la hipótesis de que esta función relaciona altitud con área; por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca sufre erosión. No obstante, algunos autores atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de tres curvas hipsométricas que tiene potenciales evolutivos distintos. La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de un cuenca sedimentaria.

Quedarían, así, representadas distintas fases de la vida de los ríos:

- Curva A: fase de juventud
- Curva B: fase de madurez
- Curva C: fase de vejez

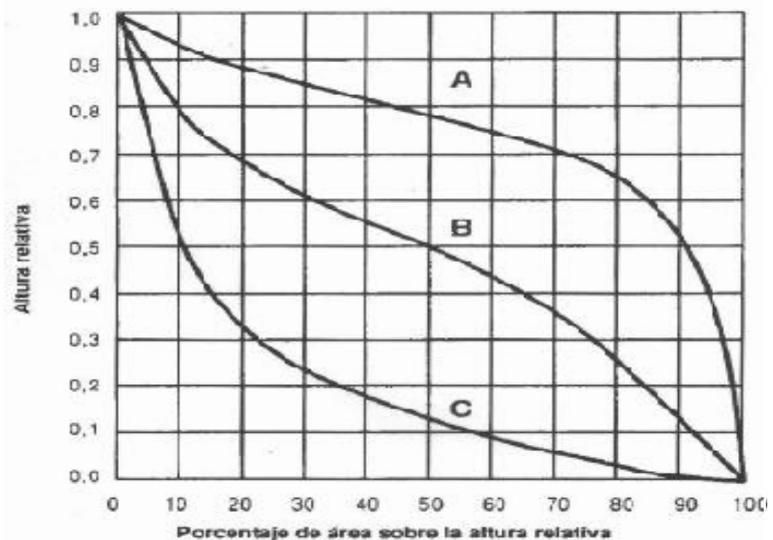


Figura 3 Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión (según

c) Parámetros relativos a la red de drenaje

Red de Drenaje: La red de drenaje de una cuenca se refiere a las trayectorias o al arreglo que guardan entre sí los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Esta es otra característica importante en el estudio de una cuenca, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie (Villon, 2004).

Densidad de Drenaje: según Monsalve (1999), es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. La densidad de drenaje es el parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos que se encuentran en la cuenca; también da una idea sobre el grado de cobertura que existe en ella. Los valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por el contrario, los valores bajos indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y cobertura vegetales densas (Villon, 2004).

Densidad de corrientes y orden de corrientes: Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada, es decir, refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (Monsalve, 1999). Para determinar el número de corrientes, solamente se

consideran las corrientes perennes e intermitentes. Las corrientes principales se encuentran como una sola, desde su nacimiento hasta su desembocadura. Después se tendrán todos los tributarios de orden inferior, desde su nacimiento hasta la unión con la corriente principal, y así sucesivamente hasta llegar a los tributarios de orden uno.

Esta relación entre el número de corrientes y el área drenada no proporcionan una medida real de la eficiencia de drenaje, pues puede suceder que se tengan dos cuencas con la misma densidad de corrientes, y estén drenadas en muy diferentes formas, dependiendo de la longitud de sus corrientes (Villon, 2004).

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Para hacer esta clasificación, se requiere un plan de la cuenca que incluya tanto corrientes perennes como intermitentes. El procedimiento más común para esta clasificación es considerar como corriente de orden uno, aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos, a las que sólo tienen tributario de orden uno; de orden tres, aquellas con dos o más tributarios de orden dos. Así, el orden de la principal indicará la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca (Villon, 2004). Todas las corrientes pueden dividirse en tres clases generales según el tipo de escurrimiento, el cual se relaciona con características físicas y condiciones climáticas de la cuenca.

Corriente efímera: Es aquella que solo llevan agua cuando llueve e inmediatamente después.

Corriente intermitente: Llevan agua la mayor parte del tiempo pero principalmente época de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.

Corriente perenne: Contiene agua todo el tiempo; aun en época de sequía es abastecida continuamente, pues el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce.

3.2.4. Caudal circulante

El caudal es definido como el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo. Es la principal variable que caracteriza la escorrentía superficial; se expresa en m³/seg o l/seg. (Monsalve, 1999).

Existen diversos métodos para determinar el caudal de una corriente, cada uno aplicable a diversas condiciones, según el tamaño de la corriente o la precisión con que se requieren los valores obtenidos. Los métodos más utilizados son: aforos con flotadores, aforos volumétricos, aforos químicos, aforos con vertederos, aforos con correntómetros o molinete y aforos con medidas de la sección y la pendiente. Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasó por una sección dada (Mijares, 1987). Según Villon (2004), cuando se realiza aforo con flotador se mide la velocidad superficial (V) de la corriente y el área de la sección transversal (A).

3.2.5. Caudales máximos

Según TRAGSA (1994), la escorrentía es la parte de la precipitación que llega a la red hidrográfica de la cuenca y discurre por ella dando lugar a los caudales líquidos. Se pueden distinguir dos tipos de escorrentías generadoras de caudales: las escorrentías rápidas que discurren por la superficie del terreno y por tanto llegan a los cauces en poco tiempo (son los causantes de los caudales punta de las avenidas), y las escorrentías subsuperficiales y subterráneas (que alimentan los cauces de una forma lenta y dan como resultado el caudal base).

El valor real de la escorrentía superficial directa que circula por la superficie del terreno hacia los cauces sólo puede determinarse de una forma experimental, mediante la instalación de pluviómetros en la propia cuenca y por aforos de los caudales en la red. Desde un punto de vista técnico – económico, la correcta estimación de los caudales de máxima crecida, es cada vez más importante para dimensionar correctamente sistemas de desagüe de obras civiles y reducir o evitar daños en cauces fluviales, zonas regables y núcleos urbanos (TRAGSA, 1994).

No siempre es posible obtener hidrogramas, por lo que la escorrentía superficial se debe estimar a partir de otros métodos. Uno de estos métodos es el Número de Curvas; El cual fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos; se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada, a partir de las características del suelo, uso del mismo y su cubierta vegetal (TRAGSA, 1994). El parámetro de mayor importancia de la lluvia generadora, es la altura de ésta, pasando su

intensidad a un segundo plano. Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimientos tanto en el estudio de máximas, como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas.

3.2.6. Balance hídrico

El balance hídrico es la evaluación cuantitativa de la economía hídrica en un lugar y tiempo determinado (Villon, 2004). El balance hídrico se establece para un lugar y un período dado, por comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. Se tienen también en cuenta la constitución de reservas y las extracciones ulteriores sobre esas reservas. Las aportaciones de agua se efectúan gracias a las precipitaciones. Las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, lo cual se designa bajo el término evapotranspiración. Las dos magnitudes se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie, pero se traducen generalmente en alturas de agua; la unidad más utilizada es el milímetro, (Pumain, 2004).

La **evapotranspiración potencial** es la cantidad de agua que puede pasar en la atmósfera únicamente en función del estado de ésta, suponiendo que la cantidad de agua disponible no sea un factor limitante (la cantidad de agua que se agrega en un florero para mantener el nivel constante es una medida de evapotranspiración potencial en función del estado de la atmósfera en el lugar donde se encuentra ese florero).

Es común, en el estudio de los balances hídricos, comparar las precipitaciones (P) y la evapotranspiración potencial (ETP), lo cual permite distinguir situaciones diferentes en función de umbrales que son directamente significativos para un lugar o un período dado: Si $P < ETP$, la evaporación real será igual a P, habrá reducción sobre las reservas, ausencia de escurrimiento; el período se denominará deficitario. Si $P > ETP$, la evaporación real será igual al ETP, habrá escurrimiento y constitución de reservas; el período se llamará excedente, (Pumain, 2004)

El estudio de los balances hídricos es complejo por el hecho de que las dos variables consideradas no son independientes. La cantidad evaporada depende evidentemente de

la cantidad de agua disponible: cesa cuando el volumen de agua aportada por las precipitaciones está agotado.

Los balances hídricos permiten establecer cuantitativamente los recursos de agua existentes y por tanto, planificar su utilización tanto para la agricultura como para los otros diversos usos que el hombre hace de ella. Este balance puede establecerse para diferentes periodos (días, semanas, meses, estaciones o años) y puede aplicarse a diferentes extensiones territoriales (parcela, cuenca hidrográfica, entre otras). A partir de datos meteorológicos disponibles, y para cada una de las situaciones de las cuencas, se calculan los balances hídricos, para diferentes hipótesis de capacidad de campo de los suelos.

3.2.7. Contaminación del agua.

Contaminación del agua es la introducción por el ser humano y sus actividades, directa o indirectamente, de sustancias o energía, que da por resultado efectos negativos tales como, daños de recursos vivos, daños a la salud humana, impedimento de la realización de las actividades acuáticas, deportes acuáticos o amenidades en general, impedimento del uso del agua para actividades agrícolas, industriales y domésticas, (GESAMP, citado por Campos, 2000)

3.2.7.1. Efectos de la contaminación del agua sobre la salud

Las enfermedades relacionadas con el agua son una tragedia humana, que cada año causa la muerte a más de 5 millones de personas - 10 veces más que las víctimas de guerra. (UNESCO, 2003). Aproximadamente 2.300 millones de personas padecen enfermedades relacionadas con el agua. Un 60 por ciento de la mortalidad infantil mundial es causado por enfermedades infecciosas y parasitarias, la mayoría relacionadas con el agua.

En niveles mundiales, la contaminación del agua es probablemente una de las responsables de la mayoría de las enfermedades del ser humano, que cualquier otra causa de origen ambiental. (Campos, 2000). Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas

presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos. El agua también contribuye a la salud, por ejemplo, a través de la higiene. (OMS, 2004)

Según UNICEF (1998), una de las metas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) es la reducción de la mortalidad y morbilidad de los niños en la región y la salvación de 100.000 vidas de pequeños que mueren de enfermedades evitables, entre ellas, la diarrea y otras en las cuales la calidad del agua juega un papel notable.

Una gran fracción de la población mundial, alrededor de 1.1 millón de personas, no tienen acceso a fuentes mejoradas de agua; para muchas otras la contaminación del agua durante su transporte y en los hogares representa un significativo riesgo para la salud (WHO, 2004). Se estima que globalmente, 1.8 millones de personas mueren cada año por enfermedades diarreicas, 200 millones son infestadas con esquistosomiasis y más de 1 billón de personas sufren de infecciones por helmintos transmitidos desde el suelo (WHO, 2004). Una Sesión Especial sobre la Niñez de la Asamblea General de la Naciones Unidas en el 2002, reportó que cerca de 5.500 mueren diariamente por enfermedades causadas por aguas de alimentos contaminados.

Las infecciones de origen hídrico son la mayor razón de muerte en los niños de los países menos desarrollados y causan la muerte de millones de gente joven. Un gran porcentaje de enfermedades de origen hídrico se localiza en el intestino y el agua es el agente transmisor de ellas, (Campos, 2000). En el caso de Nicaragua según CEPIS-OPS (2000), las enfermedades diarreicas agudas, que generalmente se asocian a la calidad del agua utilizada para consumo humano, tuvieron una incidencia de 1,906.233 casos durante el periodo de 1992 a 1999, con un promedio de 240,000 casos al año; los departamentos más afectados por la EDA's fueron Managua (23 %), Matagalpa (15 %), Chinandega (9%). Mientras que las muertes por las EDA's reportadas durante ese mismo periodo ascendieron a 3,276. En otras enfermedades relacionadas con el agua es la hepatitis viral;

los departamentos con mayor incidencia fueron Managua (40 %), Masaya (9 %) y León (7 %).

Las intervenciones en higiene, saneamiento y suministro de agua hacen considerables contribuciones para controlar las enfermedades de origen hídrico. Pero, a pesar de los años de retórica, buenas intenciones y trabajo duro, existe poco progreso en el mejoramiento de las condiciones de saneamiento de la población. Según el MINSA (2003) en Nicaragua las enfermedades diarreicas agudas se encuentran entre las principales causas de morbilidad y mortalidad en los niños menores de 5 años.

3.2.8. Calidad del agua

El término de “Calidad del Agua” es complejo, pues encierra una serie de factores interrelacionados. Además, el concepto de calidad del agua ha evolucionado, debido al aumento en los usos del agua y a la facilidad de medir e interpretar las características del agua (Campos, 2000). Según PRASNIC (2002), el agua es potable cuando no contenga sustancias que puedan afectar a la salud humana. Estas sustancias, que son definidas como contaminantes, pueden presentarse en estado coloidal, en suspensión o en solución.

Cruz (2003), indica que para proteger la calidad del agua se debe prever las condiciones presentes y futuras para la preservación de las fuentes de agua, evitando contaminaciones del tipo doméstico, agrícola, industrial o de cualquier otra índole; para lo cual se deberá presentar las respectivas recomendaciones a las disposiciones legales existentes, emitidas por las instituciones encargada de la vigilancia, control, preservación y mejoramiento del medio ambiente tales como INAA, MARENA, INETER, entre otras.

Para conocer la calidad de las aguas es necesario estar al tanto del comportamiento de un sinnúmero de parámetros que son indicadores de calidad de las aguas. Para aguas superficiales los estándares de calidad de aguas son menos estrictos, en comparación con los establecidos para agua potable. Aquí se describen algunos que son utilizados ampliamente para conocer el estado de los recursos hídricos superficiales, cuando se cree que cuentan con algún tipo de contaminación.

3.2.8.1. Parámetros físico-químicos como indicadores de calidad de agua

La materia orgánica es uno de las principales contaminantes que afectan la calidad del agua. Cuando la materia orgánica entra al agua, los microbios y macroinvertebrados colonizan e inician el proceso de su descomposición. Durante este proceso los microorganismos consumen oxígeno disuelto en el agua, en proporción similar al material consumido, ocasionando que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se incremente, lo que puede disminuir la diversidad de organismos acuáticos y generar olores indeseables si se desarrollan las condiciones anaeróbicas (OPS 1987, Roldán 1992).

a) pH

El pH es una medida de la concentración de los iones de hidrógenos en un medio, que esta directamente relacionado con su carácter ácido, neutro o básico. (PRASNIC, 2002). El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina; el máximo aceptado es de 9 (Normas CAPRE, 1994).

El pH puede afectar a los métodos de tratamiento y al equipo metálico expuesto con el agua residual. Si el pH se sale de un intervalo de 6.5 y 8.5, el tratamiento biológico no será posible, además que se generan problemas de corrosión. Las aguas de pH menor de 6.5, son corrosivas, por el anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución. La alcalinidad natural del agua residual en muchos casos actuará como amortiguador suficiente para conservar un pH neutro (7), necesario para la actividad biológica.

Valores bajos de pH son indicativos de aguas ácidas y altos valores de pH son indicativos de aguas alcalinas. La mayoría de las aguas naturales tienen el pH en un rango relativamente neutral que va desde 6 a 8.5. El pH es una medida importante de calidad de agua, ya que este afecta la naturaleza química del agua (tales como sustancias corrosivas) y la vida biológica que esta pueda mantener (MacCarty, 1979).

b) Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de

oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 18 Y 30 °C (CAPRE, 1994).

La temperatura del agua es crítica porque regula todas las actividades metabólicas; por esta razón, al haber incremento de temperatura, las tasas de respiración se pueden incrementar, hay disminución de la solubilidad del oxígeno, se aumenta la tasa de mineralización de la materia orgánica y por ende el consumo de oxígeno. Influye también en la solubilidad de las sales y los gases, también en la disociación de las sales disueltas y por lo tanto en la conductividad eléctrica y pH del agua (Seoánez, 1999). Funciona también como un indicador de la salud del ecosistema ya que el lavado de los márgenes del río por la deforestación y falta de protección de las riberas, produce lodos que ingresan al cauce, elevando la temperatura del agua (Bartram y Ballance, 1996).

c) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días y a 20 °C (Romero, 2001). La DBO en una muestra de agua indica la cantidad de oxígeno disuelto que se gasta durante la oxidación de los residuos con requerimientos de oxígeno. En los cuadros 7 y 8 se presentan diferentes tipos de clasificación de las agua considerando los valores obtenidos en la medición de DBO.

Cuadro 7 Clasificación de la situación de las aguas fluviales según los datos de DBO₅ a 20 °C.

DBO a 20°C mg/l	Clase	Situación
DBO < 1	1	Situación normal
1 < DBO < 3	2	Situación aceptable
3 < DBO < 6	3	Situación dudosa
DBO > 6	4	Situación anormal

Fuente: Nisbet y Verneaux (1970) citado por el Ministerio de Medio Ambiente de España 1998.

Cuadro 8 Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Criterio DBO mg/l	Clasificación	Color
DBO = 3	Excelente. No contaminada	Azul
3 < DBO = 6	Buena calidad. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
6 < DBO = 30	Aceptable. Con indicios de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración, o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarilla
30 < DBO = 120	Contaminada. Aguas superficiales, con descargas de aguas residuales cruda, principalmente de origen municipal	Naranja
DBO > 120	Fuertemente contaminada. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales cruda municipales y no municipales.	Rojo

Fuente: Subdirección técnica de CONAGUA México, (2007) Citado por Mejía y Nava (2007).

La DBO es la prueba más importante que se aplica a los residuos domésticos e industriales para determinar su concentración, en términos de oxígeno que se requiere para su estabilización. Es la única prueba aplicada que da una medida de la cantidad de materia orgánica biológicamente oxidada presente, que se puede utilizar para determinar la velocidad a la que ocurre la oxidación, o a la que lleva a cabo las DBO en las aguas receptoras. Por lo tanto la DBO es el criterio más importante usado para el control de la contaminación de corrientes donde las cargas orgánicas se deben restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto (MacCarty, 1979).

d) Demanda química de oxígeno (DQO)

Es un parámetro de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte (Romero, 2001).

En la prueba de DQO se miden las cantidades de CO₂ implicadas, por lo que es más común la cantidad de dicromato empleado en el transcurso de la oxidación. Las condiciones oxidantes más severas de la determinación de la DQO, hacen que normalmente se obtengan resultados superiores a los de las pruebas de la DBO, efectuados en la mismas muestras; ello se debe a que algunos materiales orgánicos

totalmente oxidados en la prueba de la DQO, sólo son débilmente degradados por los microorganismos en la prueba del DBO (Stocker y Seager, 1981).

Si la muestra se caracteriza por un predominio de material químicamente oxidable pero no oxidable biológicamente, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO (Romero, 2001). En el cuadro 9 se muestra una clasificación de la demanda química de oxígeno de acuerdo los valores de la DQO. Una de las principales limitaciones de la prueba de la DQO es la imposibilidad para diferenciar entre material biológicamente oxidable y materia orgánica biológicamente inerte. Conjuntamente con la prueba de la DBO, la DQO, es útil para indicar las condiciones tóxicas y la presencia de sustancias orgánicas biológicamente resistentes (McCarty, 1979).

Cuadro 9 Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Química de Oxígeno.

Criterio mg/l	Clasificación	Color
DQO =10	Excelente . No contaminadas	Azul
10<DQO=20	Buena calidad . Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
20<DQO=40	Aceptable Con indicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de auto depuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	Amarilla
40<DQO=200	Contaminada . Aguas superficiales con descargas aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	Naranja
DQO>200	Fuertemente contaminadas . Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	Rojo

Fuente: Subdirección general Técnica CONAGUA México (2007); citado por Mejía y Nava (2007).

3.2.8.2. Indicadores biológicos de calidad de agua

Los bioindicadores miden la salud del sistema acuático, determinan el impacto potencial al ámbito humano; un indicador es un organismo selecto por el grado de sensibilidad o tolerancia a diversos tipos de contaminación. De La Lanza *et al*, (2000), señala que entre las limitante que presentan los bioindicadores están: i) Grado al cual pueden ser detectados impactos sutiles ii), La carencia de herramientas de diagnóstico para determinar las causas del impacto observado, iii) El estado del conocimiento para definir ecorregiones y áreas de referencia, iv) Los indicadores biológicos no tienen una

expresión numérica precisa, comparados con los físico-químicos, v) Se requiere aparentemente personal con cierta experiencia, vi) El muestreo consume mas tiempo.

Según Cairns y Dickson (1971; citado por De La Lanza *et al*, 2000), los bioindicadores presentan beneficios entre los cuales se pueden señalar: i) Los datos biológicos son fielmente accesibles como los físico-químicos, ii) La información puede expresarse numéricamente, iii) Existen conceptos biológicos que propiamente aplicados, proveen información mejor que otros descriptores para cierto tipo de contaminación, iv) La colección y evaluación de información biológica puede realizarse por grupos industriales y otros ajenos a la biología.

De Zwart (1995; citado por De La Lanza *et al*, 2000), indica que el método de biomonitorio presenta ventajas sobre el monitoreo químico entre las cuales están: i) Miden la biohabilidad de los compuestos, integrando la concentración y su toxicidad intrínseca, ii) Integran los efectos en un gran número de individuos. La respuesta biológica es integrativa y acumulativa en la naturaleza, especialmente en los niveles altos de organización biológica, lo cual reduce el número de medidas en un espacio y tiempo. Como desventaja otros autores señalan la dificultad de relacionar los efectos observados con una contaminación en especial y no reemplaza al análisis químico.

Frecuentemente se usan macroinvertebrados (insectos, moluscos y crustáceos) por su fácil colecta, manejo e identificación; además de que existe asociada a ellos, mayor información ecológica (De La Lanza *et al*, 2000). Los macroinvertebrados bentónicos son comunidades de insectos residentes o vulnerables a la contaminación del agua (Chará, 2003).

Actualmente el uso de organismos bentónicos como macroinvertebrados está siendo utilizado para determinar la calidad de las aguas fluviales, por ser un método fácil de usar y además por que no implica grandes costos en la implementación. A diferencia de los análisis físico-químicos (puntuales), estos organismos pueden predecir efectos acumulativos importantes en cuanto al tiempo, por la duración de la vida de los mismos. La utilización de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua tiene ventajas y desventajas, las cuales se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10 Ventajas y desventajas de la utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua.

Ventajas	Diversidad de forma de hábitat, muchas especies sedentarias que pueden indicar efectos en el sitio de muestreo, todas las comunidades responden al cambio. Especies de larga vida pueden indicar efectos de contaminación en el tiempo.
Desventajas	Dificultades cuantitativas de muestreo, sustratos importantes durante la muestra, algunas especies transportadas en aguas en movimientos, conocimiento necesario para la interpretación, algunos grupos tienen sus dificultades para su identificación

Fuente: De La Lanza *et al*, (2000)

Chará (2003), hace una clasificación de macro invertebrados bentónicos de acuerdo a su tolerancia a la perturbación, la cual es la siguiente:

Grupo I: Organismos sensibles a la contaminación y perturbación del hábitat; Orden Trichoptera, Mollusca (Caracol) (Organismos tolerante a la contaminación orgánica), Orden Ephemeroptera, Cangrejo

Grupo II: Organismos medianamente tolerantes a la contaminación y perturbación del hábitat; Orden Odonata, Orden Coleóptera, Orden Planaridae (Organismo tolerante a la contaminación), Orden Hemíptero, Orden Díptera (Tipulidae)

Grupo III: Organismos tolerantes a la contaminación y perturbación del hábitat; Orden Díptera.

3.2.8.3. Bacterias del grupo coliforme como indicadores de calidad de agua

Muchos de los patógenos presentes en los cuerpos de agua provienen de la contaminación fecal. Por lo tanto, un indicador adecuado es aquel presente o nativo del intestino del ser humano. De allí surgieron los indicadores del grupo de coliformes fecales, especialmente *Escherichia Coli*. Dichos organismos se encuentran en el tracto intestinal de los organismos de sangre caliente y son excretados en grandes cantidades (Campos 2000). El propósito del análisis bacteriológico del agua es indicar su contaminación con aguas negras o heces fecales, en el momento del muestreo, y por ende la posibilidad de que pueda transmitir enfermedades al consumirla.

Coliformes totales: Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento, no tiene citocromooxidasa y fermenta la lactosa con

producción de ácido, gas y aldehído a 35 ó 37 ° C, en un período de 24 a 48 horas (CAPRE, 1994).

Los coliformes totales son un grupo de bacterias relacionadas de cerca (familia de las *Enterobacterias*), que han sido utilizadas durante muchas décadas como el indicador idóneo para el agua potable. El grupo se define como aeróbico y anaeróbico. Pocas bacterias distintas de los coliformes pueden metabolizar los lácteos, por esta razón, la lactosa se usa como base para la identificación. El grupo de coliformes totales incluye la mayoría de las especies de los géneros *Citrobacter*, *Enterocabter*, *Websiella* y *Escheridia coli*. Aunque todos los géneros de los coliformes pueden encontrarse en el intestino de los animales, la mayoría de estas bacterias están muy diseminadas en el medio ambiente, incluyendo el agua. Una excepción importante es el *E. coli*, que usualmente no sobrevive mucho tiempo fuera del intestino (Perry *et al.*, 2002).

Coliformes fecales: Los microorganismos que tienen las mismas propiedades de los coliformes totales, a una temperatura de 44 ó 44.5 °C. También se les asigna coliformes termorresistentes o termotolerantes. (CAPRE, 1994). Los coliformes fecales son un subconjunto del grupo de coliformes totales; *E. coli* es el mayor subconjunto del grupo de coliformes totales. Se distinguen en el laboratorio por su habilidad o capacidad para crecer a elevadas temperaturas (44.5 °C). Ambos coliformes, los fecales y *E. coli*, son mejores indicadores de la presencia de contaminación fecal reciente, que los coliformes totales, pero no distinguen entre contaminación humana y animal (Perry *et al.*, 2002).

Los microorganismos existentes en el agua pueden ser de la propia agua, del aire y tierra y de las heces. Estos microbios pueden aumentar o disminuir su presencia según la procedencia del agua, factor químico (acidez, materia orgánica, oxígeno disuelto, cantidad de sales), factores físicos (almacenamiento, filtración, luz solar, temperatura y turbidez), factores bióticos (bacteriófagos y protozoos). El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos: La estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme (Romero, 2001).

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. Las bacterias coliformes constituyen la base del método indirecto, que se usa normalmente para determinar si en la fuente de agua se encuentran agentes patógenos infecciosos para el ser humano. Su aparición en el agua indica una descarga de materiales fecales en la misma. Su presencia en la muestra de agua permite por lo tanto, diagnosticar el tiempo transcurrido desde que tuvo lugar la contaminación fecal. La ausencia de bacterias coliformes implica que no hay descargas fecales recientes en el agua, por lo que es de suponer que está libre de agentes patógenos (Stocker y Seager, 1981).

Entre las enfermedades producidas por bacterias y transmitidas por medio del agua, pueden mencionarse la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera y probablemente ciertos tipos de desórdenes gastrointestinales. Como estas enfermedades son intestinales, las bacteria de origen fecal son de primordial importancia en los exámenes del agua. El examen bacteriológico rutinario del agua está basado en la determinación aproximada del número total de bacteria presente y de la presencia o ausencia de organismos de origen intestinal o de aguas negras.

La muestra para el análisis bacteriológico debe ser representativa y debe realizarse en el menor tiempo posible, debe tomarse en frascos de vidrio previamente esterilizados y el orificio o grifo de donde se toma la muestra, debe también esterilizarse antes de tomarla (Romero, 2001). Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos, sino también pueden originarse de animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indican contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente o de una combinación de las tres fuentes (Romero 2001).

Para el análisis bacteriológico es importante conocer no solamente que los organismos coliforme estén presentes sino también determinar su número más probable por unidad de volumen en el agua. El número más probable de organismos coliformes en una muestra de agua es la densidad más probable en producir un resultado particular. En el análisis

para detectar la presencia de organismos coliformes se examinan series de tubos con diferentes porciones de muestras (Romero, 2001).

3.2.9. Manejo de cuencas y ordenamiento del territorio

La cuenca hidrográfica como unidad geográfica, es adecuada para ser la unidad de gestión integral para el manejo de todos los recursos naturales que forman parte de la propia cuenca. El objetivo principal del manejo de una cuenca es alcanzar un uso verdaderamente racional de los recursos naturales, en especial del agua, el bosque y el suelo, considerando al hombre y a la comunidad como el agente protector o destructor, evitando que los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna) se degraden, eliminen o contaminen, considerando, al mismo tiempo que el hombre tiene que obtener suficientes alimentos, adecuada cantidad y calidad de agua, madera, leña, etc. (Ramakrisma, 1997).

En Nicaragua los alcances de manejo de cuencas evolucionaron de un enfoque orientado puramente a la captación de agua, a niveles más complejos como los de protección de recursos naturales y mitigación del efecto de fenómenos naturales extremos, como el control de erosión, contaminación y luego conservación de suelos y rehabilitación y recuperación de zonas degradadas, para luego pasar al mejoramiento de la producción (primero forestal y de pastos, posteriormente agrícola, agroforestal y de pastos, luego agrícola, agroforestal o agrosilvopastoril en forma combinada).

Manejar una cuenca hidrográfica implica la aplicación de acciones y medidas para el uso racional e integrado de los recursos naturales de la cuenca, fundamentalmente agua, suelo, vegetación y fauna, además de involucrar a la población en todos los niveles para lograr una producción óptima y sostenida de estos recursos, con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores de la cuenca y de las poblaciones vinculadas a ella (Morales, 1998). Todo esto con el con el objetivo de:

- ◆ Controlar los procesos de degradación ambiental.
- ◆ Aprovechar los recursos naturales con fines productivos.

- ◆ Lograr formas de desarrollo social, económico, y ambientalmente sustentable en el mediano y largo plazo.

El indicador más común para evaluar si una cuenca está bien manejada es la cantidad, calidad, frecuencia de descarga de agua proveniente de la misma y el nivel de producción que se obtiene por unidad de área. El agua refleja el nivel de protección y la producción refleja el nivel de aprovechamiento. Ambos son indicadores del grado de conservación de la cuenca y sus recursos (FAO, 1996).

El enfoque de la Gestión Integrada de Recursos hídricos (GIRH) ha sido definido por la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2000) como un proceso que fomenta el desarrollo y gestión coordinados de los recursos de agua, tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

La cuenca, la subcuenca y la microcuenca representan los niveles donde se operativiza la planificación de cuencas hidrográficas o sea son las unidades que permiten establecer programas, subprogramas y proyectos específicos, pero cada nivel requiere de un detalle distinto en cuanto a información (Morales, 1998). El área geográfica de una microcuenca comprende las propiedades agrícolas contenidas en el área, los respectivos agricultores y sus familias, así como también los equipos y la infraestructura económica y social existente. Es la unidad que mejor se ajusta a los objetivos de la planificación, pues engloba todas las modificaciones que pueden influir en los recursos naturales.

Todas las tierras de la misma están físicamente integradas por el ciclo del agua; por lo tanto, los cambios de cantidad y calidad de las aguas de los ríos son el reflejo de las alteraciones antrópicas efectuadas en estas unidades (Morales, 1998). Para lograr un manejo efectivo de cuencas es necesario el ordenamiento del territorio, el cual es concebido como el proceso de planificación dirigido a evaluar y programar el uso del suelos en un territorio, de acuerdo a sus características potenciales y de aptitud, tomando en cuenta los recursos naturales y ambientales, las actividades sociales y la distribución de la población, en un marco de conservación y uso sostenible de los sistemas ecológicos (Morales, 1998).

Por otro lado, FODEPAL (2004), define el ordenamiento territorial como una herramienta técnica, que tiende a orientar el proceso de optimización y uso sostenible de los recursos hídricos que están contenidos dentro de unidades de paisaje. El ordenamiento territorial plantea la disposición adecuada de todos los recursos existentes en un territorio dado, de manera tal que incluye todas las intervenciones que tienen afectación en el mismo, partiendo del reconocimiento de los recursos naturales existentes como la base de las actividades económicas, sociales y culturales en el territorio.

El ordenamiento territorial debe de entenderse también como una política de estado, en el sentido que permite orientar la planeación del desarrollo desde una perspectiva que considera los problemas desde un punto de vista global e involucra en una misma dimensión espacial los aspectos en forma separada o sectorial; además, plantea directrices a largo plazo y sirve de guía para la planeación regional y local, y parte del principio de concertación entre el gobierno y la sociedad civil para el proceso de toma de decisiones (MARENA, 2006). Es el proceso de planificación dirigido a evaluar y orientar el uso de la tierra en el territorio, de acuerdo con sus características potenciales, limitantes y problemáticas, tomando en cuenta los recursos naturales y ambientales, las actividades económicas y sociales y la distribución de la población en el marco de una política de conservación y uso sostenible de los sistemas ecológicos.

El plan de ordenamiento territorial municipal es el instrumento rector mediante el cual el municipio define, norma y orienta los usos del territorio articulando los aspectos territoriales y sectoriales, estableciendo objetivos y líneas estratégicas, contribuyendo sustantivamente al plan de desarrollo municipal. Es un instrumento de planificación participativa que refleja los esfuerzos integrados del gobierno municipal con los actores locales; en él aparecen los ejes de desarrollo y las líneas estratégicas a seguir para alcanzar el desarrollo del municipio en el corto mediano y largo plazo.

Particularmente, para mejorar los aportes de las cuencas hidrográficas estas necesitan el ordenamiento de las mismas, el cual no es más que la formulación y ejecución de un sistema de acción que incluye el manejo de los recursos naturales de la cuenca para la obtención de bienes y servicios, sin afectar negativamente a los recursos suelos y aguas.

Debe considerar los factores sociales, económicos e instituciones que actúan dentro y fuera del área de la cuenca (Morales, 1998).

El Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas consiste en recopilar la información biofísica y socioeconómica existente y complementarla con el levantamiento en campo necesario, para tener un conocimiento íntimo de las interrelaciones entre los diferentes elementos del medio físico y humano. Con lo cual, se intenta alcanzar la rentabilidad máxima de la explotación de estos elementos (potencial biótico y abiótico), cuidando de producir un riesgo mínimo de alteración de la cuenca (Morales, 1998).

3.2.10. Sistema de Información Geográfica (SIG) y Medio Ambiente

La integración de modelos ambientales y SIG son un vasto y creciente campo para los científicos vinculados a geoprocésamiento y medio ambiente. Después de la expansión de investigaciones basadas en SIG a finales de la década de los 80, es evidente el desarrollo de una nueva onda de interés en SIG por parte de las ciencias del medio ambiente (Ej.: ecología, biología, hidrología), dado el número de investigadores vinculados a la integración de modelos ligados al medio ambiente, a la tecnología SIG (Bacellar et al., 1994; Carver et al., 1995; Shirmohammadi et al., 1994; citados por Vieira, 2000). Lógicamente el sistema depende de su interacción entre el analista y el decisor, que es quien interpreta los resultados generados, colocando toda su experiencia, en un proceso de discusión conjuntamente con la comunidad o sus representantes, para sintetizarlos y analizarlos, generando informaciones y decisiones que afectan esta comunidad y el medio ambiente a su alrededor. De esta forma el SIG es caracterizado como un importante sistema de soporte para la toma de decisiones.

El proceso de transferencia de tecnología SIG para la agricultura y el medio ambiente en países en desarrollo ha estado más “dirigido por la tecnología”; sin embargo, las soluciones han sido propuestas en el sentido de envolver a los “beneficiarios” (o a la comunidad) en el proceso de montaje, ejecución e implementación y evaluación de los proyectos (Hutchinson y Toledano, 1993; citado por Vieira, 2000). El abordaje participativo ofrece una estructura potencialmente útil para transferir tecnología SIG, enfocando prioridades a los problemas de los usuarios en vez de enfocar las virtudes del sistema. La

incorporación de usuarios finales como parte del equipo ejecutor contribuye a la transferencia en los dos sentidos. (Lima 1994; citado por Vieira, 2000) la Metodología de la Planificación Participativa (MPP) aplicada al desarrollo sustentable, parte del entendimiento del medio ambiente como un conjunto de relaciones entre el hombre, la sociedad y la naturaleza, que suceden en las dimensiones del espacio y del tiempo. Este autor destaca la cuenca hidrográfica como una unidad básica de planificación de todas las actividades y servicios.

En este contexto, la influencia y los efectos de cualquier tipo de proyecto ejecutado deben ser analizados desde el punto de vista de cuenca hidrográfica (o microcuenca) donde serán localizados.

3.2.10.1. Uso de SIG en proyectos vinculados al medio físico en cuencas hidrográficas

Rebouças (1997; citado por Vieira, 2000), menciona que la gestión moderna de los recursos hídricos (aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas) impone la práctica de principios tales como adopción de la cuenca hidrográfica como unidad físico-territorial de planificación, usos múltiples integrados del agua, reconocimiento del agua como un bien natural limitado y de valor económico y gestión descentralizada y participativa. En el paradigma de desarrollo global sustentable, la disponibilidad del agua dulce es reconocida como un factor competitivo ambiental, económico y esencial para el mercado global. El crecimiento de las ciudades, de polos industriales y áreas irrigadas, ha llevado al surgimiento de regiones donde el agua se convirtió en un recurso escaso, en el ámbito geográfico, tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la calidad.

Para poder comprender mejor la calidad del agua se necesita que los tomadores de decisiones en el manejo, conservación, preservación y aprovechamiento de los recursos naturales tengan un acercamiento con nuevas herramientas que faciliten la investigación y planeación como es el SIG; esto determinará que los investigadores tengan acceso a información con mucho más detalle. En esta tecnología el uso de sensores remotos puede ser uno de los métodos más eficientes en la localización de contaminación difusa o puntual, e identificar áreas más susceptibles a la sedimentación y así poder tomar

medidas de reducción de la degradación de las fuentes de agua (Villegas, 1995). Además, esta herramienta permite la identificación de áreas críticas en una cuenca hidrográfica, lo que permitiría a los tomadores de decisión en dichas áreas hacer más efectivo el impacto de los fondos destinados a mejorar las condiciones de vida de la población.

Según Villegas (1995), mucha de la información utilizada en investigaciones hidrológicas tiene orientación geográfica. Por ejemplo, muestras de calidad de agua y mediciones de caudal y profundidad de aguas subterráneas son recogidas y relacionadas con características geográficas o físicas como la red de drenaje o un acuífero.

El análisis visual usando tecnologías de gráficos computarizados ha incrementado la habilidad de los investigadores para identificar tendencias y relaciones, y para comunicar esta información a través de despliegues gráficos. Para comprender adecuadamente los patrones geográficos, los mapas que muestran las concentraciones de constituyentes de calidad de agua superficial deben incluir información acerca de la dirección del flujo dentro de la cuenca (Villegas, 1995).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción general de la zona de estudio

4.1.1. Localización y extensión

El Municipio de La Conquista se localiza en el Departamento de Carazo, el cual a su vez se encuentra, en la Costa del Pacífico de la República de Nicaragua, (ver Figura 4). Los límites del Municipio La Conquista son: al Norte con los municipios de Santa Teresa y Jinotepe, al Sur los municipios de Santa Teresa y Jinotepe, al Este el Municipio de Santa Teresa y al Oeste el Municipio de Jinotepe. Geográficamente se localiza a los 11° 44' de latitud norte y 86° 11' de longitud Oeste. Cuenta con una extensión territorial de 91 km².



Figura 4 Ubicación geográfica del municipio La Conquista, Carazo.

4.1.2. Geología

Dentro del territorio municipal de La Conquista se pueden encontrar tres tipos de formaciones geológicas como son la Formación Brito, Formación Las Sierras y Rocas Intrusivas Terciarias, las cuales se describen a continuación.

➤ Formación Brito

Debe su nombre a Villard C. W. (Hayes, 1899; citado por MIFIC, 2006) quien al estudiar los fósiles encontrados en la sección Cabo Brito, la asignó al Eoceno. Es una de las formaciones sedimentarias más extensas del lado occidental de Nicaragua, extendiéndose desde el poblado de Villa El Carmen hasta internarse en la república de Costa Rica; su extensión entre estos extremos en el país es de 137 km de longitud, y al Suroeste-Noreste su extensión es de 36.5 km entre Nandaime y el Río Escalante en Chacocente.

El espesor de la columna litológica de esta formación se ha calculado en 2570 m. El contacto de esta formación con la suprayacente formación Masachapa es discordante, observándose entre estas dos formaciones un conglomerado basal cuyos clastos son mayormente calcáreos y en menor proporción de andesita. Durante la deposición de los sedimentos de esta formación sedimentaria, hubo aportes de material volcánico compuestos de tobas, aglomerados, ceniza y, localmente, de flujos lávicos (MIFIC, 2006)

➤ Formación Las Sierras

Según Norbertt (1989), las unidades de rocas volcánicas Cuaternarias forman el basamento de la Meseta de Carazo, consistiendo de tobas aglomeráticas (conocidas como piedra cantera) del Grupo Las Sierras (de 1 millón a 200 mil años atrás) y una secuencia joven de piroclastos y aluviales (de 25 mil años). Litológicamente se encuentra formado por una gran variedad de materiales pertenecientes a erupciones piroclásticas. Los niveles más inferiores observados son tobas aglomeráticas, poco cementadas, con presencia de un 20 % de pómez.

➤ **Rocas Intrusivas Terciarias**

Litológicamente las rocas intrusivas son impermeables porque la mineralización lenta impidió la formación de poros, sin embargo, durante la consolidación de las masas rocosas, se abrieron muchas grietas, fracturas y fisuras (Norbertt, 1989). Las rocas marinas sedimentarias del pre-plioceno y el grupo Tamarindo, están intruidas por rocas ígneas básicas intermedias de textura relativamente fina. Estos diques y pequeños filones aparecen esparcidos por toda la provincia costanera del pacífico (Catastro, 1971).

En el municipio La Conquista, es conspicua la presencia de cuerpos intrusivos del Terciario de composición intermedia (dioritas), emplazados en una orientación preferencial NE y están cortando a las unidades de rocas sedimentarias de la Formación Brito al sur del municipio, caracterizados por los cerros Los Placeres, El Tambor, La Pitilla, entre otros.

4.1.3. Geomorfología

El Municipio La Conquista se encuentra sobre lo que se conoce como Cuestas de Diriamba (parte norte) y Cordillera de Brito (parte sur del municipio). La primera se caracteriza por presentar mesas disectadas por una serie de quebradas, y la segunda por ser una alineación de lomas montañosas y colinas onduladas con pendientes que oscila entre 15 % y 45 % y más. Los puntos más altos se localizan en los lugares conocidos como Los Placeres, El Tambor, La Pitilla.

4.1.4. Clima

El clima del municipio La Conquista corresponde a un semi-húmedo (sabana tropical); presenta una precipitación media anual que oscila entre los 1200 y 1400 mm, con una temperatura media anual que varía entre los 23 y 24°C; la humedad relativa es de 76 %.

4.1.5. Vegetación

Según Salas (1992), la vegetación de la zona es tropical en las áreas con temperaturas mayores a los 24 °C y subtropical en áreas con temperaturas menores a los 24 °C.

Según la información de Salas (1992), el Municipio La Conquista es parte de la Región Ecológica I del Pacífico. Su vegetación pertenece a las Formaciones Vegetales Zonales del Trópico que se caracteriza por:

- a. Bosques bajos o medianos caducifolios de zonas cálidas y secas, 750 a 1,250 mm, precipitación pluvial promedio anual; de 26 a 29 °C de temperatura media anual; de 0 a 500 msnm; llueve de Mayo a Octubre.
- b. Bosques medianos o bajos subcaducifolios de zonas cálidas y semihúmedas; de 1,200 a 1,900 mm de precipitación; de 26 a 28 °C de temperatura media anual; 0 a 500 msnm; llueve de Mayo a Noviembre.
- c. Bosques medianos o altos perennifolios de zonas muy frescas y húmedas, en la prominencia de la Meseta de los Pueblos; 800 a 1,880 mm de precipitación; 22 a 24 °C, de temperatura; de 300 a 1,150 msnm.

4.2. Proceso metodológico

4.2.1 Metodología para el estudio del recurso suelo

Para conocer el estado actual del recurso suelo fue necesario cumplir con una serie de actividades, las cuales se describen a continuación:

- Recopilación y análisis de la información secundaria existente relacionada con los suelos: Estudio de los suelos de la región del pacífico de Nicaragua realizada por Catastro (1971), espaciomapas (2002), fotomapas (escala 1:20,000), mapas temáticos (topográfico escala 1:50,000, ortofotomapas), datos climáticos (INETER Y MAGFOR, 2003).
- Elección del tipo de levantamiento (semidetalle, escala 1:20,000), eligiéndose la serie de suelo y sus fases de serie como la unidad de clasificación
- Se elaboró un mapa base del municipio (escala 1:20,000), el cual contiene la siguiente información: accesibilidad del territorio para seleccionar las rutas de acceso, comunidades, ríos y quebradas, casco urbano municipal y los límites de las fases de serie de los suelos, establecidos por (catastro 1971).
- Levantamiento de suelos, con una densidad de observaciones de una por kilómetro cuadrado (con muestreo libre), realizándose un total de 90 observaciones (barrenadas) y la descripción de seis perfiles de los suelos más representativos del

área. Tanto las observaciones de suelos, así como los perfiles representativos fueron referenciadas con GPS.

- Se registró en boletas de campo la información macro-morfológica de los perfiles descritos (características externas e internas de los suelos).
- En los perfiles descritos se tomaron muestras de suelos de los primeros tres horizontes encontrados, tratando de abarcar al menos los primeros 50 cm de profundidad, tomando en cuenta que ésta es la sección de control del suelo y es la profundidad efectiva en la cual se encuentra la mayor parte de las raíces; dichas muestras se llevaron al laboratorio para realizarles los siguientes análisis: textura, pH, MO., P, K, CIC y Saturación de Bases.
- En cada sitio se discutió y se comparó las condiciones actuales del suelo en relación con lo reportado en 1971 (cambio en los horizontes superficiales por pérdida de espesor, compactación por labranza, pisoteo animal y erosión hídrica).
- Se elaboró el mapa actual de fase de serie de suelos del municipio (Soil Taxonomy), mediante el modelamiento en Arc View 3.1. En dicho mapa se plasmó la información siguiente: límites de cada una de las fases de serie establecidos en levantamiento realizado por Catastro en 1971, nombres de cada una de las fases de series establecidas, área que ocupa cada fase y el porcentaje de área por fase con respecto al área total del municipio. Además, se actualizó la información existente de cada una de las fases de suelos.
- Empleando Arc View 3.1 se elaboró el mapa de pendientes, a través de digitalización de curvas de nivel cada 20 metros conforme al mapa topográfico escala 1:50,000. Se clasificó las pendientes siguiendo el orden alfabético, según el grado de inclinación del terreno (rangos que van desde 0% a 45 % o más).
- Obtenida la información del estado actual de los suelos del municipio se procedió a elaborar las recomendaciones de uso y manejo, siguiendo las Normas Técnicas Obligatorias para el Uso de la Tierra propuestas por el MIFIC (MIFIC, 2006), la cual toma en cuenta factores tales como pedregosidad, drenaje, profundidad del suelo, pendiente, riesgo de inundación, textura, estructura, entre otros.

4.2.2. Metodología para el estudio del recurso hídrico superficial

Para conocer el estado de recurso hídrico superficial se llevo a cabo un proceso por cada factor estudiado, tal como se describe a continuación:

4.2.2.1. Estudio de la cantidad de agua

La cantidad de agua se determinó tomando en cuenta varios parámetros, entre ellos la red hídrica de todo el municipio, la delimitación de microcuencas, aforo de 4 ríos, caudales máximos de las microcuencas y balances hídricos por series de suelos más representativas. Estos parámetros se describen a continuación:

a) Red hidrográfica del municipio

Se digitalizaron los ríos y quebradas perennes, intermitentes y efímeras de toda la red hidrográfica del municipio, tomando como base el mapa topográfico a escala 1:50,000. Con esto se obtuvo el mapa de red de drenaje municipal

b) Mapa de Microcuencas

Se elaboró a partir de la digitalización de las curvas de nivel cada 20 metros (mapa topográfico escala 1:50,000); de ellas se obtuvo el Modelo de Elevación Digital y luego se utilizaron los modelos hidrológicos como Basin y el Hydrologic Model (extensiones de Arc View v. 3.1), para la delimitación de cada una de las microcuencas.

c) Aforo de corrientes

Para determinar el caudal de agua que circula en un momento determinado se realizó el aforo con el método del flotador. Para ello se seleccionaron 5 sitios de acuerdo a criterios como: i) Ríos que circula agua todo el año, ii) Que existiera influencia humana en el margen del río, y iii) Fácil acceso. Los sitios de aforo se detallan en el Cuadro 11. El método del flotador consiste en relacionar **velocidad/superficie**, siendo necesario medir la velocidad media de la corriente y el área de la sección transversal del canal en cada uno de los sitios muestreados.

Cuadro 11 Sitios de aforo de corrientes en el municipio La Conquista, Carazo 2006

Río	Número de sitios de muestreo
La Conquista	La Francis (parte alta) y La Conquista (desembocadura Río Grande de Carazo)
Cascalojoché	Desembocadura al Río Grande de Carazo
El Gigante	Desembocadura al Río Grande de Carazo
La Enramada	Desembocadura al Río Grande de Carazo

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)

d) Caudales máximos

Es un método indirecto que determina la cantidad de agua que se pierde por escorrentía en un evento de precipitación. El nombre del número de curva (NC), deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número N, que varía de 1 a 100. Un número de curva N=100, indica que toda la lluvia escurre, y un número N=1, indica que toda la lluvia se infiltra; por lo que los números de curvas, representan coeficientes de escorrentía.

Este método es utilizado para estimar la escorrentía total, a partir de datos de precipitación y otros parámetros de las cuencas de drenaje, tales como suelo, uso del suelo y cubierta vegetal. Se supone que cada uno de los complejos suelo-vegetación se comporta de una misma forma frente a la infiltración. En un complejo suelo-vegetación totalmente impermeable toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial. Por el contrario, un complejo totalmente permeable no daría escorrentía fuera cual fuere el valor de la precipitación. A cada tipo complejo suelo-vegetación se le asigna un valor, llamado Número de Curva o Número Hidrológico, que define sus condiciones hidrológicas.

d.1) Condición hidrológica

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo; esto se encuentra en función de la cobertura vegetal y puede aproximarse como se indica en el cuadro 12.

Cuadro 12 Condición hidrológica según cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Condición hidrológica
> 75 % del área	Buena
Entre 50 y 75 % del área	Regular
< 50 % del área	Pobre

Fuente: TRAGSA, 1994.

d.2) Grupo hidrológico del suelo

Para conocer el grupo hidrológico del suelo se definieron los siguientes grupos de suelos:

- Grupo A, con bajo potencial de escorrentía
- Grupo B, con un moderado bajo potencial de escorrentía
- Grupo C, con un moderado alto potencial de escorrentía
- Grupo D, con un alto potencial de escorrentía

Según TRAGSA (1994), los suelos se clasifican en uno de los cuatro grupos siguientes:

- Grupo A, es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprende los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla. (arenosos, arenosos-limosos, etc.)
- Grupo B, incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, aquellos otros de textura franco arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
- Grupo C, incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque, en conjunto, su textura es franco arcilloso o arcilloso.
- Grupo D, es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran

impermeabilidad, tales como los terrenos arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

En cuanto a la cubierta vegetal se establecen distintas clases en sus condiciones hidrológicas, con gradaciones de pobres a buenas para la infiltración. Cuanto más denso es el cultivo mejor es su condición hidrológica para la infiltración y menor es el valor del número N representativo de la escorrentía (ver cuadro 13).

Cuadro 13 Valores del número de curva (NC) según condiciones hidrológicas del complejo suelo-vegetación, para la condición II (SCS, 1972)

Cubierta del suelo			Número de curva/ grupos hidrológicos de suelos			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho			77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o pastos	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80

Cubierta del suelo			Número de curva/ grupos hidrológicos de suelos			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Pastizales (pastos naturales)	---	Pobres	68	79	86	89
	---	Regulares	49	69	79	84
	---	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	---	---	30	58	71	78
Forestal con pastos (ganadero - forestal)	--	Pobres	45	66	77	83
	---	Regulares	36	60	73	79
	---	Buenas	25	55	70	77
Bosques (forestales)		Muy pobres	56	75	86	91
		Pobres	46	68	78	84
		Regulares	36	60	70	76
		Buenas	26	52	63	69
		Muy buenas	16	44	54	61
Caseríos	---	---	59	74	82	86
Caminos en tierra	---	---	72	82	87	89
Caminos en firme	---	---	74	84	90	92

Fuente: TRAGSA, 1994.

//////////

A continuación se detalla la relación de dicha clasificación (TRAGSA, 1994).

- Laboreo del terreno, la forma en que se realiza las labores del terreno influyen en la escorrentía, de modo que en la clasificación expuesta, las letras que aparecen en la segunda columna, tiene el siguiente significado.
- R, cuando las labores de la tierra, la siembra y las restantes actividades agrícolas son ejecutadas sin tener en cuenta la pendiente del terreno
- C, cuando el cultivo es por curvas de nivel
- C – T, cuando el cultivo es por curvas de nivel y existen además terrazas abiertas (con desagüe) para la conservación del suelo. En terrenos de pendiente inferior a 2 %, se considera como si fuera por curvas de nivel.
- Pastizales o pastos naturales, se clasifican en tres grupos teniendo en cuenta consideraciones hidrológicas y no la producción del forraje.
 - Pobres los que son abundantemente pastados, con escasa materia orgánica

sobre el terreno, o cuando las plantas cubren menos del 50 % de la superficie total.

- Regulares, aquellos cuya cubierta vegetal alcanza entre un 50 y un 75 % de la superficie del terreno y son moderadamente pastados.
- Buenos, los que su cubierta vegetal supera el 75 % de la superficie del terreno y son ligeramente pastados.
- Prados permanentes, no son pastados, es decir, su vegetación es permanente cubriendo el 100 % de la superficie del terreno.
- Forestal con pastos, se establecen también tres clases, basadas en factores hidrológicos y no en la producción.
 - Pobres, cuando se dan labores al terreno o cuando son abundantemente pastados o incluso quemados, de modo que la superficie del terreno aparezca libre de arbustos, matas, pastos y restos vegetales.
 - Regulares, cuando son pastados, pero nunca labrados o quemados, de modo que la superficie del terreno presente pastos y mantillo.
 - Buenos, aquellos en que, protegidos del pastoreo, el terreno aparece cubierto de matas, abundantes pastos naturales y restos orgánicos de todas clases.
- Bosques, las cinco clases hidrológicas establecidas se basan en la consideración de la profundidad y el grado de consolidación de las capas de mantillo y de humus del bosque; de modo que cuanto mayor sea el espesor de dichas capas y menos compactas e impermeables aparezcan, tanto mejor será la condición hidrológica resultante para la infiltración.
- Varios, normalmente las edificaciones agrícolas, caminos y áreas urbanas, cuando existen, representan una mínima fracción de la superficie de la cuenca.

En el estudio de la escorrentía debe tenerse en cuenta el estado de humedad del suelo previo a las lluvias, considerando la cantidad de lluvia caída en el periodo de los cinco días anteriores, estableciéndose tres clases de situaciones con dicha cantidad (ver Cuadro 14). Las condiciones medias quedan incluidas en la condición II, que es la que está elaborada en el Cuadro 14.

Cuadro 14 Condiciones precedentes de humedad.

Lluvia total caída durante los cinco días anteriores		
Condición	Periodo de paro vegetativo	Estación de crecimiento
I	Menos de 12.5 mm	Menos de 35.5 mm
II	De 12.5 a 28 mm	De 35.5 a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

Fuente: TRAGSA, 1994.

Estas condiciones precedentes de humedad del suelo, tienen gran importancia, ya que el número de curva obtenido corresponde a unas condiciones de humedad medias (condición II). Si en el momento de producirse la precipitación el suelo se encuentra saturado debido a lluvias precedentes, la escorrentía que debe esperarse será mayor (condición III); por el contrario, si el suelo está especialmente seco, la escorrentía será menor (condición I).

El caudal punta se determinó en base al número de curva (NC) para cada microcuenca y se calculó para un evento lluvioso de 100 mm, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = (N (P + 50.8) - 5080)^2 / N (N (P - 203.2) + 20320)$$

Siendo: $P = (5080/N) - 50.8$

Donde, **Q**= escorrentía total acumulada, en mm.

P= precipitación de la tormenta, en mm.

N= número de curva.....

4.2.2.2. Determinación de los parámetros morfométricos de las microcuencas

a) Forma de las microcuencas

A partir del modelo de elevación digital, se obtuvo el perímetro y el área de cada una de las microcuencas, empleando el modelo hidrológico en Arc View 3.1. Aplicando el criterio del coeficiente de compacidad, para indicar regularidad geométrica de las microcuencas, se obtuvo la forma de cada una de ellas.

En el cuadro 15 se presenta la forma de la cuenca, según el índice de compacidad. El índice de compacidad de una cuenca o Índice de Gravelius (Gravelius, 1914), nos señala

la mayor o menor compacidad de la cuenca, a través de la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de círculo que tenga la misma superficie de la cuenca.

Cuadro 15 Clasificación de los tipos y formas de la cuenca de acuerdo a los valores del índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (K_c)

K_c	Forma
1.00 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.50	Ovalada
1.50 – 1.75	Oblonga
> 1.75	Alargada

Fuente: Gravelius, 1914.

El coeficiente se calculó a partir de la relación entre el perímetro y área de las microcuencas, aplicando la siguiente fórmula:

$$K_c = 0.28 P/A^{0.5}$$

Donde, **K**= índice de compacidad o coeficiente de Gravelius, (adimensional),

P= perímetro de la cuenca (kilómetros),

A= área de la cuenca (kilómetros cuadrados).

b) Parámetro relieve

A partir de las curvas de nivel digitalizadas (cada 20 metros) se determinó el área entre curvas de nivel, seleccionando para ello un intervalo vertical según la altura del relieve en las microcuencas.

b.1) Elevación media de la cuenca

Para calcular la elevación media de la cuenca se utilizó la curva hipsométrica, para lo cual se siguió el procedimiento siguiente:

- a) De las curvas seleccionadas a partir del modelo de elevación digital del terreno, se calcula el área (km^2) con Arc View
- b) En el cuadro 16 se graban las áreas obtenidos de las curvas de nivel seleccionadas por cada microcuenca

Cuadro 16 Ejemplo para obtener datos y graficar la curva hipsométrica para determinar la elevación media de una cuenca.

Altitud (msnm) (1)	Áreas parciales (km ²) (2)	Áreas acumuladas (km ²) (3)	Áreas que quedan sobre las altitudes (km ²) (4) = At-(3)	% del total (5) ((2)/At)*100	% del total que queda sobre la altitud (6) ((4)/At)*100

Fuente: TRAGSA (1994),

c) Se graficaron las columnas (4) vs (1) del cuadro 18, para obtener la curva hipsométrica, en el eje de las **x** se ubicaron las áreas y en el eje de las **y** las altitudes. La elevación media correspondió a la altitud del 50 %, esto se hace en una hoja de cálculo Excel.

b.2) Pendiente media

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Para determinar la pendiente media se utilizó el método de Horton, el cual sigue el siguiente procedimiento:

- Trazar o dibujar la red hidrográfica de la cuenca sobre el acetato y las curvas de nivel para determinar la elevación media y pendiente media de la cuenca,
- Trazar las curvas de nivel (elevación cada 100 metros) en el papel milimetrado (5 curvas como mínimo),
- Se grafican los puntos de intersección tanto de las abscisas como de las ordenadas,
- Se miden las distancias de para cada uno de los ejes (x, y) tomando en cuenta el primer y último punto,
- Se dibuja una tabla para las anotaciones de los puntos por cada línea del papel milimetrado por donde intercepta cada curva. Hacer la sumatoria total de número de puntos y distancias para cada eje,
- La distancia para ambos ejes se determina midiendo con una regla,
- Se calcula la pendiente individual para cada eje según las fórmulas siguientes:

$$S_x = (S N_{xi} / S L_{xi}) * D$$

$$S_y = (S N_{yi} / S L_{yi}) * D$$

$$S_c = (S_x + S_y)/2$$

Donde: **S_c**= pendiente media de la cuenca

S_x y S_y= es la pendiente de cada uno de los ejes

S N_{xi} y S N_{yi}= sumatoria de número de puntos que interceptan en cada eje

S L_{xi} y S L_{yi}= sumatoria de las distancias en cada eje

D= intervalo vertical.

c) Parámetros relativos a la red de drenaje

c.1) La densidad de corrientes

La densidad de corrientes para cada una de las microcuencas se calculó a partir de la relación existente entre el número de corrientes y el área drenada en cada una de las microcuencas, es decir:

$$D_c = N_c/A$$

Donde: **D_c**= densidad de corrientes, N_c/ km²

N_c= número de corrientes

A= área total de la microcuenca, en km²

c.2) La densidad de drenaje

La densidad de drenaje fue calculada a partir de la relación entre la longitud de las corrientes por el área de la microcuenca en kilómetros cuadrados. En el cuadro 17 se presenta la clase de densidad de drenaje en la cuenca a partir del valor de la densidad de drenaje.

$$D_d = L_c/A$$

Donde: **D_d**= densidad de drenaje, en km/ km²

L_c= longitud total de las corrientes, en km

A= área total de la microcuenca, en km²

Cuadro 17 Densidad de drenaje y clase de densidad de drenaje.

Densidad de drenaje (L_c/A)	Clase de densidad de drenaje
>3.5	Muy alta
2.5-3.5	Alta
1.5-2.5	Moderada
0.5-1.5	Baja
<0.5	Muy baja

Fuente: Porta y Acevedo, 2005.

4.2.2.3. Balance hídrico

Con la información de suelos y la climática se calcularon los balances hídricos para las principales series de suelos. Para la elaboración de cada uno de los balances hídricos fue necesaria la siguiente información:

Capacidad de retención de agua de la zona susceptible de evapotranspiración (CRAD), que dependerá de la profundidad del sistema radical y de la textura del suelo. Se requiere para su cálculo datos de los siguientes parámetros:

- a. Densidad aparente del suelo, textura, profundidad de enraizamiento, capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), y contenido de elementos gruesos (volumen). Cuando no se dispone de todos estos parámetros, se puede utilizar propiedades físicas de suelos representativos (ver anexo IV).

Matemáticamente se calcula utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde: **CRAD**= Capacidad de Retención de Humedad del Suelo

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

Da= densidad aparente del suelo (g/cm³)

CC= Capacidad de Campo (%)

PMP= Punto de Marchitamiento Permanente (%)

- b. Temperaturas medias mensuales (T), de los últimos 30 años, obtenidas de los registros de INETER correspondientes a la estación meteorológica de Nandaime.
- c. Evapotranspiración potencial (ETP), calculada utilizando el método de Thornthwaite, el cual se desarrolló correlacionando datos de evapotranspiración potencial medido en evapotranspirómetros, localizados en cuencas hidrológicas, con datos de temperatura (grados centígrados) media mensual y longitud del día. Para un mes de 30 días e insolación diaria de 12 horas.

$$Ea = (10Ta/I) \times 1.6$$

Donde: **Ea**= evapotranspiración potencial mensual del mes (a), no ajustada (cm)

Ta= temperatura media mensual del mes (a), (°C)

I= índice de calor

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} P^3 - 0.771 \times 10^{-4} P^2 + 0.017921 P + 0.49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Para los 12} \quad i = \left[\frac{T_a}{5} \right]^{1,514} \quad \text{meses.}$$

Donde:

a= ecuación cúbica de la forma

Los valores obtenidos de Ea deben ser ajustados a la longitud del día y el número de días en el mes. Debido a dicho ajuste, los valores de Ea obtenidos deben ser multiplicados por el factor de corrección y dependen de la latitud y el mes.

- d. Pluviometría media mensual (P), obtenidas a partir de registros de la zona. Al carecer de estación meteorológica dentro del municipio, se tomaron datos climáticos correspondientes a la estación meteorológica de Nandaime, ya que es la que tiene mayor influencia en la zona; se tomaron los datos de temperatura media mensual y precipitación de los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre del 2003.

También se tomaron datos de precipitaciones de la red de pluviómetros que MAGFOR ha instalado en el departamento de Carazo, como parte del Programa de Seguimiento al Ciclo Agrícola, correspondientes a los meses de Mayo a Noviembre del año 2003, por lo que se realizaron los balances hídricos para ese mismo año.

A través del método de polígonos de Thiessen se identificó la red de pluviómetros, de los instalados en el departamento de Carazo, que tienen más influencia en La Conquista, resultando ser los pluviómetros ubicados en las estaciones de Casa Blanca No. 2, San Jorge y Ojochal, de las cuales se tomaron los datos de precipitación media mensual.

- e. 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 periodo húmedo y aquellos con valores negativos, el periodo seco.

- f. Pérdida potencial acumulada (p.p.a.), para cada mes se obtiene como suma de las pérdidas potenciales existentes en dicho mes y los anteriores.
- g. 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.
- h. Cambios de la humedad acumulada en el suelo (Δ RES), para cada mes se obtiene por la diferencia entre la humedad que contiene al final del mismo y la de su inmediato anterior.
- i. Evapotranspiración real (ETR), para los meses en que las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial, su valor es igual al de ésta, más las pérdidas de agua almacenadas en el suelo.
- j. Déficit de humedad (D), es igual a la diferencia entre la evapotranspiración potencial y real.
- k. Exceso de humedad (S), su valor es la diferencia $P - (ETP + RES)$, 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.
- l. Escorrentía total (R), se considera que la escorrentía de cada mes es igual al 50 % de la suma de la aportación mensual más lo que queda de los meses anteriores.

4.2.2.4. Calidad del agua

La toma de muestras para los análisis de calidad de agua se realizó en los mismos sitios seleccionados para calcular el caudal circulante. Los criterios utilizados para la toma de muestras fueron los siguientes: Áreas con influencia humana, áreas con cultivos agrícolas e influencia de las lluvias.

Se realizaron dos muestreos: el primero en Septiembre del 2006, durante el ciclo agrícola conocido como postrera en el cual se suponen actividades tales como aplicación de pesticidas y fertilizantes. El segundo muestreo se realizó al finalizar la época lluviosa en Noviembre del 2006, con el propósito de tratar de relacionar el posible efecto del uso de agroquímicos en las poblaciones de macroinvertebrados. En cada uno

de los sitios se tomaron muestras de agua para realizar los análisis de parámetros físico-químicos, bacteriológicos, los cuales se describen a continuación:

a) Calidad física-química

Para determinar la calidad física-química del agua se utilizaron parámetros físico-químicos tales como pH, temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, con el objetivo de determinar la carga de contaminantes residuales de La Conquista y caseríos situados en la rivera 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, entre otras). Posteriormente fueron trasladadas al laboratorio del Centro de Investigación de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA) para su análisis correspondiente. Para Demanda Biológica de Oxígeno, se utilizó el método Test de cinco días; para Demanda Bioquímica de Oxígeno se utilizó el método 5220-C; y para determinación del pH, se utilizó el método potenciométrico validado por el laboratorio.

b) Análisis bacteriológico de calidad del agua

Para conocer la calidad bacteriológica del agua se seleccionaron los parámetros coliformes fecales y coliformes totales, ya que son los mejores indicadores de contaminación fecal en las aguas. La toma de muestras se hizo en los sitios antes mencionados, utilizando bolsas de pirex; luego fueron llevadas Laboratorio CIDEA-UCA para su análisis; se utilizó el método de fermentación de tubos múltiples. Obtenidos los resultados de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, se procedió a la interpretación de los mismos y dar recomendaciones de uso de las aguas

c) Calidad biológica de las aguas

Para conocer la calidad biológica de las aguas del municipio se utilizó el Índice BMWP/col, el cual emplea organismos bentónicos (macroinvertebrados) como indicadores de calidad de agua. A diferencia de los métodos físico-químicos, el uso de macroinvertebrados permite dar seguimiento a la contaminación en el tiempo.

La identificación de los macro-invertebrados y la interpretación de la calidad biológica se hicieron de acuerdo al número de familias de organismos bentónicos encontrados, siguiendo la metodología del Biological Monitoring Working Party (BMWP). Esta metodología fue desarrollada en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macro-invertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y del tiempo que se requiere invertir. El método BMWP sólo requiere identificar a los macro-invertebrados hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (ver Cuadro 18). Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuridae, reciben un puntaje de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo: Tubificidae recibe una puntuación de 1 (Armitage *et al.*, 1992). La suma de los puntajes de todas las familias da el puntaje total BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon) esto es, el puntaje total BMWP dividido por el número de los taxa. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación.

Cuadro 18 Puntajes dados para las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice **BMWP/Col**

FAMILIAS	Puntaje (BMWPcol)
<i>Perlidae, Oligoneuridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hidridae, Chordodidae, Lymnessiidae "hidracáridos", Polythoridae, Gomphidae</i>	10
<i>Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae</i>	9
<i>Veliidae, Gerridae, Philopotamidae, Simuliidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelpusidae, Hebridae, Hydrobiida</i>	8
<i>Baetidae, Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohyphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Hydroptilidae, Caenidae</i>	7
<i>Ancylidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Staphylinidae, Limnychidae, Neritidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Corydalidae</i>	6
<i>Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Planorbidae</i>	5

FAMILIAS	Puntaje (BMWPcol)
<i>Chrysomelidae, Mesovelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae</i>	4
<i>Hirudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae</i>	3
<i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae</i>	2
<i>Oligochaeta (Tubificidae)</i>	1

Fuente: Armitage *et al*, (1992).

A pesar que en Nicaragua no existe hasta el momento suficiente información para calibrar este método de bioindicadores a las cuencas nacionales, este estudio ha sido basado en el conocimiento que actualmente se tiene en Honduras, Costa Rica y Colombia, de los diferentes grupos de macro invertebrados clasificados hasta el nivel de Familia. Se propone utilizar el método BMWP/Col como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña y cuencas hidrográficas.

Se hace énfasis en este punto, pues es en esta región donde se ha trabajado más intensamente y por lo tanto, la información se considera confiable. Roldán (1988, 1992, 1999) y Zúñiga de Cardozo *et al.* (1997), fueron los primeros quienes hicieron una adaptación de este método para algunas cuencas del Valle del Cauca, Colombia. Recientemente García (2003), en el río Tascalapa en el departamento de Yoro, Honduras, evaluó y calibró este método usando comunidades de macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores de calidad del agua. Arcos (2005) utilizó varios índices donde se incluye el BMWP, en el río Sesesmiles en la ciudad de Copan, Honduras.

Para la toma de muestras se eligieron tramos de los ríos de hasta 100 metros, en los que se realizó la captura de los organismos bentónicos; la captura de los organismos se hizo utilizando coladores plásticos, mediante los cuales se extrajo todo tipo de material presente en el fondo de la corriente (hojarasca, debajo de las piedras, troncos, entre otros), el cual fue depositado en bandejas plásticas para extraer los organismos presentes, utilizando pinzas (ver Figura 5)



Recolección de macro invertebrados



Toma de macro invertebrados

Figura 5. Muestreo de macro invertebrados en el río La Conquista, Carazo



Figura 6 Conservación de muestras de macro invertebrados en el río La Conquista, Carazo

Para conservar los ejemplares capturados, éstos se depositaron en frascos con alcohol etílico 70 % (ver Figura 6), para posteriormente ser llevados al laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria para su debida clasificación.

El Cuadro 19 muestra la clasificación de las aguas, de acuerdo a la puntuación obtenida por las familias encontradas en un ecosistema determinado. El total de los puntos se designan como valores BMWP/Col. Una vez obtenido el puntaje total BMWP, se divide por el número de los taxa; el resultado es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio (ver cuadro 19) y se le conoce como ASPT (Armitage et al, 1992). De acuerdo con el puntaje obtenido en cada situación, se califican las distintas clases de agua, asignándole a cada una de ellas un color determinado. Este color es el que se usa luego para marcar los ríos y corrientes en el mapa de la región estudiada.

Cuadro 19 Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas.

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

4.2.2.5. Evaluación de la calidad del entorno

Se realizó una evaluación de la calidad del entorno de los sitios muestreados, utilizando el **índice de integridad física de la estación de monitoreo**, adaptada de la metodología elaborada por la Environmental Protection Agency (EPA, 2001; modificada por García, 2003). La información que se recolectó para aplicar esta metodología fue la siguiente: sustrato disponible para fauna, perturbación de los hábitats disponibles, velocidad/profundidad, deposición de sedimentos, flujos del canal, alteración del canal, frecuencia de hábitat, estabilidad del canal, protección por vegetación y ancho de la zona riparia. A cada parámetro se le asigna una puntuación, calificándose de acuerdo a las categorías que aparecen en el Cuadro 20.

Cuadro 20 Categorías para la clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo

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

Fuente Armitage et al, (1992).

4.4. Metodología para proponer estrategias de uso y manejo de los recursos suelo y agua

- Se hizo una lista larga de restricciones que presentaron tanto los suelos como los recursos hídricos
- Se evaluó el impacto causado a los recursos naturales y consecuentemente a la población de cada una de las restricciones presentadas en la lista larga
- Se priorizaron las que pudieran presentar mayor impacto en la población, y además de una evaluación del grado de urgencia para mitigarlas
- Posteriormente se realizó una lista larga de las principales potencialidades del agua y los suelos
- Priorizar potencialidades para hacer frente a la problemática encontrada
- Indagar sobre las experiencias nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de estudio y el manejo sostenible de estos recursos.
- Finalizado este proceso surgió un Istado de acciones enfocadas a reducir los problemas de deterioro de los recursos suelos y agua, de las cuales se priorizaron las más importante; siendo un eje importante para la elección de las acciones, la visión sobre la importancia del buen manejo de los recursos naturales, de los actores locales involucrados en el estudio (Alcaldía Municipal de La Conquista, Fundación San Lucas, Productores, lideres comunitarios entre otros).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Estado del recurso suelo en el municipio La Conquista, Carazo

5.1.1. Descripción de los suelos del municipio

En el municipio La Conquista se encontraron cuatro series de suelos, las cuales son: Buena Vista, Diriamba, San Rafael y Santa Teresa; además, tierras misceláneas tales como: Suelos Vérticos, Misceláneos Quebrados, Tierras Coluviales, Tierras Aluviales, Suelos sobre Cárcavas (ver Figura 7). A continuación se presenta la descripción de cada una de estos suelos.

5.1.1.1. Serie de suelos San Rafael (SR)

Esta serie está formada por suelos café rojizos, que se encuentran en paisajes colinados a escarpados, predominantes en pendientes que van desde 8 a más de 50 %, en la zona de vida de Bosque Tropical Seco. Son suelos profundos a muy superficiales, bien drenados; su textura es franco-arcillosa o arcillosa en la superficie y arcillosos en el subsuelo. Están caracterizados por un horizonte A oscuro, sobre un horizonte Bt café rojizo; ocupan una extensión de 47.41 km² (53 % del área municipal) (ver Figura 7). En algunas áreas presentan piedras en la superficie y en el perfil. La población usa estos suelos para pastos, tacotal, matorral y bosque, y en menor medida para agricultura de subsistencia.

Los suelos San Rafael se localizan en su mayor parte en la zona sur del casco urbano municipal; algunas comunidades que se encuentran en esta serie son: El Caimito, El Pedernal, La Mohosa, Santa Gertrudis, Tecomapita, Los Brasilitos, entre otras. Estos suelos presentan problemas relacionados con contenidos medios de materia orgánica, poca disponibilidad de Fósforo, contenido medio a pobre de Potasio; sin embargo, presentan una CIC alta a muy alta y una saturación de bases mayor del 50 %. Los problemas en cuanto a disponibilidad de nutrientes están relacionados con los contenidos altos de Magnesio y calcio, que causan antagonismo entre ciertos nutrientes, además del lavado por las precipitaciones. También presenta problemas de disminución de la cobertura vegetal, causada por la agricultura migratoria, quemas,

deforestación, sobre pastoreo, lo que ha favorecido el fenómeno de la erosión, provocando pérdida de la capa superficial del suelo, y con ella la pérdida de la materia orgánica; por ende se ha reducido la fertilidad natural de estos suelos, aumentando los costos de producción, debido al uso de fertilizantes en la agricultura.

Los suelos superficiales de esta serie, en áreas escarpadas y con baja precipitación anual, tienen poca capacidad de retención de humedad y su producción de biomasa es baja; además, debido a que la vegetación es pobre, implica que el agua de lluvia no infiltre y se pierda por escorrentía superficial, provocando a su vez el arrastre de gran parte de la capa superficial del suelo y el poco abastecimiento a las fuentes principales de agua superficiales y subterráneas locales. Sin embargo, en época seca el agua se escasea aun más, reduciendo su disponibilidad tanto para consumo humano como animal.

Los suelos en pendientes de 30 a 50% se pueden saturar de agua con las lluvias torrenciales y generar deslizamientos en masa debido a que la cobertura vegetal no es suficiente para retener los desprendimientos de tierras que puedan originarse.

A través de la percepción en campo, es posible afirmar que gran parte de la serie se encuentra utilizada por encima de su capacidad natural; cabe señalar que el uso y manejo inadecuado de la tierra alrededor del Área Protegida de Chacocente, pone en riesgo su futuro. Todo lo anterior sugiere que las áreas más críticas deberían destinarse únicamente a la forestaría, la protección de la vida silvestre y el ecoturismo.

Fases de la serie San Rafael.

➤ Fase SRc

Son suelos franco arcillosos o arcillosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo, profundos, bien drenados, presentan erosión laminar moderada, en pendientes de 4 a 8 %, con una extensión de 0.15 km² (0.16 % del área municipal). Usados actualmente con pastos, cultivos y matorrales;

Su aptitud es para cultivos anuales como maíz, frijol, cucurbitáceas y cultivos de enramadas; cultivos perennes como sistemas agroforestales, frutales, pastos, plantas medicinales y especies forestales; y, cultivos semi perennes como caña de azúcar,

frutales, etc. Se deben implementar prácticas intensivas de conservación suelos como siembra en contorno, aplicación de mulch, cultivos de cobertura, abonos verdes, labranza mínima, rotación de cultivos, terrazas de bancos, etc. Además de la respectiva fertilización a la mayoría de los cultivos.

➤ **Fase SRd**

Suelos franco arcillosos o arcillosos, profundos, bien drenados, presentan erosión laminar severa, en pendientes de 8 a 15 %, con una extensión de 2.34 km² (2.6 % del área municipal). Son usados actualmente con pastos, cultivos y matorrales;

Son aptos para pastos, cultivos semi perennes y perennes, así como especies forestales. Para cultivos semi perennes hay que establecer fajas de cultivos de cobertura, utilizar mulch y abono verde; para cultivos perennes sembrarlos en curvas de niveles y terrazas individuales. Ocasionalmente se pueden usar con cultivos anuales con prácticas intensivas de conservación de suelos.

➤ **Fase SRe**

Suelos franco arcillosos o arcillosos, bien drenados, moderadamente profundos (ver Figura 8), con erosión laminar fuerte, en pendientes de 15 a 30 %, con una extensión de 6.72 km² (7.56 % del área municipal). Las características del perfil representativo de esta fase se presentan en el Anexo I. Su uso actual es de granos básicos, pastos, tacotal y bosque secundario.

Son aptos para pastos, frutales y forestales; se pueden sembrar cultivos anuales en períodos cortos usando prácticas intensivas de conservación de suelos. Bajo pastos su manejo se requiere prácticas de pastoreo rotativo, carga animal controlada, asociación con árboles forrajeros. Bajo cultivos perennes y forestales es necesario siembra en callejones con terrazas individuales y cultivos en fajas que ofrezcan buena cobertura. En cualquiera de los casos, el manejo de estos suelos requiere mantenerlos con vegetación permanente .



Figura 8 Perfil representativo de la serie SRe

Fase SRf

Suelos arcillosos, superficiales, bien drenados, con erosión laminar severa, en pendientes de 30 a 50 %, con piedras en la superficie. Cubren una extensión de 38.2 km² (42.68 % del área municipal). Las características del perfil representativo (ver Figura 9) de esta fase se presentan en el Anexo I.

Actualmente están usados con pasto, bosque secundario y en menor medida con agricultura de subsistencia como maíz y frijol. Son aptos para bosques de protección, protección de la vida silvestre y ecoturismo. Pueden ser utilizados para cultivos perennes como plantaciones forestales, plantas medicinales y aromáticas en sistemas agroforestales, con prácticas intensivas de conservación de suelos.



Figura 9 Perfil representativo de la serie SRf

5.1.1.2. Serie Santa Teresa (ST)

Compuesta de suelos café oscuros, originados de cenizas volcánicas en una zona de vida Bosque Subtropical Húmedo transición a Tropical Cálido, de textura franco-arcillosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo; suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, presentan una CIC alta a muy alta. Se ubican en relieves planos, de ligera a fuertemente ondulados, colinados y escarpados, en pendientes que van de 2 a 50 %. Son usados con caña de azúcar, musáceas, sorgo, maíz, frijol, arroz de secano, pastos, frutales y forestales; cubren una extensión de 9.28 km² (10.37 % del área municipal). Estos suelos se localizan en la parte norte de La Conquista; algunas comunidades que se encuentran en esta serie son: San Juan, El Abra, El Mojón, Santa Rita, La Ceiba, entre otras

Los problemas que enfrentan estos suelos se relacionan con baja disponibilidad de nutrientes como Fósforo y Potasio, además de contenidos pobres de materia orgánica, que pueden ser influenciados por la pérdida de la capa superficial y la presencia de otros elementos que impiden su disponibilidad. Otros problemas que presentan se

relacionan con factores tales como su posición en el relieve, la disminución de la cobertura vegetal, su poco peso y las prácticas inadecuadas de labranza, los cuales han favorecido la erosión, la pérdida de materia orgánica y la disminución de su fertilidad natural; todo esto ha traído como consecuencia la disminución de su capacidad productiva. Además, el diseño de caminos a favor de la pendiente ha favorecido que estos se convirtieran en caminos-cauces, algunos de los cuales llevan buena parte de la escorrentía a las áreas pobladas situadas más abajo, incluyendo el área urbana de La Conquista. En pendientes mayores al 30 % presentan potencial de deslizamientos en masas de medio a bajo.

Fases de la serie Santa Teresa

➤ Fase STb

Suelos que se encuentran en pendientes de 2 a 4 %, profundos, bien drenados, franco arcillosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo, con erosión laminar leve; ocupan una extensión de 0.82 km² (0.91 % del área municipal). Usados actualmente con caña, granos básicos, musáceas y café.

San aptos para una gran variedad de cultivos; pueden cultivarse permanentemente sin sufrir daño alguno mediante el uso de prácticas que conserven su fertilidad y mantengan su estructura, tales como la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos, así la rotación de cultivos, con la inclusión de leguminosas, abonos verdes, cultivos en contorno, cultivos en faja, barreras vivas.

➤ Fase STc

Suelos profundos en pendientes de 4 a 8 %, bien drenados, franco arcilloso en la superficie y arcilloso en el subsuelo (ver Figura 10), con erosión laminar leve, moderada y fuerte; las características del perfil representativo de esta fase se presentan en el Anexo I. Cubren una extensión de 4.19 km² (4.68 % del área



Figura 10 Perfil representativo de la serie STc

municipal). Actualmente son usados con caña de azúcar, granos básicos, pasto y algunas especies forestales.

Están bien adaptados para cultivos anuales como granos básicos, hortalizas, cucurbitáceas; aptos para cultivos semi perennes como caña de azúcar, frutales, cultivos de enramadas y plantas aromáticas y medicinales. Para el desarrollo de los cultivos se requieren prácticas intensivas de conservación de suelos, tales como cultivos en contorno, barreras vivas, labranza mínima, cultivos de cobertura, abonos verdes, mulch y fertilización con N y P, ya que la disponibilidad de estos nutrientes es de baja a media (la presencia de calcio, aluminio y hierro afecta la disponibilidad de P).

➤ **Fase STd**

Suelos profundos, se encuentran en pendientes de 8 a 15 %, bien drenados, textura franco arcillosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo, presencia de piedras en la superficie, con erosión laminar leve, moderada y severa; ocupan una extensión de 1.81 km² (2 % del área municipal). Usados actualmente con caña de azúcar, granos básicos y pastos. Son aptos para cultivos perennes y sistemas silvopastoriles (pastos extensivos y de corte), sistemas agroforestales, plantaciones forestales; cultivos semi perennes tales como: caña de azúcar, frutales y cultivos de enramadas; se pueden usar con cultivos anuales como cucurbitáceas, cultivos de erramadas y granos básicos. Para su manejo se recomiendan prácticas complejas de conservación de suelos por su alta susceptibilidad a la erosión. Además se debe aplicar fertilizantes.

➤ **Fase STe**

Suelos profundos que se encuentran en pendientes de 15 a 30 %, bien drenados, con erosión laminar moderada, fuerte y severa; cubren una extensión de 1.27 km² (1.41% del área municipal). Su uso actual es sorgo, maíz, pastos, arroz de secano, frijol y caña de azúcar. Estos suelos son aptos para el establecimiento de pastos, regeneración natural, plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles. El manejo de pastos requiere regular la carga animal, pastoreo rotativo, y asociación con frutales y especies forestales forrajeras. Para cultivos semiperennes se requieren prácticas de

conservación intensivas, cultivos de cobertura, en fajas, aplicación de abonos verdes y fertilizantes.

➤ **Fase STf**

Suelos moderadamente profundos, de textura arcillosa, bien drenados, se encuentran en pendientes de 30 a 50 %, severamente erosionados; ocupan una extensión de 1.19 km² (1.33 % del área municipal). Son usados actualmente con pastos y tacotal. Su aptitud es para protección de la vida silvestre o el ecoturismo. Se pueden utilizar con vegetación permanente mediante el uso de prácticas moderadas de conservación de suelos. Se pueden establecer frutales, también es posible el establecimiento de plantas medicinales y aromáticas con sistemas agroforestales. En las los bosques se debe evitar toda clase de pastoreo.

5.1.1.3. Serie Buena Vista (BV)

Consiste de suelos café oscuro y franco arcillosos en la superficie y café rojizos y arcillosos en el sub suelo; tienen drenaje moderado. Se encuentran en relieves que van de ligeramente ondulados a colinados, en pendientes entre 2 y 30 %. Se han desarrollado a partir de capas de cenizas volcánicas sobre toba volcánica (conocida comúnmente como piedra cantera). Son usados con granos básicos, pastos y tacotales; cubren una extensión de 10.27 km² (11.48 % del área municipal). Además de su importancia productiva, tienen un rol ecológico fundamental ya que estos suelos permiten la infiltración de agua, que constituye el flujo sub superficial que alimenta los ríos que nacen en la parte norte del municipio, contribuyendo así a mantener los caudales subterráneos en tiempos de escasez de agua.

Se localizan del noreste al noroeste del poblado de La Conquista, en los alrededores de las comunidades las Enramadas, La Conquista, Esquipulas, La Francis, El Gigante, El Chilamate y La Caridad.

Presentan restricciones en cuanto a la disponibilidad del Fósforo y Potasio; sin embargo, presentan contenido medio a alto de materia orgánica, una saturación de base mayor del 50 % y una CIC alta a muy alta. Otros problemas de estos suelos, están relacionados con la disminución de la cobertura vegetal, causada por extracción de

leña, las quemadas y el sobre-pastoreo, lo cual los han dejado desprotegidos de la erosión. Por tanto, su principal restricción se debe a la erosión de moderada a severa, que ha provocado la disminución de la capa superficial y con ello la materia orgánica y su fertilidad natural; es muy probable que de continuar la erosión severa, a mediano plazo dejará de existir el suelo quedando expuesta la capa de toba.

a). Fases de la serie Buena Vista

➤ Fase BVb

Suelos arcillosos, moderadamente profundos, en pendientes de 2 a 4 %, con drenaje moderado (Ver Figura 11); su extensión es de 2.78 km² (3.11 % del área municipal); las características del perfil representativo de esta fase se presentan en el Anexo I. Están usados con pasto matorralazo y cultivos anuales como maíz, sorgo y arroz de secano.

Son aptos para una gran variedad de cultivos entre ellos: pastos, maíz, arroz, sorgo, etc; pero se deben manejar con sistemas de terrazas con desagües empastadas, labranza en contorno, uso de fertilizantes altos en fosfatos en la mayoría de los cultivos, uso de mulch y abonos verdes.



Figura 11 Perfil representativo de la serie BVb

➤ Fase BVc

Suelos arcillosos, se encuentran en pendientes de 4 a 8 %, en relieves moderadamente ondulados, con drenaje moderado, pero con erosión laminar moderada; su extensión es de 4.95 km² (5.52 % del área municipal). Usados con pastos, tacotal, maíz, sorgo y arroz de secano. El uso es similar al BVb, sin embargo se tienen que aplicar prácticas intensivas de conservación de suelos como: barreras vivas, siembra en contornos, labranza mínima, dique de contención, entre otras.

➤ Fase BVd

Suelos arcillosos en pendientes de 8 a 15 %, moderadamente profundos, con erosión laminar moderada, drenaje moderado (ver Figura 12); ocupan una extensión de 2.38 km² (2.67 % del área municipal); Las características del perfil representativo de esta fase se presentan en el Anexo I. Se usan con pasto, tacotal, maíz, sorgo.

Son aptos para cultivos semi perennes tales como: caña de azúcar, frutales y cultivos de enramadas; cultivos perennes, sistemas agroforestales, y plantaciones forestales; cultivos anuales (hortalizas, cucurbitáceas) y cultivos de enramadas.

Para su manejo requieren prácticas intensivas de conservación de suelos tales como: siembra en contorno, rotación de cultivos, barreras vivas, cobertura permanente del suelo, diques de contención y sistemas agroforestales.



Figura 12 Perfil de la serie BVd

➤ Fase Bve

Suelos arcillosos en todo el perfil, situados en relieves colinados, se encuentran en pendientes de 15 a 30 %, moderadamente profundos, presentan erosión laminar severa. Tienen una extensión de 0.16 km² (0.18 % del área municipal). Están usados con pasto y tacotal.

Son aptos para pastos en los que se debe hacer control de malezas, pastoreo rotativo y uso de fertilizantes. También son aptos para regeneración natural, plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles. Para su manejo requieren de prácticas de conservación de suelos tales como: cobertura permanente del suelo, protección de fuentes de agua, canales de drenaje, cercas vivas, sistemas silvopastoriles; además, en estos suelos no se debe permitir la quema.

5.1.1.4. Serie de suelos Diriamba (DI)

Esta serie consiste de suelos profundos a moderadamente superficiales, con textura franco arcillosa/franco arcillo limosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo, bien

drenados, permeabilidad moderada a moderadamente baja, capacidad de humedad disponible moderada. Presentan una capa continua de duripan de color rojizo, entre los 30 a 60 cm. de la superficie del suelo, con espesor de 10 a 30 cm., fracturado tanto vertical como horizontalmente, el cual es un leve impedimento para el crecimiento de las raíces. Se encuentra en áreas fuertemente disectadas al noroeste de La Conquista; se derivan de cenizas volcánicas pomicítica. La mayor parte del bosque ha sido removido y los suelos son usados principalmente con pastos y cultivos anuales. Cubren una extensión de 0.84 km² (0.94 % del área municipal)

a). Fases de la serie Diriamba

➤ Fase DIc

Consiste de suelos en pendientes de 4 a 8 %, franco arcillo limosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo; es similar al suelo típico de la serie, pero están moderadamente erosionados. Ocupan una extensión de 0.27 km² (0.3 % del área municipal).

Son aptos para una gran variedad de cultivos, con prácticas intensas de conservación de suelos, tales como cultivos en fajas poco anchas y barreras vivas menos distantes, labores de labranza mínima, uso de mulch y fertilizantes. Se deben combinar varias prácticas utilizando algunas más complejas como terrazas, bancales y acequias de infiltración. En algunos sitios es recomendable el uso diques de contención.

➤ Fase DIId

Consiste de suelos en pendientes de 8 a 15 %, franco arcillo limosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo; es similar al suelo típico de la serie, pero generalmente son más superficiales y están moderadamente erosionados. Cubren una extensión de 0.12 km² (0.13 % del área municipal).

Son aptos para cultivos semi perennes tales como caña de azúcar, frutales y cultivos de enramadas; Cultivos perennes: sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles (pastos extensivos y pasto de corte) y plantaciones forestales; se pueden establecer cultivos anuales tales como hortalizas, cucurbitáceas, cultivos de enramadas y algunos granos básicos, con prácticas intensivas de conservación de suelos. Para su manejo

requieren de prácticas tales como: siembra en contorno, rotación de cultivos, barreras vivas, diques de contención, plantaciones forestales, entre otros.

➤ **Fases Dle**

Suelos en pendientes de 15 a 30 %, franco arcillo limosos en la superficie y arcillosos en el subsuelo, profundos a moderadamente superficiales y moderadamente erosionados, excepto en las áreas arboladas. Tienen una extensión de 0.45 km² (0.5 % del área municipal). Debido a la escorrentía rápida y el alto riesgo de la conservación, estos suelos son más adecuados para pastos, regeneración natural, plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles. Para su manejo requiere de prácticas tales como protección de fuentes de agua, manejo de pasturas, cercas vivas, manejo de rastrojos, rondas cortafuegos.

5.1.1.5. Tierras Misceláneas

Se denominan “tierras misceláneas” aquellos suelos que no presentan la suficiente homogeneidad para clasificarse dentro de una serie de suelos. Estos suelos pueden encontrarse en relieves de planicies con sedimentos recientes o depósitos de materiales arrastrados por derrumbes o deslizamientos, en relieves de colinados a escarpados, pero con profundidades menores de 50 cm al material madre. En algunos casos pueden estar en áreas depresionales permanentemente saturadas de agua.

Las tierras misceláneas identificadas en el municipio son: Tierras Coluviales (TC), Tierras escarpadas (Q), Suelos Aluviales (TX), Cárcavas (CV) y Suelos Vérticos (VC). Cubren una extensión de 21.62 km², que representa el 24.17 % del área municipal.

a) Suelos Vérticos (VC)

Son suelos profundos a moderadamente profundos, similares a los Vertisoles con la diferencia que los suelos vérticos presentan drenaje moderado y grietas menos anchas en el verano y con una profundidad menor de 50 cm. Se han desarrollado en planicies uniformes a moderadamente onduladas, en pendientes de 0 a 8 %. Son usados con pastos, tacotal y agricultura de subsistencia. Cubren una extensión de 0.54 km² (0.6 % del área municipal). Presentan problemas de erosión siendo el sobre pastoreo, las

quemadas y la deforestación, las actividades que han favorecido la erosión hídrica, dejando como consecuencia la disminución de su fertilidad natural y de su capacidad productiva.

➤ **Fase VCb**

Suelos de textura franco arcillosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo, con drenaje moderado lento, en pendientes entre 2 y 4 %. Ocupan una pequeña área de 0.05 km² (0.06 % del territorio municipal). La vocación de estos suelos abarca poca variedad de cultivos. Para su manejo se requiere de prácticas como terrazas con gradiente de desagüe, cultivos en contorno, rotación de cultivos, labranza mínima, diques de contención, cercas vivas, sistemas agroforestales y silvopastoriles, protección de fuentes de aguas, pastoreo rotativo y manejo de carga animal, rondas corta fuego y fertilización con fósforo.

➤ **Fase VCc**

Suelos de textura arcillosa, en pendientes de 4 a 8 %, con drenaje moderado lento y erosión severa. Presentan una extensión de 0.31 km² (0.34 % del territorio municipal). El uso y manejo recomendado es igual al VCb, pero con medidas especiales de conservación de suelos (cultivos de cobertura, abono verde, uso de mulch, terrazas, con gradiente de desagüe, barreras vivas, barreras muertas, manejo de pasturas, etc.)

➤ **Fase VCd**

Suelos en pendientes de 8 a 15 %, profundos a moderadamente profundos. Ocupan una extensión de 0.18 km² (0.2 % del territorio municipal). Son aptos para arroz, caña de azúcar, frutales, cultivos de enramadas, sistemas agroforestales y silvopastoriles, plantaciones forestales, hortalizas, cucurbitáceas y granos básicos. Para su manejo requiere de prácticas tales como barreras vivas, siembra en contorno, rotación de cultivos, diques de contención, barreras muertas, canales de drenaje, etc.

b). Suelos Aluviales (TX)

Estos son suelos generalmente fértiles, que se han formado en las partes bajas de las riberas de ríos, a partir de las diferentes capas de sedimentos depositados por las corrientes de agua que bajan desde las tierras altas cercanas. Por lo general, son áreas angostas y alargadas, que presentan mucha variación en drenaje y textura (desde arenosa a franco - arcillosa) en distancias cortas. Cubren un área de 0.05 km², que equivale a 0.05 % del área municipal; muchos están siendo usados con pastos, tacotales o bosque secundario. No se recomienda el establecimiento de viviendas en estas áreas, debido que estos suelos están propensos a riesgos de inundaciones o movimientos en masas desde las tierras altas en periodos de muchas lluvias.

➤ **Fase TXb**

Suelos aluviales indiferenciados, en pendientes entre 2 a 4 %, profundos a moderadamente profundos bien drenados, de textura variada; tienen una extensión de 0.05 km² que equivale a 0.05 % del área municipal. Están usados con cultivos de subsistencia, musáceas, frutales o barbecho. Son aptos para una gran variedad de cultivos. Para su manejo requieren de prácticas de conservación de suelos, que eviten daños por desastres naturales (inundaciones).

c). Tierras Escarpadas (Q)

Consiste de suelos muy variados que se caracterizan por encontrarse en lugares accidentados (ver Figura 13), con pendientes que van de 30 a más de 50 %; son bien drenados y presentan texturas desde arenosas hasta arcillosas (ver Anexo I). La mayor parte de éstos se encuentran muy erosionados. Presentan contenidos altos en Fósforo y pobres en Potasio, con una saturación de base mayor del 50 %, un contenido medio de materia orgánica y una CIC alta. Debido a sus limitaciones de pendiente y escasa profundidad, dichas tierras son aptas únicamente para forestales y



Figura 13 Perfil representativo de la serie Q

protección de la vida silvestre. Se localizan en las comunidades San José de los Remates, La Chonca, La Pitilla. Cubren un área de 14.21 km², que equivale a 15.89 del área municipal. Estos terrenos presentan potencial de deslizamiento de moderada a alto.

➤ **Fase Qeg**

Suelos encontrados en pendientes de 15 a 30 %, moderadamente superficiales y superficiales, franco arenosos, con sustrato arenoso franco con grava, con drenaje moderadamente pobre y escorrentía rápida, con erosión laminar y en surco severa (alta susceptibilidad a la erosión). Tienen una extensión de 3.32 km² (3.71 % del territorio municipal). Usados con pastos, matorrales, tacotales y bosque secundario. Son aptos para pastos, regeneración natural, plantaciones forestales, sistemas agroforestales y silvopastoriles y arroz. Su manejo requiere de prácticas tales como protección de fuentes de agua, no quema, cercas vivas, manejo de pasturas, entre otras.

➤ **Fase Qem**

Son tierras moderadamente escarpadas, con pendientes de 15 a 30 %. Consiste de suelos profundos a moderadamente superficiales, de textura media, bien drenados, derivados de depósitos coluviales; tienen una permeabilidad moderada y una capacidad de humedad disponible moderada. Están usados con pastos, bosque secundario, tacotal y en medida por cultivos de subsistencia (frijol, maíz, sorgo). Ocupan una extensión de 0.23 km² (0.26 % del territorio municipal). Su uso y manejo es similar al de los Qeg.

➤ **Fases Qes**

Tierras moderadamente escarpadas con pendientes de 15 a 30 %; son suelos profundos a superficiales con textura franca en la superficie y franca arenosa en el subsuelo, bien drenados, con permeabilidad rápida a moderadamente rápida, con baja capacidad de humedad disponible y muy pedregosas (60-70 %). El material parental consiste de depósitos de textura gruesa (arena cuarzosa). Cubren una extensión de 0.29 km² (0.32 % del territorio municipal). Son usados con pasto, bosque secundario,

tacotal y cultivos de subsistencia (frijol, maíz, sorgo). Estas tierras son de vocación forestal.

➤ **Fase Qfg**

Tierras escarpadas en pendientes de 30 a 50 %, moderadamente profundas, con textura arenosa-franco en el suelo y franco-arenoso con grava, oscuro en el subsuelo, drenaje rápido, con erosión laminar severa (con alta susceptibilidad a la erosión). Tiene una extensión de 5.4 km² (6 % del territorio municipal). Su uso actual es frijol, sorgo, pastos, matorrales, tacotales y bosque secundario. Se recomiendan usarlas para protección de la vida silvestre y ecoturismo.

➤ **Fase Qfm**

Tierras escarpadas en pendientes de 30 a 50 %, con suelos profundos a moderadamente superficiales, con textura franca en la superficie y franca a franca arcillosa en el subsuelo, bien drenados, con erosión laminar fuerte, con capacidad de humedad disponible moderada a moderadamente alta. Ocupan una extensión de 4.97 km² (5.55 % del territorio municipal). Actualmente existen áreas con pastos y restos de bosques. Son aptas para el manejo forestal, protección de la vida silvestre y el ecoturismo.

d). Tierras Coluviales

Son áreas con suelos formados a partir de sedimentos depositados por corrientes de lodo y piedras, que vinieron desde las partes altas aledañas. Cubren una extensión de 0.85 km², que representa el 0.95 % área municipal. Estos suelos presentan altos riesgos para establecer infraestructura, debido al peligro de movimientos en masas o derrumbes desde las tierras altas en periodos de mucha lluvia, por estar ubicadas en áreas de conos de disección o abanicos coluviales, en piedemontes, en el final de pendientes escarpadas o cerca de pendientes suaves.

➤ **Fase TCc3**

Consiste de suelos en pendientes de 4 a 8 %, profundos a moderadamente profundos, de textura arcillosa a arcillo limosa en la superficie y en el sub-suelo, bien drenados, moderadamente permeables y tienen una capacidad moderada de humedad disponible. Son derivados en gran parte de coluvios adyacentes. Cubren una extensión de 0.59 km² (0.66 % del territorio municipal).

Están usados con pasto y cultivos de subsistencia. Son aptos para una gran variedad de cultivos pero requieren de prácticas moderadas de conservación de suelos.

➤ **Fase TCd3**

Consiste de suelos en pendientes de 8 a 15 %, de textura fina, similares a los TCc3, pero tienen una escorrentía más rápida, están de moderada a severamente erosionados y presentan fragmentos de rocas en la superficie. Ocupan una extensión de 0.26 km² (0.29 % del territorio municipal). Son aptos para musáceas, frutales, cultivos de enramadas, cucurbitáceas, hortalizas, etc. Su manejo requiere de prácticas intensivas de conservación de suelos.

e). Suelos sobre Cárcavas (CV)

Comprende las tierras a orillas de las quebradas o causes de los ríos, en pendientes que varían de 15 a más de 50 %. Donde las pendientes exceden a 50 % el escurrimiento superficial es rápido y los suelos son generalmente superficiales. Muy pocas de estas áreas conservan su vegetación natural, por lo que han sido afectadas por una erosión severa. Tienen una extensión de 6.02 Km², que equivale a 6.73 % del área municipal. Se debe evitar la construcción de viviendas en dichas áreas, debido a su alto riesgo de erosión y deslizamientos de masas de tierras o derrumbes, en periodos de mucha lluvia.

a) Fase CVf

Consiste de suelos en quebradas con pendientes mayores de 75 %, desde muy superficiales a profundos, con textura variada. La escorrentía en estas áreas es muy rápida y la mayoría están severamente erosionadas; pueden ser usados únicamente

para bosques y protección de la vida silvestre y la protección de las fuentes hídricas, manteniendo el bosque ripario de las riveras de los ríos.

5.1.2. Clasificación taxonómica de los suelos más representativos del municipio La Conquista

El levantamiento de Catastro realizado en 1971 hizo una clasificación taxonómica de las series de suelos San Rafael, Santa Teresa, Buena Vista y la clasificación de un perfil de las tierras escarpadas (suelos Q), tomando como referencia un perfil modal representativo de cada serie. En el Cuadro 21 se muestra la clasificación taxonómica hecha por Catastro, de las principales series de suelos abarcadas en este estudio; además, se muestra la clasificación que se hizo en esta investigación en base a las características morfológicas y químicas de los perfiles descritos.

Cuadro 21 Clasificación taxonómica de los perfiles estudiados en el municipio La Conquista, Carazo en el 2006, y la clasificación hecha por Catastro en 1971.

Serie	1971	2006	Observaciones
BVb BVd	Molisol Udic Haplustolls	Alfisol Typic Haplustalfs	El cambio se da por pérdida de espesor del horizonte superficial y de las características mólicas.
SRe SRf	Alfisol Typic Haplustalfs	Alfisol Typic Haplustalfs	Estos suelos mantienen su clasificación; sin embargo, presentan reducción en la profundidad del horizonte superficial.
STc	Molisol Udic Argiustolls	Alfisol Mollic Hapludalfs	Estos suelos presentaron una saturación de bases menor del 50 %, por lo que ya no cumple las condiciones para ser un mólico
Q. (Escarpados) (Misceláneas)	Molisol Udic Haplustolls	Molisol Typic Haplustolls	Las características encontradas no cumplen los requisitos para un régimen de humedad údico.

En algunos de estos suelos se presentaron cambios en la clasificación; tal es el caso de la serie Buena Vista que anteriormente era clasificada como Molisol, sin embargo, en el perfil estudiado en el municipio La Conquista se encontraron características propiamente de un Alfisol, principalmente debido a pérdidas en el espesor del horizonte superficial. Por otro lado, en los suelos Santa Teresa el horizonte superficial morfológicamente es un horizonte mólico, pero no cumple con características químicas

como la saturación de bases (menor del 50 %) para ser clasificado como Molisol, por lo que se clasificó como Alfisol.

Los cambios en la taxonomía pueden deberse en gran parte a prácticas tales como la deforestación, el avance de la frontera agrícola, laboreo, quemadas, entre otros, sin establecer medidas de prevención y mitigación de la degradación de los suelos.

5.1.3. Uso actual de los suelos

Tal como se muestra en la figura 14, los suelos del municipio La Conquista cuentan con uso predominante de pasto + cultivos, que ocupa un área de 24.83 km² (27.73 % del territorio del municipio), seguido por pasto con árboles dispersos con 18.10 km² (20.22 % del área municipal) y bosque de galería con 16.51 km² (18.45 % del territorio); el resto de usos no sobre pasa los 5.65 km². Sumando las áreas que contienen algún tipo de bosque, éste alcanza apenas el 11.86 km²; esto indica que el municipio ha sufrido marcados cambios en el uso de la tierra.

5.1.4. Pendientes del terreno

La pendiente está estrechamente relacionada con muchos factores que ocurren dentro del perímetro de una cuenca, subcuenca o microcuenca; como son la velocidad de la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración, retención de humedad del suelo; además, condiciona el uso del suelo para diferentes actividades de acuerdo a su grado de inclinación y predice la disminución o incremento de la erosión hídrica. En el municipio La Conquista se encuentran pendientes que varían desde terrenos casi llanos hasta terrenos fuertemente escarpados, tal como se describe en el Anexo VI (ver también Figura 15).

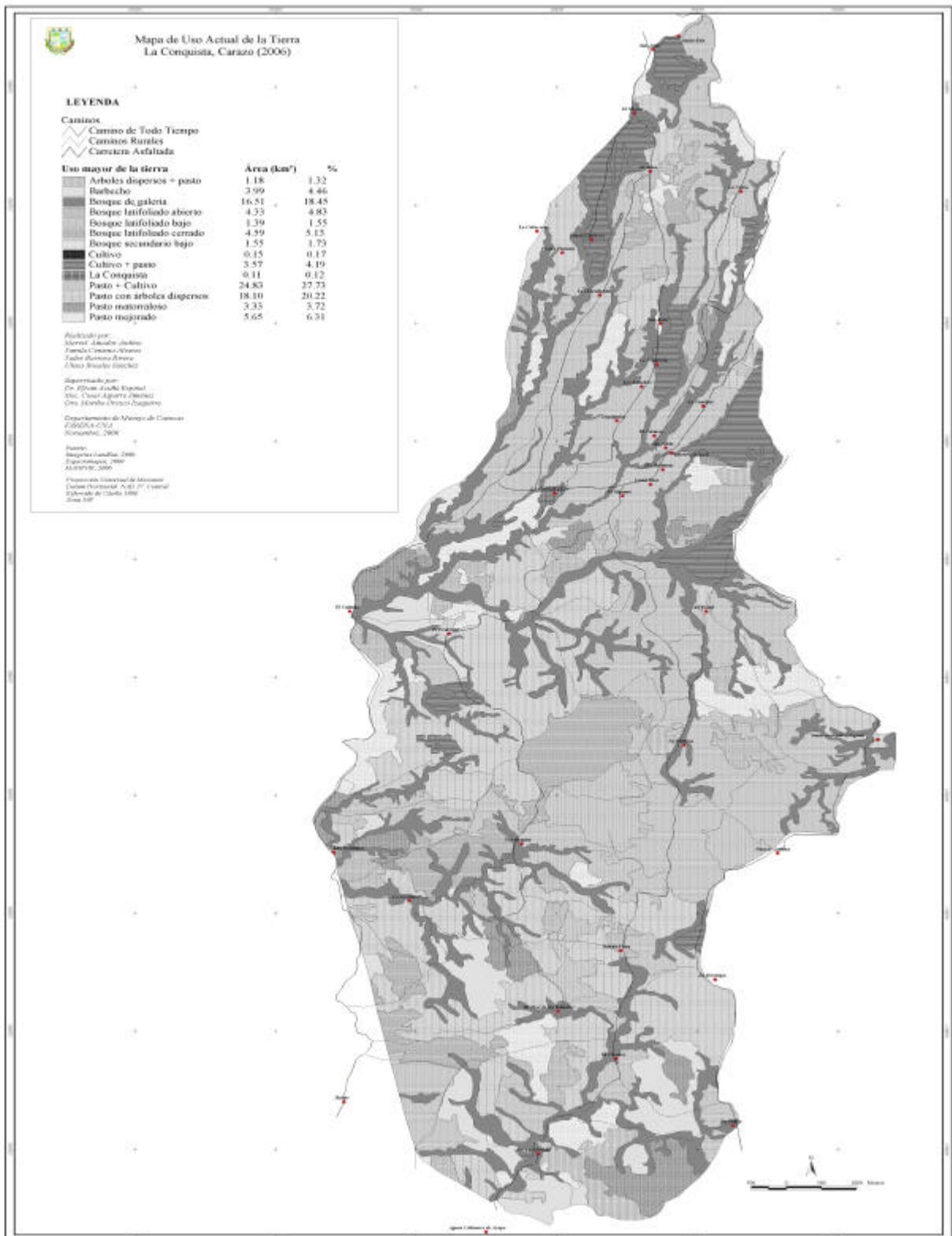


Figura 14 Uso actual de la tierra del municipio La Conquista, Carazo, 2006.

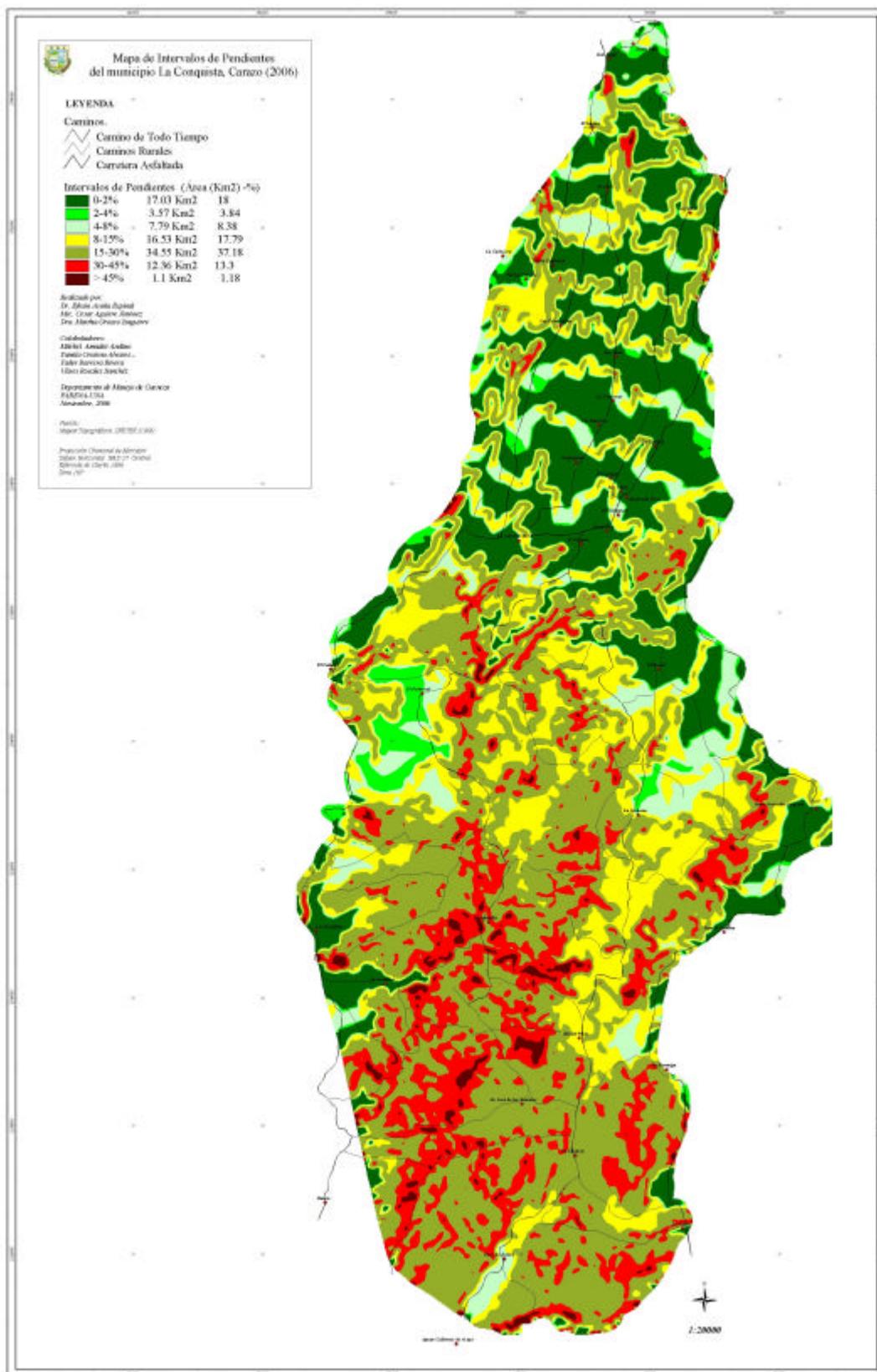


Figura 15 Pendientes del municipio La Conquista Carazo. 2006.

5.1.5. Causas y problemas de degradación de estos suelos

Los suelos del municipio La Conquista, no escapan de la problemática que afecta miles de hectáreas de tierras en nuestro país, vinculadas a factores tanto socioeconómicos como socioculturales y estructurales que impiden la aplicación de prácticas encaminadas hacia una agricultura sostenible, que garantice la estabilidad y mejoramiento del nivel y calidad de vida de sus habitantes. Entre los principales problemas que enfrentan estos suelos se mencionan los siguientes:

- Alta susceptibilidad de erosión
- Pérdida de la capa superficial
- Disminución de la cobertura vegetal
- Baja capacidad de retención de humedad
- Evidencias de compactación por sobre pastoreo
- Pérdida de materia orgánica y de nutrientes
- Quemados y prácticas agrícolas sin manejo adecuado en altas pendientes

5.1.6. Estrategias y alternativas para el manejo adecuado de los suelos del municipio La Conquista

Dos resultados obtenidos en cuanto al estudio del recurso suelos, podemos deducir que la situación que enfrentan los recursos naturales y en especial el recurso suelos se deben a una problemática diversa y compleja, ya que puede estar relacionada a diversos factores socio-culturales y socio-económicos. Por tanto, se justifica la formulación de estrategias y acciones diversas, multifacéticas y multisectoriales, que hagan frente de una manera más eficaz y eficiente a esta problemática (ver Cuadro 22). Las cuales es necesario que las estrategias pasen por un proceso participativo, con el objetivo de consensuar los problemas y necesidades en cada territorio, así como las alternativas de solución más apropiadas.

Cuadro 22 Estrategias de manejo, alternativas y líneas de acción que se deben seguir para lograr el uso sostenible del recurso suelo del municipio La Conquista.

Estrategias	Alternativas y líneas de acción
Promover un uso de la tierra de acuerdo a su capacidad natural	Elaborar el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal Desarrollar capacidades de los actores locales en el manejo de recursos naturales
Aumentar la productividad del sector agropecuario y forestal	Favorecer el acceso de todos los productores a los servicios de apoyo a la producción (resultados de investigación, asistencia técnica, comercialización y transformación) adecuado y coherente entre sí. Capacitar a los productores en el mejoramiento tecnológico en el ámbito agrícola, pecuario y forestal.
Fomentar y proteger reservas naturales municipales y fomentar el ecoturismo	Apoyar la gestión para declarar reservas naturales en tierras clase VIII y áreas alta vulnerabilidad. Reforestar y fomentar el ecoturismo Fortalecer los derechos locales de vida silvestre, herencia cultural, acceso a los destinos y otros activos turísticos, apoyo para mejorar la calidad de servicios al turismo (suministro de insumos y transporte).
Fomentar la investigación para el mejoramiento de los sistemas agrarios	Caracterizar e investigar los problemas de erosión Mejorar especies adaptables a la zona (granos básicos, hortalizas, frutales, forrajes, pastos, productos no tradicionales), así como información sobre SAFs.
Validar, sistematizar y difundir prácticas de mejoramiento de la fertilidad física, química y biológica.	Manejo de rastrojos, eliminar las quemas agrícolas, manejo de la regeneración natural, establecimiento de sistemas agroforestales que incluyan plantas leguminosas, aplicación de fertilizantes orgánicos (compost, estiércol) e inorgánicos (urea, fertilizante completo). Promover las prácticas de conservación de suelos Reconstruir la capa arable de los suelos (incorporación de abonos orgánicos).

5.2. Recurso hídrico superficial del municipio La Conquista

5.2.1. Características morfométricas de las 18 microcuencas del municipio

La descripción de los parámetros morfométricos de una cuenca incluye la forma, tamaño, longitud máxima, ancho máximo, pendiente del cauce principal, pendiente media, red de drenaje (forma, tipo, grado de bifurcación), altura máxima, entre otros.

5.2.1.1. Parámetros de forma

a). Coeficiente de Gravelius

Los valores del coeficiente de Gravelius y el de forma para cada una de las 18 microcuencas, enmarcadas dentro del territorio del municipio La Conquista, se presentan en el Cuadro 23. En este cuadro se puede observar que cuatro de las 18 microcuencas son de forma alargada y tres de forma oblonga, con ciertas irregularidades todas ellas, y que por tanto son menos compactas. Nueve microcuencas son ovaladas con cierta irregularidad y la compacidad no es muy alta. Las microcuencas del río El Naranjo y el río La Chonca, son las que más se acercan a la circularidad (ver cuadro 23), por lo tanto, se consideran las más compactas. De acuerdo con Gravelius (1914), cuanto más cercano esté a la unidad, se considera que la cuenca tiene una forma más circular y por consiguiente es más compacta.

Cuadro 23 Parámetros relativos a la forma de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo.2006.

Microcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud máxima (km)	Cg	Cf	Forma
Cascalojoché	6.94	19.30	9.34	2.05	0.08	Alargada
Recogedero	15.17	32.74	15.41	2.35	0.06	Alargada
Tecomapita	11.65	17.62	6.02	1.45	0.32	Ovalada
San Felipe	2.31	8.84	3.42	1.63	0.20	Oblonga
La Pitilla	6.97	11.90	5.60	1.26	0.22	Ovalada
El Naranjo	3.32	7.79	3.63	1.20	0.25	Redonda
Manuel	0.96	4.82	2.35	1.38	0.17	Ovalada
Los Gómez	4.11	11.66	4.53	1.61	0.20	Oblonga
Las Cuevas	3.07	8.23	3.61	1.32	0.24	Ovalada
El Horno	2.91	7.75	3.13	1.27	0.30	Ovalada
El Gigante	13.33	32.79	16.36	2.51	0.05	Alargada
La Flor	3.99	9.41	3.90	1.32	0.26	Ovalada
La Conquista	8.97	24.47	12.63	2.29	0.06	Alargada
La Chonca	6.37	10.47	4.34	1.16	0.34	Redonda
El Brasil	3.94	10.31	4.12	1.45	0.23	Ovalada
Alto Ochomogo	9.04	16.09	5.64	1.50	0.28	Ovalada
Güisoyol	2.03	6.35	2.65	1.25	0.29	Ovalada
La Mohosa	3.46	10.97	4.87	1.65	0.15	Oblonga

Cg= coeficiente de Gravelius. Cf= Coeficiente de forma

Cuanto más redonda es una cuenca, más tarda en llegar los caudales máximos a la desembocadura (Villon, 2004); las formas oblongas y ovaladas de la mayoría de microcuencas del municipio, indican escurrimientos que recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal. Así pues, la duración del escurrimiento es superior o sea que el agua permanece más tiempo en el área de captación. Gregory y Wallig (1993), señalaron que cuanto más redonda es una cuenca más retardo existe entre el momento de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura, pero al mismo tiempo, más acusada y súbita es la crecida, y por tanto más alto el riesgo de inundaciones.

Las microcuencas de formas alargadas Cascalojoche, Recogedero, El Gigante y La Conquista, permiten que la respuesta a los eventos lluviosos sea más rápida, ya que los escurrimientos recorren menos distancia hasta el cauce principal, por lo que el agua permanece menos tiempo en sus áreas de captación.

Las microcuencas El Recogedero, El Gigante, El Tecomapita, Alto Ochomogo y La Conquista, son las que presenta mayor área en el municipio; de estas microcuencas, El Recogedero es la que presenta mayor área con 15.17 km². La que tiene menor área es la microcuenca Manuel, con 0.96 km². El área permite dimensionar las actividades de manejo de los recursos naturales en un espacio determinado, en este caso las microcuencas como unidades básicas para la planificación del territorio.

5.2.1.2. Parámetros de relieve

a). Pendiente media

Seis de las 18 microcuencas tienen una pendiente media entre 6 % y 10 %, siendo la de menor pendiente el río Güiscol con 6.13 %; valores bajos de pendiente favorecen el aumento de la infiltración, debido a que el escurrimiento superficial es más lento. Las microcuencas La Flor, El Horno y El Naranjo, presentan una pendiente media entre 10 y 15 %. Las nueve microcuencas restantes presentan una pendiente entre 20 y 30 %, siendo la microcuenca Las Cuevas la que muestra el más alto valor con 29.41 % (ver Cuadro 24); en estas microcuencas se favorece la escorrentía superficial y a su vez el aumento de la pérdida de la capa superficial de los suelos. Sin embargo, hay que

destacar que aún existen áreas con importante cobertura vegetal, lo cual favorece la infiltración debido a su efecto en la interceptación de la lluvia.

Cuadro 24 Parámetros relativos al Relieve de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo. 2006

Microcuencas	Pendiente media (%)	Elevación media (msnm)
Cascalojoché	6.32	410
Recogedero	8.44	400
Tecomapita	20.57	210
San Felipe	20.50	200
La Pitilla	20.66	270
El Naranja	15.29	150
Manuel	21.97	310
Los Gómez	24.79	325
Las Cuevas	29.41	290
El Horno	14.89	195
El Gigante	7.51	290
La Flor	10.62	170
La Conquista	7.37	265
La Chonca	19.87	300
El Brasil	9.46	220
Alto Ochomogo	21.75	290
Güiscoyol	6.13	205
La Mohosa	10.54	230

b). Curva hipsométrica

Según la curva hipsométrica las microcuencas del municipio se encuentran en una etapa intermedia, ya que se ubican entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la fase de desequilibrio o juventud; obviamente evolucionando hacia la etapa de madurez. Lo anterior implica un potencial erosivo que no debe despreciarse.

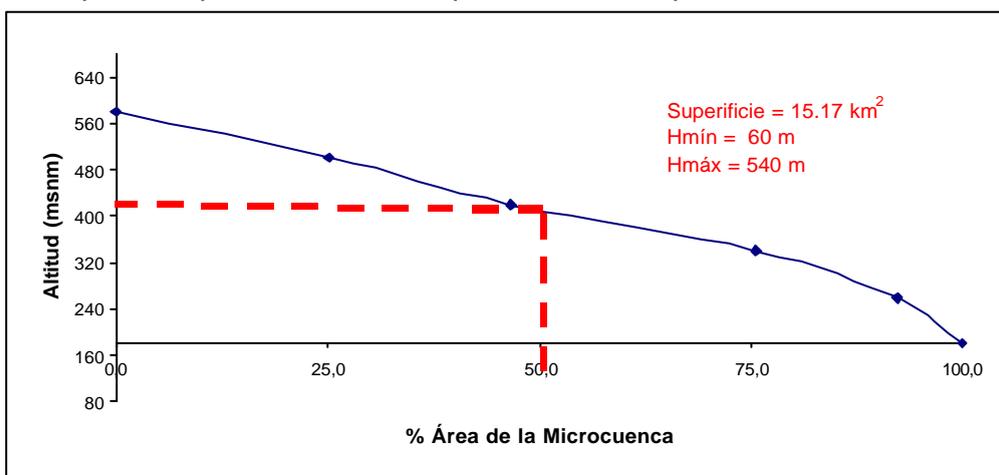


Figura 16. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río El Recogedero, La Conquista, Carazo. 2006.

En las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20 se presentan las curvas hipsométricas de las microcuencas con mayor área en el municipio de La Conquista, en las cuales se puede observar que las microcuencas están en una etapa media entre el equilibrio y la fase de madurez; sin embargo, es posible que estén sufriendo una alta degradación y evolucionen en tiempo muy corto a la etapa de madurez. Las curvas hipsométricas de las microcuencas con menor área en el municipio se encuentran en el Anexo III.

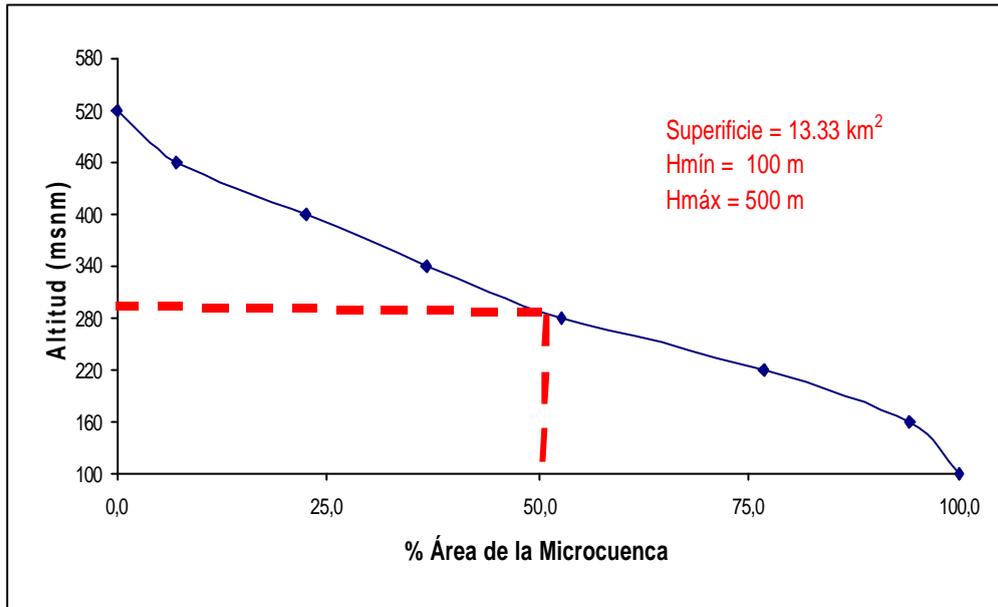


Figura 17. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río El Gigante, La Conquista, Carazo. 2006

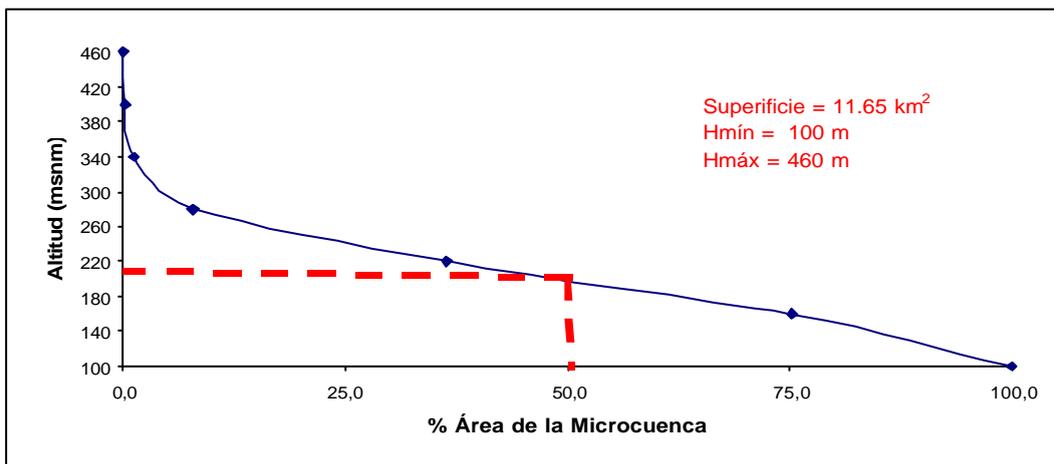


Figura 18 Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río Tecomapa, La Conquista, Carazo. 2006

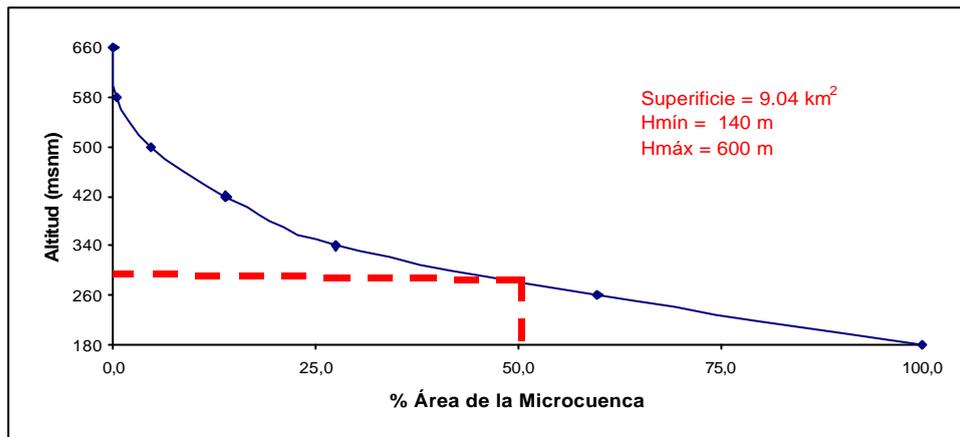


Figura 19 Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río Alto de Ochomogo, La Conquista, Carazo. 2006

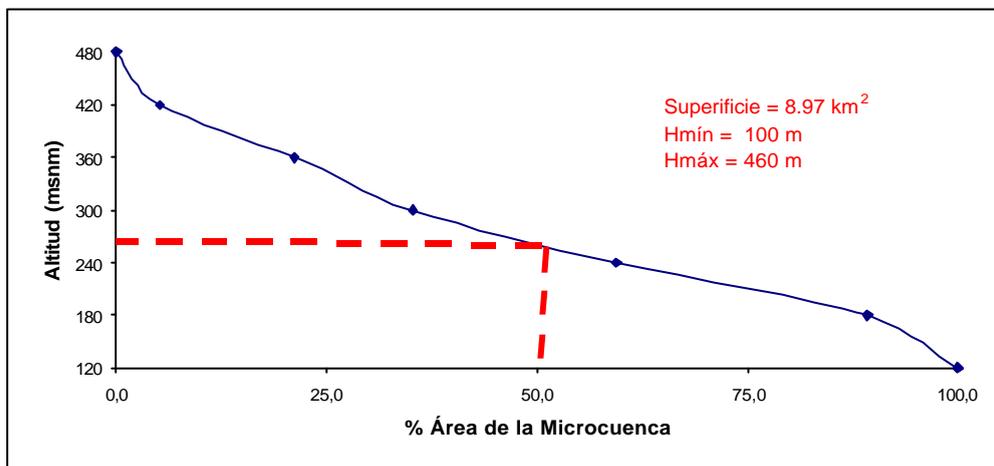


Figura 20. Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río La Conquista, La Conquista, Carazo. 2006.

En las microcuencas La Conquista, El Gigante, El Recogedero y Cascalojoche, la cobertura del suelo está representada en gran parte por cultivos anuales (arroz, frijol y maíz) más pastos; también, hay superficie cubierta por pastos más cultivos anuales, pastos más árboles dispersos y todavía se conserva un bosque de galería en la parte norte del municipio. Las microcuencas El Brasil, La Flor, El Naranjo, Güiscoyol, El Horno y La Mohosa, ubicadas en la parte central del municipio, tienen un uso de pastos más cultivos, cultivos anuales más pasto, pastos mejorados, barbechos, bosque de galería y bosque de latifoliado abierto y cerrado. En las microcuenca ubicadas en la

parte sur del municipio, el uso es pasto más cultivos, cultivos más pastos, barbecho, bosque de galería y bosque latifoliado tanto cerrado como abierto.

La pendiente y la elevación media de las microcuencas, sumado a las actividades antrópicas y más específicamente la actividad agropecuaria (cambios de usos del suelo) en casi toda el área de las microcuencas, van en detrimento de la cobertura vegetal, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando procesos erosivos.

5.2.1.3. Parámetros relativos a la red de drenaje

a). Red de drenaje

La morfología de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos alcanzados son parámetros fundamentales del estudio, que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos del sistema. La red de drenaje del municipio La Conquista está conformada por varios ríos que nacen en el municipio de Santa Teresa y Jinotepe, pero que drenan al Río Grande de Carazo, dentro del municipio La Conquista. Otros nacen en el municipio, pero drenan en sitios fuera del territorio municipal. En el Cuadro 25 se presentan los ríos y sus afluentes que drenan al Río Grande de Carazo, Río Ochomogo, Río Acayo y Río Tecomapita.

Cuadro 25 Principales ríos y sus afluentes en el municipio de La Conquista, Carazo. 2006

Ríos	Afluentes
Río Grande	Recogedero, La Conquista, El Gigante, La Flor, El Horno, La Mohosa, Güiscoyol, Cascalojoche y El Brasil
Río Ochomogo	Alto Ochomogo y Los Gómez
Río Acayo	Quebrada de Manuel, La Chonca, La Pitilla, Las Cuevas
Río Tecomapa	El Naranjo, Tecomapita y San Felipe

Los tributarios que forman la red de drenaje de estas microcuencas son afluentes efímeros, en los cuales circula agua sólo en época lluviosa. Las 18 microcuencas delimitadas en el municipio (ver Cuadro 25) se clasifican como exorreicas, debido a que todas tienen una salida de sus aguas hacia otro cauce principal.

b). Orden y número de corrientes

El estudio de la red de drenaje puede abordarse de dos formas, ambas indicadoras de los procesos erosivos actuales, a través de la mutua influencia de sus parámetros

morfométricos y la relación con los demás componentes del medio (Cuesta, 2001). La primera forma consiste en un análisis descriptivo de la red fluvial, relacionándola con las características litológicas y geológicas del sustrato, como también con la forma y textura de la red de drenaje; la segunda es la topología de la red de drenaje, que se analiza bajo un punto de vista cuantitativo, comparando las redes de las diversas subcuencas y relacionando internamente su propia estructura, poniendo de manifiesto observaciones significativas subyacentes entre formas y procesos hidrológicos y erosivos.

En el Cuadro 26 se muestran el orden de corriente, número de corrientes y la longitud total de los tributarios para las microcuencas con mayor área del municipio. El río Alto Ochomogo es el que presenta mayor número de corrientes del orden 1, con ocho corrientes. El río Cascalojoche es el que tiene menor número de corrientes (4). Cabe señalar que todas las microcuencas con mayor área dentro del municipio presentan un cauce principal de orden 2 (ver Cuadro 26).

Cuadro 26 Número de orden y longitud de las corrientes de la red hidrográfica de las microcuencas con mayor número de orden del municipio de La Conquista, Carazo. 2006

Microcuenca	Orden de corrientes	Número de corrientes	Longitud total de corrientes (km)
Alto Ochomogo	1	8	9.36
	2	1	2.60
	Total	9	11.96
La Conquista	1	5	10.6
	2	1	8.8
	Total	6	19.4
El Recogedero	1	6	13.0
	2	1	10.2
	Total	7	23.2
El Gigante	1	5	19.4
	2	1	4.3
	Total	6	23.7
Cascalojoche	1	4	10.1
	2	1	2.7
	Total	5	12.8
Tecomapita	1	6	7.0
	2	1	5.2
	Total	7	12.2

En igualdad de condiciones, en relación al área, clima, y sustrato, cuanto más alto es el orden de la corriente principal, mayor es su desarrollo fluvial (Horton, 1945); por tanto, según este parámetro estas microcuencas no presentan peligrosidad de inundaciones. En general, las microcuencas presentan un patrón de drenaje dendrítico (red de

tributarios en forma de árbol), influenciado en gran parte por los materiales geológicos de la zona, principalmente por la alternancia entre areniscas, calizas, toba y calcitas.

Teniendo en cuenta la extensión que ocupan, se definen como microcuencas poco jerarquizadas, en las cuales se observa la predominancia de un sistema de drenaje de primer y segundo orden.

c). Densidad de corrientes y densidad de drenaje

La densidad de drenaje es un parámetro físico que refleja la dinámica de la cuenca, la estabilidad de la red hidrológica y el tipo de escorrentía superficial. Según Sánchez (1990), la densidad de drenaje es un parámetro revelador del régimen y de la morfología; altos valores reflejan un fuerte escurrimiento, en consecuencia su magnitud esta indirectamente relacionada con la infiltración, con la erodabilidad del suelo, con la litología y la cobertura vegetal. Esto lleva a indicar que terrenos permeables se caracterizan por baja densidad de drenaje. Dado que el valor de densidad de drenaje se encuentra por debajo de cinco (densidad de drenaje baja), se deduce microcuencas con buena cobertura vegetal (en el pasado) y alta permeabilidad.

La microcuenca con mayor longitud total de todos sus tributarios, corresponde al río El Recogedero con 23.9 km; y la que presenta la menor longitud total de corriente es la microcuenca Manuel con 1.9 km. Cabe destacar que la longitud de los ríos se hizo únicamente dentro del territorio del municipio La Conquista; pueden existir microcuencas cuya área se extienden fuera del territorio municipal, la cual fue considerada en este estudio.

La microcuenca que presenta la mayor longitud del cauce principal dentro del municipio La Conquista es el río El Gigante con 15.26 km, seguido por el Recogedero y La Conquista con 14.51 y 11.41 km respectivamente. En el resto de las microcuencas sus cauces principales no sobrepasan los 9 km de longitud, siendo la microcuenca Manuel la que presenta la menor longitud de su cauce principal con 1.29 km; sin embargo esta microcuenca, cuenta con el valor más alto en cuanto a la pendiente del cauce principal con 11.73 %, lo cual indica que el poder con el que circula el agua es torrencial; no tiene tributarios que drenen agua en él y por sus características de transportar agua solamente durante la época de lluvias, no se aprovecha el agua que esa área de

captación es capaz de drenar. Las demás microcuencas no sobrepasan el 7 % de pendiente en su cauce principal.

La densidad de drenaje usualmente toma valores entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre, hasta 3.5 km/km² para cuencas excepcionalmente bien drenadas (Porta y Acevedo, 2005). De las 18 microcuencas solo la microcuenca La Flor tiene un valor de 3.6 km/km² de densidad de drenaje (ver cuadro 27 y Figura 21), por lo que se considera la microcuenca mejor drenada, las demás tienen un valor por debajo de los 2.5 km/km² de drenaje moderado, y la que presenta el valor más bajo con 0.9 km/km², con densidad de drenaje baja. Este valor de densidad de drenaje pudiera explicarse inicialmente por la cobertura vegetal y la litología de las microcuencas; por tanto, se consideran microcuencas con suelos permeables que facilitan la infiltración que alimenta el flujo subsuperficial, por lo que puede suponerse un incremento en el tiempo de concentración de los caudales picos.

Cuadro 27 Parámetros relativos a la Red de Drenaje de las microcuencas del municipio de La Conquista, Carazo. 2006

Microcuenca	Pendiente cauce principal (%)	Longitud río principal (km)	Longitud total ríos (km)	Densidad drenaje (km corriente/km ²)	Densidad corriente (Número corriente/km ²)	Ordenación cursos (Horton-Strahler)
Cascalojoché	2.78	8.59	12.8	1.8	0.7	2
Recogedero	3.5	14.51	23.9	1.6	0.5	2
Tecomapita	1.68	6.77	12.2	1	0.7	2
San Felipe	4.13	2.97	5.3	2.3	2.2	2
La Pitilla	5.2	5.14	7.2	1	0.4	2
El Naranjo	2.29	3.73	5.9	1.8	1.2	2
Manuel	11.73	1.29	1.9	2	1	1
Los Gómez	3.74	4.44	5.5	1.3	1	2
Las Cuevas	6.8	3.4	4.1	1.3	1	2
El Horno	3.53	2.66	4.8	1.6	1.4	2
El Gigante	3.18	15.26	23.7	1.8	0.5	2
La Flor	3.5	2.79	14.29	3.6	1	2
La Conquista	2.98	11.41	19.4	2.2	0.7	2
La Chonca	4.95	3.5	5.8	0.9	0.6	2
Brasil	2.85	3.71	7.61	1.9	1.8	2
Alto Ochomogo	5.25	5.05	11.96	1.3	1	2
Güiscoyol	3.12	2.33	3.19	1.6	2	2
La Mohosa	2.56	4.5	5.65	1.6	1.2	2

La densidad de corrientes indica la eficiencia de drenaje de una cuenca; la microcuenca del río El Güisoyol es la que tiene el más alto valor de densidad de corrientes, con 2 corrientes/km²; donde se obtuvo el menor valor fue en la microcuenca la Pitilla con 0.4 corrientes/km². Por lo tanto, se considera que estas microcuencas cuentan con una eficiencia de drenaje alta. En la Figura 22 se presentan las 18 microcuencas que se encuentran enmarcadas dentro del territorio del municipio La conquista.

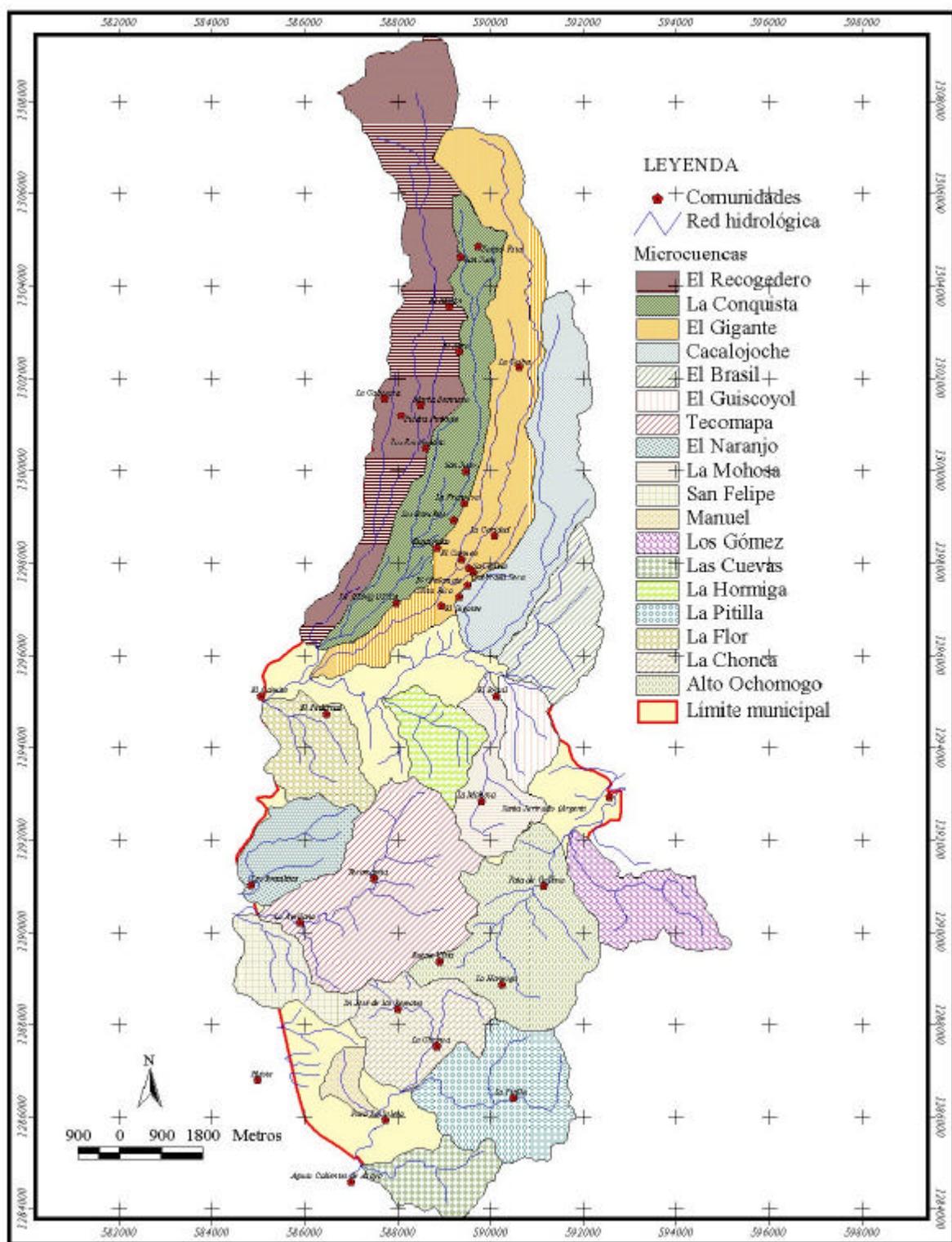


Figura 22 Microcuencas del municipio La Conquista, Carazo 2006

5.2.2. Caudal circulante de los sitios de muestreo

El caudal de los ríos se midió en dos momentos Septiembre y Noviembre del 2006, en los cuales no existían aguas estancadas, ya que se mantenía un flujo continuo de sus aguas. En los muestreos realizados en los dos momentos, el río con mayor caudal fue el Cascalojoche con $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 360 L/s y $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 250 L/s respectivamente. El río con menor caudal fue el río La Conquista, ya que en los dos sitios de



Figura 23 Medición de la velocidad media del flujo del río.

muestreo, La Francis y La Conquista (parte alta y desembocadura, respectivamente), presentaron caudales de $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 30 L/s y $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 50 L/s (ver Cuadro 28).

En el muestreo realizado en el mes de Noviembre se observa un mínimo descenso del caudal en los ríos Cascalojoche y La Conquista. Esto como consecuencia de estar finalizando el período lluvioso, por lo que el agua que fluye en el canal es la que escurre por flujo subsuperficial, el cual mantiene el nivel freático alto en estos ríos y por tanto un pequeño caudal circulante en los mismos. Mientras que el sitio La Francis (parte alta río La Conquista) y el río Las Enramadas aumentaron su caudal, debido a que se presentaron precipitaciones horas antes a la toma de muestra.

Estos valores de los caudales circulantes determinan que en épocas secas la disponibilidad de agua para la población es reducida (Marzo-Abril). En los cinco sitios muestreados los valores del caudal de los ríos fueron bajos, lo que pudo deberse a que las precipitaciones en estos suelos se pierden por escorrentía superficial lo cual se explica con los valores altos de los caudales máximos, que a continuación se detallan.

Cuadro 28 Caudal circulante en los cinco sitios de muestreo de agua en el municipio de La Conquista, Carazo.

Sitio	Caudal (m ³ /seg)	Caudal (l/seg)
Muestreo Septiembre de 2006		
La Francis	0.03	30
Cascalajoche	0.36	360
El Gigante	0.07	70
La Conquista	0.12	120
Las Enramadas	0.08	80
Muestreo de Noviembre 2006		
La Francis	0.05	50
Cascalajoche	0.25	250
El Gigante	0.07	70
La Conquista	0.1	100
Las Enramadas	0.12	120

5.2.3. Caudales máximos

Todas las microcuencas tienen valores de número de curva mayores de 73, siendo la microcuenca La Mohosa la que cuenta con el mayor número de curvas con 82 (ver Cuadro 29); esto indica que se permite poca infiltración del agua de lluvia y se favorece la escorrentía superficial, lo que se traduce a caudales máximos altos, poca o muy poca recarga del acuífero, así como el aumento de los procesos erosivos de los suelos. Cabe mencionar que esta microcuenca tiene cierta cobertura vegetal, representada por cultivos anuales, pasto y remanentes de bosques latifoliados y una gran parte de bosque de galería.

Cuadro 29 Caudales máximos en las microcuencas del municipio La Conquista, generados a partir de una precipitación de 100 mm.

Microcuenca	Área (km ²)	NC	Q (m ³ /seg)
Cascalajoche	6.94	75	28.9
Recogedero	15.17	74	61.1
Tecomapita	11.65	76	96
San Felipe	2.31	73	19.8
La Pitilla	6.97	77	59.8
El Naranjo	3.32	79	33.1
Manuel	0.96	76	11.0
Los Gómez	4.11	77	38.2
Las Cuevas	3.07	77	33.9
El Horno	2.91	75	27.5
El Gigante	13.33	77	58.7
La Flor	3.99	73	29.8

Microcuenca	Área (km²)	NC	Q (m³/seg)
La Conquista	8.97	74	36.2
La Chonca	6.37	77	59.7
El Brasil	3.94	73	29.3
Alto Ochomogo	9.04	78	81.7
Güisoyol	2.03	79	22.2
La Mohosa	3.46	82	29.4

Además del complejo suelo-vegetación, la pendiente juega un papel importante en los escurrimientos. Las microcuencas Cascalojoche, Recogedero, El Gigante, La Conquista, El Brasil, y Güisoyol, presentan una pendiente media menor del 10 %, por lo que se considera que hay una menor incidencia en los altos valores de caudal. Se requiere una mayor cobertura vegetal para evitar grandes pérdidas de agua y suelos, por escorrentías y erosión.

El resto de las microcuencas tiene una pendiente media entre 10 y 30 % (ver Cuadro 24), lo cual favorece una mayor escorrentía llegando a presentar valores altos en caudales máximos. De acuerdo con Monsalve (1999), además de los parámetros de relieve, inciden mucho los parámetros de forma; en las microcuencas alargadas como La Conquista, El Gigante, El recogedero y Cascalojoche, que a pesar de tener una pendiente menor, se dan caudales máximos con valores altos.

La microcuenca Tecomapita es la que presenta el más alto valor de caudal máximo con 90 m³/seg, seguido del río Alto Ochomogo con 81.7 m³/seg. Esto puede estar influenciado directamente por la pendiente media que es de 20.5 y 21.7 %, respectivamente.

Es importante señalar que la microcuenca Manuel es la que presenta el más bajo valor de caudal máximo con 11.0 m³/seg; sin embargo, este valor se considera alto, debido a que el área es de tan sólo 0.96 km² y cuenta con una pendiente media de 21.9 %.

El uso que el ser humano da a la tierra puede, bien facilitar la regulación y el almacenamiento del agua de lluvia en el suelo o crear en éstas condiciones favorables al rápido escurrimiento, por lo general asociado con perjudiciales avenidas que afectan territorios dentro o fuera del municipio, agua que no se aprovecha en el territorio. La

disminución de la cobertura vegetal en las microcuencas, provoca que se incrementen los caudales de las crecidas y los riesgos de inundación, así como una mayor erosión y transporte de sedimentos que se convierte también en contaminación de las aguas superficiales.

De manera general, es posible decir que en estas microcuencas no se aprovechan las precipitaciones caídas, por lo que el manejo adecuado de las mismas es fundamental para disminuir las escorrentías rápidas que se origina en ellas. Cabe destacar que el déficit de agua presente en todo el municipio de La Conquista, a partir que se inicia la época seca (segunda semana de noviembre a finales del mes de abril), justifica que los caudales de agua en lugar de salir fuera del municipio, se deberían aprovechar para uso doméstico, agrícola o recarga del mismo acuífero.

5.2.4. Balances hídricos de las series de suelos más representativas del municipio

De acuerdo con los balances hídricos realizados en las series de suelos más representativas del municipio La Conquista, el período con déficit de agua se da durante todo el año, el cual es más marcado en los meses que van de Diciembre a Abril, que corresponde también a la época en que la cobertura vegetal hace uso de las reservas de agua del suelo. El déficit disminuye drásticamente una vez que inicia la época lluviosa; no obstante, aunque en pequeña proporción este déficit se mantiene, debido a que las precipitaciones son irregulares y buena parte del agua se pierde por escorrentía.

Se produce un almacenamiento máximo de agua en el suelo (reserva más exceso) en los meses de Junio, Septiembre y Octubre. Los máximos excedentes de agua que se presentan en estos meses, son producto de que en estos periodos es cuando se registraron las mayores precipitaciones.

Cuadro 30 Deficiencias y excesos de agua en los suelos más representativos del municipio La Conquista, 2006.

Meses del año	Series que se estimó el balance hidrico							
	Buena Vista		Santa Teresa		San Rafael		Suelos Q	
	Def	Exc	Def	Exc	Def	Exc	Def	Exc
Enero	108	0	102	0	116.6	0	127.9	0
Febrero	131.7	0	128	0	137.1	0	141.9	0
Marzo	134.2	0	132	0	136.8	0	138.4	0
Abril	150.9	0	149	0	152.2	0	152.7	0
Mayo	65.9	0	65.6	0	32.3	0	32.3	0
Junio	12.4	28.8	12.1	6.6	12.1	61.7	12.1	130.6
Julio	20.1	0	20.1	0	20.1	0	20.1	0
Agosto	18.8	0	18.8	0	18.8	0	18.8	0
Septiembre	11.7	0	11.7	0	11.7	0	11.7	24.8
Octubre	21.1	147.3	21.1	147.3	21.1	147.3	21.1	147.3
Noviembre	19.2	0	19.2	0	19.2	0	19.2	0
Diciembre	70.9	0	65.2	0	80.7	0	99.6	0
TOTAL	764.6	176.1	745	153.8	758.7	209	795	302

En el Cuadro 32 se presenta las deficiencias y los excesos de agua de las series de suelos más representativos del municipio. En el mes de Octubre se presenta exceso de agua de 147.3 mm/año para las cuatro series evaluadas, y en junio existe un pequeño excedente de agua, siendo mayor en las tierras escarpadas (Suelos Q) donde alcanza los 130.6 mm/año; las demás series de suelos no sobrepasan los 70 mm/año en este mes (ver Cuadro 30).

En el mismo cuadro se puede observar que las deficiencias en las cuatro series de suelos, empiezan en el mes de Diciembre y se prolongan hasta el mes de Mayo, que es cuando empieza la temporada de lluvias en el municipio (Ver Anexo II). La serie donde existe mayor deficiencia son los suelos Q con 795 mm/año; igualmente estos suelos son los que presentan el mayor exceso de agua con 302 mm/año (ver Cuadro 30). Mientras que la serie que presenta la menor deficiencia de agua es Santa Teresa con 744.8 mm/año; igualmente es la serie que presenta el menor exceso de agua con 153.8 mm/año. A continuación se presentan los balances hídricos por cada serie de suelo representativa del municipio:

a) Balance hídrico para la serie Buena Vista (BV)

Los balances hídricos para la serie de suelos Buena Vista en pendientes b y d, reflejan los meses con ganancias de agua por lluvia y las pérdidas por evaporación, escorrentía, así como la variación de las reservas de agua en el suelo. Estas series de suelos tiene un CRAD de 157.68 y 159.75 mm, un déficit de agua de 764.6 y 762.8 mm/año y el exceso de agua es de 176.1 y 174.1 mm/año, respectivamente.

En todos los meses del año hidrológico estudiado se presenta déficit de agua, el cual se incrementa desde la segunda semana del mes de diciembre hasta el mes de abril, disminuyendo drásticamente una vez que inicia la estación húmeda (Mayo). Las reservas más los excedentes de agua se inician en los meses que se corresponden a la época lluviosa (Mayo a Noviembre); la precipitación está por encima de la evapotranspiración real (ver Figura 24), pero en esta serie de suelos solamente se da excedente de agua en los meses de Junio y Octubre. En diciembre se da inicio a la utilización de la reserva del suelo por la vegetación, ya que las precipitaciones son muy pocas o casi nulas (ver Anexo II).

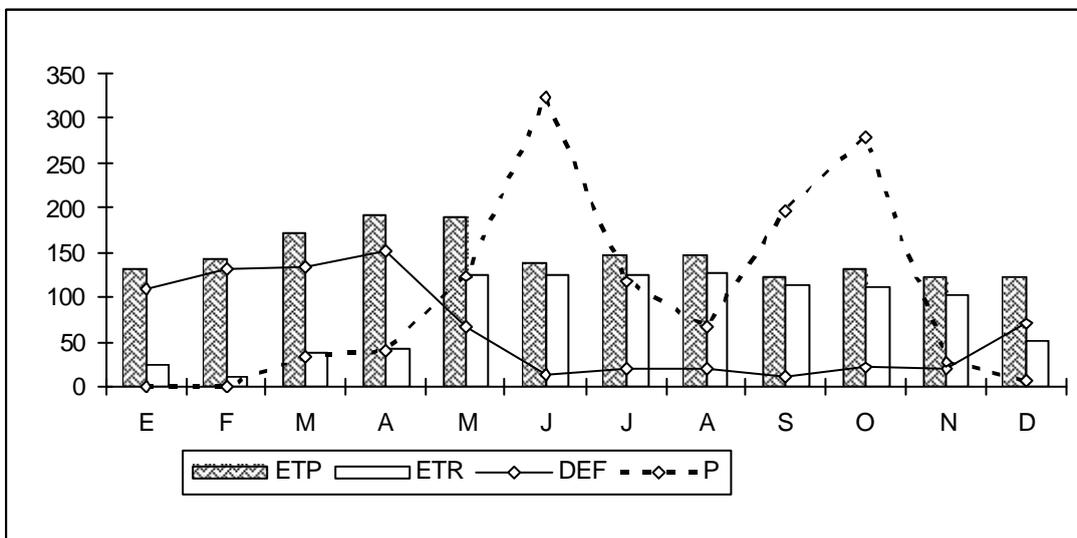


Figura 24. Períodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo Buena Vista (b), La Conquista, Carazo, 2006

b) Balance hídrico serie de suelos Santa Teresa

Esta serie presenta un CRAD de 180.93 mm, un déficit de 744.8 mm/año y un exceso de 153.8 mm/año. En estos suelos también se da el déficit de agua durante todo el año hidrológico estudiado (2003). Los meses en que se incrementa el déficit de agua van desde diciembre hasta Abril (ver Figura 25); este déficit inicia una vez que las precipitaciones son muy pocas o nulas (ver Anexo II). Al iniciar las precipitaciones en el mes de mayo, comienzan las reservas de agua en el suelo por lo que el déficit es muy bajo, manteniéndose así hasta finales del mes de Noviembre. El almacenamiento (reservas más excedentes de agua) se corresponden a la época lluviosa (Mayo a Noviembre); en estos meses la precipitación esta por encima de la evapotranspiración real. La utilización de la reserva del suelo por las plantas inicia en diciembre y culmina en abril. En esta serie de suelos los excesos son menores y se dan en los meses de junio (6.6 mm) y octubre (147.3 mm).

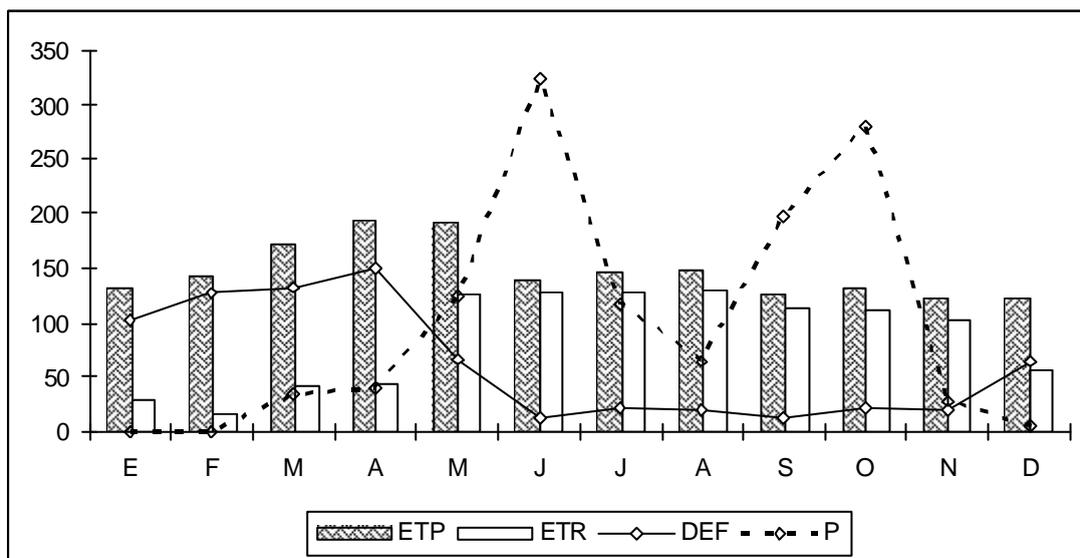


Figura 25. Periodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo Santa Teresa (c), La Conquista, Carazo, 2006

c) Balance hídrico serie de suelos San Rafael (SR)

En esta serie se realizaron los balances hídricos en pendientes e y f; en estos suelos se presenta un déficit de agua de 758.7 mm/año y 806.6 mm/año, mientras que el exceso es de 209 y 237.7 mm/año; el CRAD es de 124.2 y 55.17 mm, respectivamente

El déficit de agua en esta serie inicia una vez que las precipitaciones son nulas o casi nulas (Diciembre a Abril). Una vez que da por inicio la época lluviosa en mayo el déficit disminuye drásticamente, manteniéndose un promedio de 17 mm en esa época (Mayo - Noviembre), (ver Figura 26 y Anexo II). La utilización de la reserva de humedad del suelo va de Noviembre a Abril (meses en que la Evapotranspiración Real es mayor que la precipitación). El Almacenamiento máximo (reserva más excesos) se dan en los meses de Junio, Septiembre y Octubre.

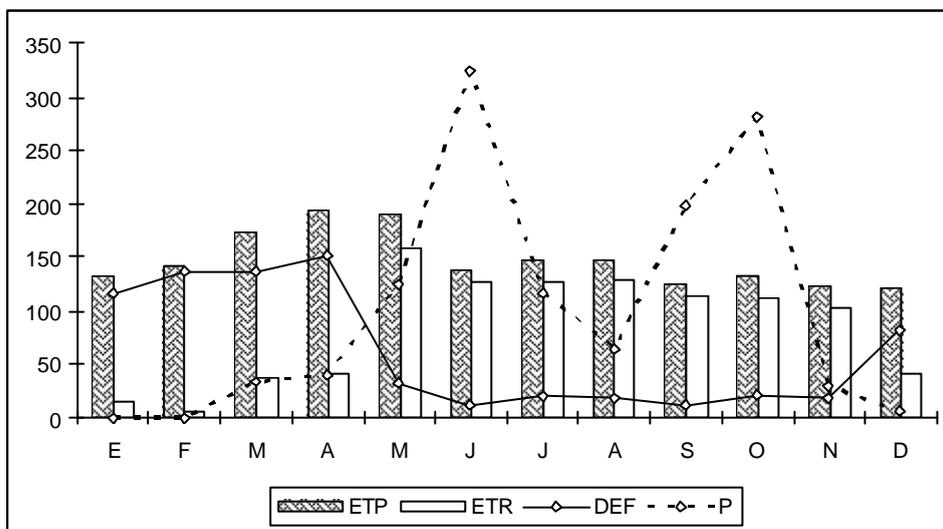


Figura 26 Períodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo San Rafael (e), La Conquista, Carazo. 2006

d). Balance hídrico Tierras Escarpadas (Q)

El balance hídrico de las Tierras Escarpadas (Q), demuestra que el déficit en estos suelos es de 795 mm/año y el exceso de 302.6 mm/año, siendo los meses de Junio y Octubre en los que se dan las máximas precipitaciones. El CRAD es de 74.25 mm. Al igual que en los otros suelos del municipio, el déficit de agua se da en todo el año hidrológico; se puede decir que éste inicia marcadamente una vez que termina la época lluviosa (Diciembre) y se extiende hasta Abril.

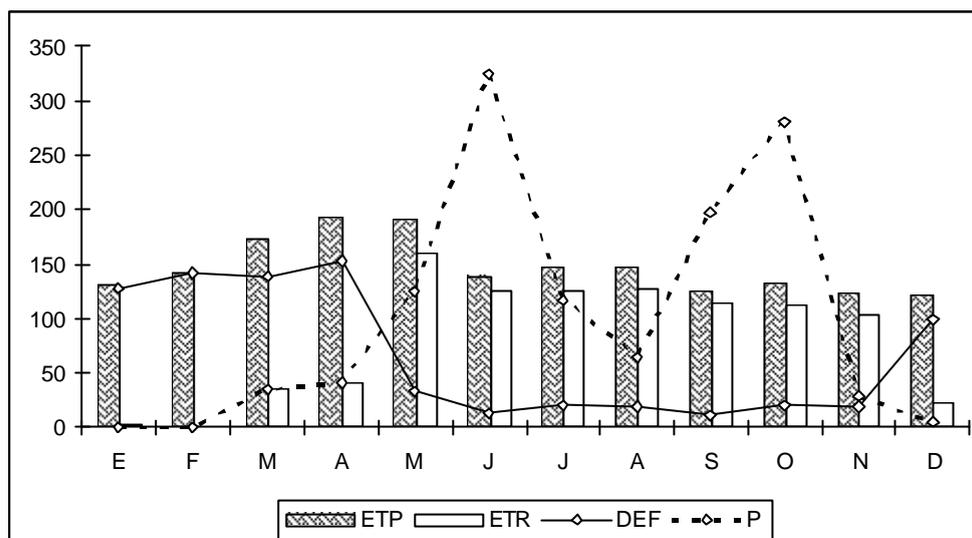


Figura 27 Períodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo Q (f), la Conquista, carazo, 2006

Una vez que las precipitaciones inician en mayo, se puede observar que disminuye fuertemente el déficit de agua en el suelo, pero se observa también que éste mantiene una promedio de 19 mm en este periodo (ver Figura 27). La utilización de la reserva del suelo se da durante los meses de Diciembre hasta Abril (meses en que la Evapotranspiración Real es mayor que la precipitación (ver Anexo II). El almacenamiento máximo (reserva más excesos) se dan en los meses de Junio, Septiembre y Octubre.

5.2.5. Calidad de las aguas en los sitios de muestreo

5.2.5.1. Análisis físico-químico

Para evaluar la calidad de las aguas fluviales del municipio La Conquista se seleccionaron ciertos parámetros físico-químicos aplicados para cada uno de los puntos de muestreo, en los que se obtuvieron los siguientes resultados:

a. pH

Los valores de pH en los cinco sitios muestreados varían entre 7.0 y 7.9. En el primer muestreo, el río La Conquista obtuvo el mayor valor con un pH de 7.9 (alcalino); mientras que El Gigante obtuvo un pH de 7.0 (neutro). Sin embargo, en el segundo muestreo el sitio más alcalino fue río El Gigante con un pH de 7.9 y el menos alcalino

fue el sitio La Francis (parte alta del río La Conquista) con un pH de 7.1 unidades (ver Figura 28).

Estos valores de pH en ambos muestreos se encuentran dentro del rango considerado normal para aguas naturales (6.5-8.5), indicando que desde el punto de vista de este parámetro, sus propiedades son excelentes para consumo humano, riego y recreación. El aumento del pH en el segundo muestreo con respecto al primero en los sitios El Gigante y Cascalojoche, puede ser debido a que horas antes del muestreo hubo precipitaciones que arrastraron sedimentos hacia los ríos; algunos de estos sedimentos provienen de rocas calcáreas, que favorecen la presencia de carbonatos en el agua y explica el aumento de valor del pH. Sin embargo, en cuanto a requerimientos de pH estas aguas no presentan restricciones para el desarrollo de la vida biológica y la naturaleza química de las mismas.

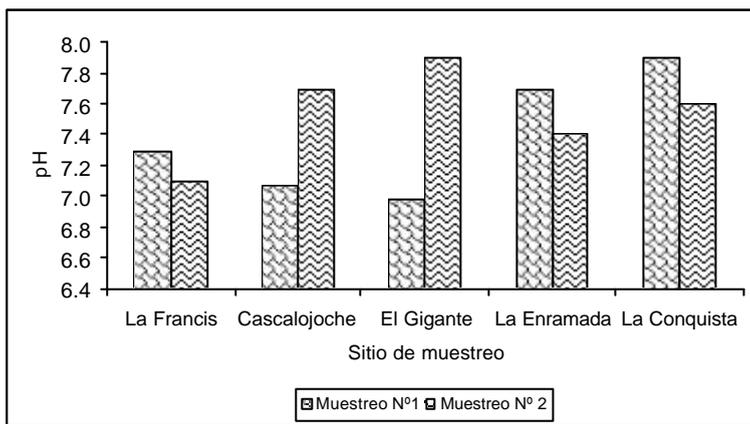


Figura 28 Valores obtenidos del pH en los muestreos de Septiembre y Noviembre del 2006, en el Municipio La Conquista, Carazo.

b. Temperatura

Los resultados obtenidos de la temperatura de las aguas muestreadas indican que estas presentan condiciones para el soporte de la vida acuática, ya que se encuentran en un rango entre 25 y 28 °C.

De acuerdo con los criterios de calidad del agua del American Petroleum Institute (citado por el Ministerio de Medio Ambiente de España, 1998), estas aguas pueden ser

usadas para la recreación, riego, ganado y vida silvestre, ya que no sobrepasan los límites permisibles para este tipo de usos. En igualdad con las normas CAPRE (que rigen las normas de calidad para Nicaragua), se recomienda que la temperatura de las aguas debe estar entre los 18 y 30 °C, para ser consideradas aguas de buena calidad. En la Figura 29 se puede observar que los valores de la temperatura en el segundo muestreo, son menores un grado en todos los sitios, con respecto al primer muestreo, lo que pudo deberse a que en el segundo muestreo se presentaron condiciones climáticas favorables para esta disminución; no obstante, según este parámetro los valores obtenidos están dentro del rango permisible para los usos que se quiera dar al agua.

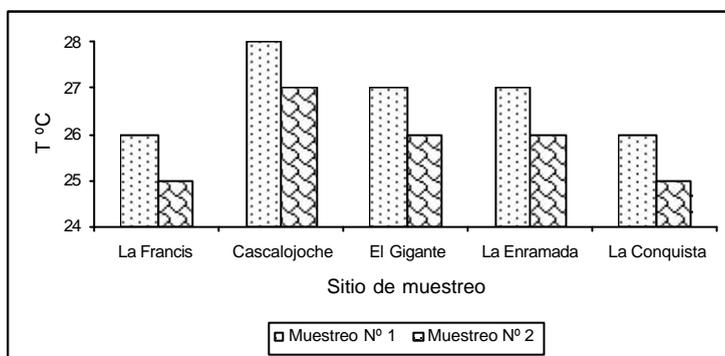


Figura 29 Valores obtenidos de Temperatura del agua en los muestreos de Septiembre y Noviembre del 2006 en el municipio La Conquista, Carazo.

c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los valores de DBO₅ obtenidos en el muestreo de Septiembre 2006 son menores en comparación con los obtenidos en Noviembre, debido a que en el primero las aguas no presentaban ningún tipo de turbidez, favoreciendo a las bacterias obtener el oxígeno para descomponer la materia orgánica. Sin embargo, en el muestreo realizado en Noviembre algunos ríos presentaban turbidez, debido a que las lluvias provocaron crecidas en los ríos y el arrastre de sedimentos y desechos orgánicos, provenientes de las partes altas de las microcuencas. Esto dio lugar a que las bacterias que se encargan de la descomposición de la materia orgánica aumentaran la demanda del oxígeno.

No obstante, los valores de la DBO se encuentran entre una situación normal y una situación aceptable (ver Cuadro 7) en ambos muestreos, ya que no sobrepasa los 2 mg/L (ver Figura 30). Esto indica que la carga orgánica presente es baja, determinando

niveles de oxígeno altos. De acuerdo con lo establecido por el Department of the Environment de Gran Bretaña (citado por el Ministerio de Medio de España, 1998), los valores de la DBO₅ obtenidos en los ríos del municipio La Conquista puede llevar a clasificarlos como ríos no contaminados, que no reciben descarga contaminante significativa y las aguas se encuentran con buena oxigenación. De acuerdo con la clasificación de Mejía y Nava (2008), esta agua se ubican en la categoría de excelente o no contaminada (DBO menor que 3mg/l).

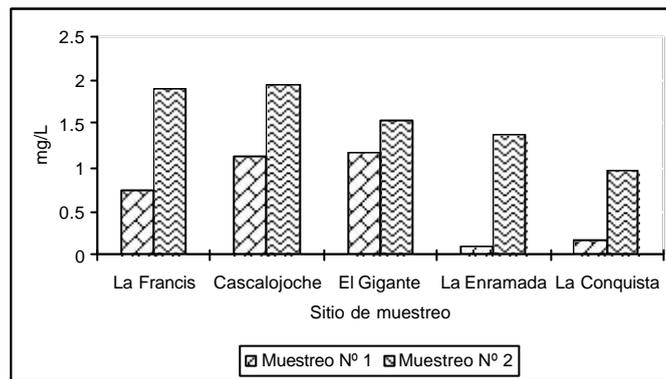


Figura 30 Valores obtenidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en los muestreos de Octubre y Noviembre del 2006 en el municipio La Conquista, Carazo.

d. Demanda química de oxígeno (DQO)

Los valores obtenidos de la DQO en Septiembre 2006 indican que la cantidad de materia orgánica en el agua era escasa, debido a que el agua no presentaba ningún tipo de turbidez; por tanto, las bacterias no demandaban gran cantidad de oxígeno para su descomposición. En cambio en Noviembre 2006 la apariencia de las aguas era totalmente turbia, causada por lluvias caídas en horas anteriores en lugares aledaños a algunos sitios de muestreo, lo que provocó arrastre de grandes cantidades de materia orgánica por las escorrentías superficiales de las partes altas de las microcuenca de cada río, además del aporte de material orgánico de la vegetación. En el segundo muestreo el valor más alto de la DQO fue de 694 mg/l correspondiente a La Enramada (ver Figura 31); este mismo punto en el primer muestreo presentó un valor de 6.98 mg/l. De acuerdo con Mejía y Nava (2007), los valores obtenidos en el primer muestreo llevan a clasificar el agua de los ríos como excelente o no contaminada, por que sus valores no exceden los 10 mg/L en ninguno de los sitios analizados. Sin embargo, en el

segundo muestreo La Francis, El Gigante y La Enramada, se presentaron valores que lleva a clasificar las aguas como fuertemente contaminadas; mientras que los sitios de Cascalojoche y La Conquista se clasifican como aguas contaminadas.

El aumento de la DQO en los sitios El Gigante y La Conquista y La Francis se debió a que las precipitaciones horas antes del muestreo, provocaron el arrastre de residuos de las áreas aledañas a los sitios de muestreo, por lo que se aumento la cantidad de oxígeno requerido para oxidar esos materiales.

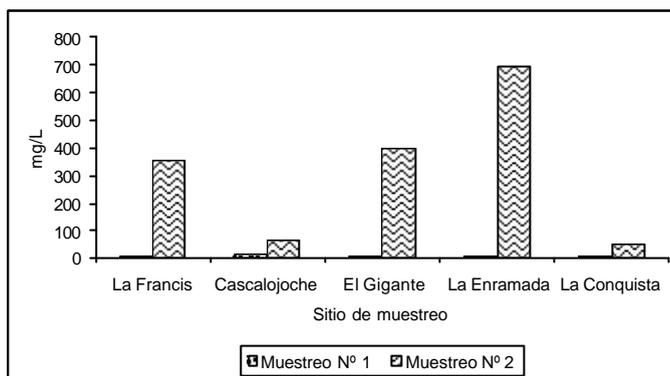


Figura 31 Valores obtenidos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en los muestreos de Septiembre y Noviembre del 2006 en el municipio La Conquista, Carazo.

5.2.5.2. Análisis bacteriológico

a. Coliformes totales: en todos los sitios de muestreo se encontraron bacterias del grupo coliformes totales, con valores superiores a los 1600 NMP/100ml (número más probable), superando los valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1994), Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la Comunidad Económica Europea (CEE), que establecen que las aguas utilizadas para baño no deben exceder los 1000NMP/100ml. Además, estos valores indican que estas aguas no son aptas para consumo humano, ya que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud el valor máximo admisible para consumo humano es de 5 NMP/100 ml (OMS, 2002).

El alto valor de coniformes totales, puede deberse a la presencia de animales; tales como perros, cerdos, aves de corral y ganado en las partes aledañas a la rivera de los ríos, además del libre acceso en los abrevaderos; Chará (2003), menciona que en

estudios realizados en microcuencas de zonas ganaderas del trópico Colombiano, se registraron niveles mayores a 40,000 NMP/100ml de coliformes totales. Además de la ganadería, también puede ser influenciado por la descomposición del material vegetal que podría brindarle las condiciones favorables para el desarrollo de organismos patógenos, en conjunto con la presencia de material fecal proveniente de la defecación al aire libre y la presencia de letrinas a la orilla de los ríos.

b) Coliformes fecales: En cuanto a este tipo de bacterias el resultado de laboratorio fue positivo, es decir que hay presencia de coliformes fecales. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (1987), los valores de coliformes fecales para la recreación no debe pasar de 200 NMP/100ml; mientras que en el agua para el consumo humano no debe haber presencia de estos (negativo). Por tanto, estas aguas no son aptas para consumo humano ni recreación.

Al igual que los coliformes totales la presencia de este tipo de bacterias podría deberse a que algunos ríos reciben gran cantidad de estiércol de animales (mamíferos y aves), que es arrastrado por las escorrentías superficiales desde las áreas de pastoreo, y por vertidos puntuales como corrales situados a la orilla de las fuentes de agua; y en otros casos por el aporte directo de ese fecales por animales que se bañan en los ríos y consumen el agua directamente de ellos.

5.2.5.3. Análisis biológico del agua de los ríos

a. Muestreo Septiembre 2006

El valor del BMWP/Col fue de 45 puntos, mientras que el ASPT dio un valor de 5.6, por lo que las aguas de los ríos muestreados se consideran de calidad dudosa (clase III), que se define como aguas **moderadamente contaminadas**. Sin embargo, de los cinco sitios muestreados el que presenta mayor diversidad de familias es el río Cascalojoche, pero aun así sus aguas siempre son consideradas en la clase III (ver Cuadro 31). Se



Figura 32 Especie de la familia amphipoda

encontraron especies de la familia Amphipoda de puntuación 8 según el BMWP (ver Figura 32), y especies del orden Odonata de puntuación 7, que son indicadoras de **aguas de calidad aceptable**.

Cuadro 31 Familias de macroinvertebrados encontrados en los sitios de muestreo, Septiembre 2006

	Cascalojoché	Las Enramadas	La Conquista	El Gigante	La Francis	(BMWP)	Total	%
Familia								
<i>Amphipoda</i>	2	10	7	15	2	8	36	53
<i>Tenebrionidae</i>	1					5	1	1.5
<i>Neuroridae</i>	2					4	2	3
<i>Oniscidae</i>	4					2	4	5.9
<i>Velliidae</i>					25	6	25	36.8
Total	9	10	7	15	27	25	68	100
Orden								
<i>Moluscos</i>	104	19	88	62		6	273	53.7
<i>Odonata</i>	44	52	19	30	63	7	208	40.9
<i>Ephemeroptera</i>					27	7	27	5.3
Total	148	71	107	92	90	20	508	100
BMWP						45		
ASPT						5.6		

En los muestreos se encontraron una gran variedad de larvas desconocidas que no pudieron ser identificadas por su estado de desarrollo, y otras que fueron identificadas únicamente al nivel de orden, lo que probablemente dio lugar a que no se identificaran familias de importancia, que fueran indicativas de algún tipo de calidad de agua, reduciendo la diversidad de taxas encontradas. Otro de los factores que influyeron en la disminución del número de familias encontradas, probablemente sea la época en que se tomaron las muestras, ya que fue el período en que más se presentan precipitaciones, lo que pudo provocar el arrastre de algunas comunidades de macroinvertebrados por la escorrentía.

Además, la poca presencia de bosque ribereño en los puntos de muestreo, pudo impedir el aporte de materia orgánica, la cual sirve de alimento para los organismos bentónicos, y consecuentemente la disminución de sus poblaciones; Arcos *et al.* (2005) menciona que el aporte de materia orgánica a los sistemas pluviales por parte de la vegetación ribereña, es fuente de energía para el inicio de las cadenas tróficas en los medios acuáticos; asimismo, expresa que si no hay vegetación ribereña se reduce

considerablemente determinados grupos de macroinvertebrados y cambia la composición de las comunidades acuáticas.

De las cinco familias encontradas (ver Cuadro 31) se recolectaron 68 individuos, de los cuales 36 corresponden a la familia Amphipoda (53 % del total), seguido por la familia Vellidae (puntuación 6 según el



Figura 33 Especies de moluscos

BMWP/col) con 25 individuos (36.8 %) y la menos diversa fue Tenebrionidae con un individuo, en el sitio de muestreo río Cascalojoche. También se encontró una gran cantidad de individuos (273 individuos) del orden molusco (ver Figura 33), principalmente caracoles de agua dulce, que son organismos intolerantes a la contaminación orgánica; éstos tienen una puntuación de 6 según el BMWP/col. La presencia de los caracoles se debe principalmente a la composición del lecho de los ríos, que contienen materiales calcáreos, lo que favorece la formación de la concha de estos organismos

b. Muestreo noviembre 2006

El índice BMWP obtuvo una puntuación de 39 y el ASPT una puntuación de 5.6, los cuales indican aguas de calidad dudosa (clase III), definidas como aguas moderadamente contaminadas.

De las cinco familias encontradas en este segundo muestreo se recolectaron 48 individuos, de los cuales 38 corresponden a la Familia Amphipoda, para un 79.2 % del total encontrados (ver Cuadro 32). En ambos muestreos y en los cinco sitios se encontraron especies de la familia Amphipoda y especies del orden Odonata, que son indicadores de aguas de buena calidad; aunque pueden tolerar la contaminación orgánica e inorgánica, son susceptibles a la contaminación por agroquímicos, por lo que se puede decir que no había presencia de contaminación por pesticidas agrícolas en los sitios muestreados.

Cuadro 32 Familias de macroinvertebrados encontrados en los sitios de muestreo, Noviembre 2006.

Familia	Cascalojoché	La Conquista	Las Enramada	El Gigante	La Francis	BMWP	Total	%
<i>Amphipoda</i>	8	3	10	13	4	8	38	79.2
<i>Gerridae</i>			2			4	2	4.2
<i>Veliidae</i>		2			1	3	3	6.2
<i>Gelastocoridae</i>	1	1		2		5	4	8.3
<i>Staphylinidae</i>					1	6	1	2.1
Total	9	6	12	15	6	26	48	100
Orden								
<i>Moluscos</i>	43	17	6	10	4	6	80	30.1
<i>Odonata</i>	27	44	67	48		7	186	69.9
Total	70	61	73	58	4	13	266	100
BMWP						39		
ASPT						5.6		

5.2.6. Evaluación de la integridad física de los sitios muestreados

De los cinco sitios evaluados, tres de ellos presentan una calidad **sub óptima**, con valores que varían de 13.2 a 13.75, mientras que los demás sitios presentan una calidad **óptima** con valores de 17.3 y 18.6, respectivamente.

En cuanto al parámetro protección por vegetación, el sitio con menor puntaje fue La Enramada con 9 puntos, para una calidad **marginal**, aunque el ancho de la zona riparia es de calidad óptima. En cuanto a la valoración de cada uno de los parámetros para los cinco sitios evaluados, los que obtuvieron la menor puntuación son: **velocidad/profundidad y deposición de sedimentos**, con valores de 12.4 y 12.2 respectivamente, para una calidad de **sub óptima** (ver Cuadro 33), afectando de manera importante el hábitat de los organismos bentónicos (macro-invertebrados). Los parámetros que alcanzaron una mayor puntuación fueron **estabilidad del canal y alteración del canal**, con valores de 18.6 y 19.6 respectivamente, para una calidad **óptima**, ya que no había evidencias de erosión y canalización en el cauce de los ríos, facilitando a los organismos acuáticos tener un hábitat menos perturbado.

Todo lo anterior refleja que existe una problemática que en vez de buscar mecanismos que mejoren la calidad y mantengan o aumenten la cantidad de las aguas, se practican actividades encaminadas a la degradación del recurso hídrico superficial; en el Cuadro 34 se presenta una síntesis de la problemática encontrada en los recursos hídricos

superficiales del municipio, vinculada directa o indirectamente con el accionar de la población y en cierta manera de la naturaleza.

Cuadro 33 Evaluación de la calidad del entorno de los sitios de muestreo

Parámetros del hábitat	Puntos de muestreo						Calificación
	Cascalajoche	La Conquista	El Gigante	La Enramadas	La Francis	Media	
Substratos disponibles para la fauna	20	15	20	5	11	14.2	Sub Óptimo
Perturbación del hábitat disponibles	18	16	17	18	9	15.6	Óptimo
Velocidad Profundidad	9	12	20	14	7	12.4	Sub Óptimo
Deposición de sedimentos	13	9	18	9	12	12.2	Sub Óptimo
Flujo del canal	15	13	19	9	14	14	Sub Óptimo
Alteración del canal	20	19	19	20	20	19.6	Óptimo
Frecuencia de hábitat	19	1	18	14	16	13.6	Sub Óptimo
Estabilidad del canal	20	20	17	16	20	18.6	Óptimo
Protección por vegetación	20	18	18	9	16	16.2	Óptimo
Ancho de la zona riparia	19	14	20	18	12.5	16.7	Óptimo
Total puntaje	173	137	186	132	137.5		
Promedio	17.3	13.7	18.6	13.2	13.75		
Calificación	Optimo	Sub Óptimo	Optimo	Sub Óptimo	Sub Óptimo		

Cuadro 34 Síntesis de las restricciones y oportunidades de los recursos hídricos superficiales, La Conquista Carazo 2006.

Problemas/restricciones	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déficit de agua para los cultivos en todo el año. ▪ Deterioro de los márgenes de los ríos y arroyos por la influencia de las actividades antrópicas. ▪ Reducción significativa del caudal base de los ríos debido a la disminución de la infiltración del agua de lluvia. ▪ Cambios de uso del suelo aumentan los caudales máximos en cada microcuenca ▪ Contaminación de las aguas de los ríos con Coliformes fecales y totales. ▪ Poca información y tecnologías sobre manejo sostenible del recurso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La capacidad de depuración de las aguas ▪ Condiciones de relieve de las microcuencas ubicadas en la parte sur del municipio que ofrecen oportunidades para el establecimiento de sistemas de embalse o cosecha de agua y micro riego, aprovechando la gravedad.

5.2.7. Estrategias y alternativas para el manejo de los recursos hídricos superficiales del municipio La Conquista

Como resultado del análisis separado de las restricciones y potencialidades de los recursos hídricos se dirigen las siguientes estrategias con el propósito de superar problemas o deficiencias que afectan directa o indirectamente el uso y manejo del agua en el municipio, y estrategias específicas que incluyen un conjunto de acciones directas con la población afectada para dar respuestas acertadas a las planteadas sobre el recurso (ver cuadro 35).

Hay que destacar que la definición y particularización de las estrategias y líneas de acción deben realizarse en cada territorio en particular. Esto significa que es necesario pasar por un proceso participativo para consensuar los problemas y necesidades en cada territorio, así como las alternativas de solución más apropiadas.

Cuadro 35 Estrategias y alternativas para el manejo de los recursos hídricos superficiales del municipio la Conquista, Carazo.

Estrategias	Alternativas y líneas de acción
Promover la diversificación productiva	Apoyar a productores que generan externalidades o beneficios ambientales (pago por servicios ambientales). Potenciar la reforestación de fincas. Incentivar el desarrollo de iniciativas que valoricen los servicios ambientales del medio rural (ecoturismo, conservación y producción del agua, reforestación, reservas privadas naturales, producción orgánica, captura de CO ₂).
Fomentar la investigación para el mejoramiento de los sistemas agrarios	Monitoreo de la calidad del agua Fortalecer el conocimiento local sobre el manejo de los recursos naturales
Promover una ganadería sostenible	Incorporar sistemas de pastura de corte para alimentación de verano. Establecimiento de bancos forrajeros para mejorar la alimentación del ganado. Incluir árboles dispersos en las áreas de pastoreo. Fomentar el uso de especies arbóreas en la alimentación del ganado en época seca. Regular el pastoreo de ganado, especialmente en áreas con mayor pendiente.
Sistematizar, validar y difundir prácticas de almacenamiento y aprovechamiento del agua.	Prácticas sencillas para la cosecha y aprovechamiento de agua de lluvia para uso doméstico, pecuario, agrícola y forestal. Perforación de pozos y sistemas de riego artesanales. Diseño y manejo de unidades de micro-riego con enfoque de manejo de microcuencas.

Estrategias	Alternativas y líneas de acción
Gestión integrada de las microcuencas del municipio	<p>Elaborar planes de manejo de las microcuencas del municipio, priorizando aquellas que presentan los mayores problemas de conflictos de uso de la tierra.</p> <p>Promover acciones de restauración de las márgenes de los ríos y arroyos.</p> <p>Crear una red para la toma de muestras de agua para el análisis y control de la calidad del agua a través del monitoreo de macroinvertebrados (camarón, libélulas, crustáceos).</p> <p>Establecer sistemas agroforestales que contribuyan a reducir el impacto causado a las fuentes de aguas por el mal manejo de los suelos.</p>

VI. CONCLUSIONES

En el municipio La Conquista se encontraron cuatro series de suelos y cinco tierras misceláneas, en las cuales se presentan problemas tales como:

- Erosión hídrica, provocada por la disminución de la cobertura vegetal, quemas, deforestación, sobre pastoreo, además de la agricultura sin prácticas de conservación, lo que ha conllevado a pérdidas de la capa superficial y por consiguiente disminución en la productividad de los suelos.
- Evidencia de compactación, producto del sobre pastoreo y posibles prácticas de labranza para la siembra; impidiendo el desarrollo radicular de los cultivos, lo cual puede provocar disminución en la cantidad de cosecha.
- Bajo contenido de nutrientes tales como fósforo y potasio, debido a la presencia de magnesio y calcio que afectan la disponibilidad de estos elementos en el suelo, también por actividades que favorecen la pérdida de materia orgánica; por lo que es evidente que para obtener buenos rendimientos en la producción, los productores deben fertilizar los suelos en cada época de siembra.
- Los suelos ubicados en pendientes menores a 8 % presentan un buen potencial productivo, pero se necesitan prácticas de manejo que garanticen la sostenibilidad a largo plazo; sin embargo, la mayor parte de los suelos se encuentran en pendientes mayores a 8 % (69.45 % del área total del municipio), lo que los hace más vulnerables a los procesos erosivos y por consiguiente poseen limitaciones en cuanto al uso agrícola de los mismos.
- El uso actual de los suelos en la mayoría de las fases de series de suelos no coincide con la aptitud de estos, permitiendo que los procesos de degradación aumenten su intensidad; al seguirlos utilizando inadecuadamente se podría llegar a perder la capa superficial de los mismos en un tiempo relativamente corto.
- Los suelos de la serie Buena Vista, por pérdidas del epipedon molico ya no fueron clasificados como molisoles y pasaron al orden alfisol; mientras tanto el perfil estudiado en los suelos Santa Teresa aun mantiene el epipedon molico sin embargo no mantiene la saturación de bases mayor a 50 %, razón por la cual pasó de ser un molisol a un alfisol

Se presenta un déficit de agua en los suelos estudiados durante todo el año, lo que puede incidir en la economía de la población rural, debido a que su actividad principal es la agricultura y la ganadería, actividades que están estrechamente vinculadas con las reservas de agua en los suelos para aumentar los niveles de producción. Esto, acompañado con valores bajos en el caudal circulante que presentaron los ríos, lleva a indicar que en épocas secas, el nivel freático disminuye, interfiriendo en la disponibilidad (cantidad) de agua para la población.

En el municipio La Conquista se delimitaron 18 microcuencas, en las cuales el análisis morfométrico y la red de drenaje demuestra que la concentración de las aguas se ve favorecida especialmente por las pendientes medias, que permite la formación de grandes torrentes superficiales. Por otro lado, la densidad de drenaje está influenciada por una litología suave, que permite en cierta medida que el agua se infiltre y alimente el flujo sub superficial de las microcuencas.

Las microcuencas presentaron altos valores en cuanto a los caudales máximos, lo que provoca que las pérdidas de agua por escurrimiento superficial sean altas; el tipo de cobertura vegetal y la influencia de la pendiente media, favorecen la velocidad de esorrentía y disminuye la infiltración del agua en el suelo, y con ello la disponibilidad de agua en los mantos acuíferos que alimentan los ríos en épocas secas se ve reducida.

Los valores obtenidos en el análisis de los parámetros físico-químico de las aguas de los ríos considerados en el estudio, de acuerdo con las normas CAPRE son aptas para una gran diversidad de usos. No obstante, los valores de DQO en el segundo muestreo determinan aguas fuertemente contaminadas, debido probablemente a la deposición de sedimentos arrastrados por lluvias, proveniente de las partes altas de los sitios de muestreo.

El análisis bacteriológico determinó aguas de muy mala calidad para consumo humano y recreación, ya que en los cinco sitios muestreados se encontraron más de 1600 NMP/100ml de coliformes totales y positivo el análisis de coliformes fecales;

sobrepasando los estándares propuestos por CAPRE, por lo que no se pueden usar para consumo humano y restringido para la recreación.

En cuanto a la calidad biológica de las aguas, los sitios muestreados presentaron poca diversidad taxonómica de macroinvertebrados; sin embargo, se encontró una cantidad considerable de individuos, dominados por el orden molusco y odonata y de la familia amphipoda. La puntuación del índice BMWP y el ASTP en ambos muestreos demuestra que las aguas son de calidad **dudosa** (aguas moderadamente contaminadas).

El índice de integridad física de los sitios de muestreo demuestra que los sitios no prestan condiciones favorables para el desarrollo de la fauna acuática y particularmente de los macroinvertebrados

VII. RECOMENDACIONES

Atendiendo los resultados antes expuestos, en el municipio La Conquista se hace necesario promover un uso de la tierra de acuerdo a su aptitud, complementado con un programa de conservación y manejo de los suelos.

Brindar asistencia técnica para cambiar el manejo tradicional de manejo de suelos, a partir de la información brindada del estado de este recurso.

Identificar y validar en parcelas de productores buenas prácticas de manejo de suelos, con el objetivo que en un futuro puedan difundirse a los demás productores de la zona.

Fomentar una producción pecuaria sostenible, que implique la implementación de sistemas silvopastoriles, establecimiento de bancos forrajeros y control del pastoreo del ganado de acuerdo a la capacidad del suelo.

Reforestar y manejar la regeneración natural, principalmente en áreas que no están siendo utilizadas de acuerdo a su aptitud.

Fomentar reservas naturales y el ecoturismo, como una forma de conservación y de generar ingresos económicos a las comunidades.

Promover desarrollo de una capa arable que infiltre y retenga más agua de lluvia, estableciendo prácticas de conservación de suelos y agua, y plantaciones forestales que ayuden a la retención e infiltración del agua.

Elaborar planes de manejo de las microcuencas priorizando las que tienen mayores conflictos de uso.

Implementar prácticas sencillas para cosechar más y mejores productos así como el aprovechamiento de las lluvias para uso doméstico, pecuario, agrícola y forestal.

Diseñar y manejar unidades de micro-riego con enfoque de manejo de microcuencas, para hacer un uso más eficiente del agua.

Valorizar servicios ambientales (ecoturismo, conservación y producción del agua, reforestación, reservas privadas naturales, captura de CO₂).

Continuar el monitoreo de la calidad del agua, utilizando diferentes parámetros e indicadores; así como estudios de indicadores de salud y calidad de los suelos con enfoque de manejo de microcuencas.

VIII BIBLIOGRAFÍA

- Arcos. 2005. Efectos del ancho de banda de los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copan Honduras. CATIE. Tesis de Maestría. Turrialba, Costa Rica.
- Armitage, P.D. y G.E. Petts. 1992. Biotic score and prediction to assess the effects of water abstractions on river macroinvertebrates for conservation purposes. *Aquatic Conserv. Marine and Freshw. Ecosyst.*
- Bartram, J. y Ballance, R. 1996. *Water quality monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes.* GB. UNEP/WHO.
- Borsdorf. 2005. Espacios naturales de Latinoamérica. Disponible en el sitio Web: <http://www.lateinamerika-studien.at/content/natur/naturesp/natur-1172.html>. Consultado el 29 de Febrero de 2008.
- Bautista, F.; Delfín, H; Palacio, J.L. y Delgado, M.C. 2004. *Técnicas de Muestreo de recursos Naturales.* 1ª edición. México.
- Campos, I. 2000. *Saneamiento Ambiental.* 1ra Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- CAPRE. (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América Panamá y República Dominicana). 1994. "Normas de calidad del agua para consumo humano". 1ra Edición revisada. San José, Costa Rica.
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua. 1971. Estudio de Suelos de la Región del Pacífico de Nicaragua. Parte 1. Managua.
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales. 1971. Estudio de Suelos de la Región del Pacífico de Nicaragua. Parte 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Managua, Nicaragua.
- CEPIS-OPS. 2000. Evaluación de los servicios de agua y saneamiento en las Américas. Informe Analítico Nicaragua. Disponible en el sitio Web: www.cepis-ops.org. Consultado el 03 de Diciembre de 2007.
- Chará, J. 2003. *Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas.* 1ra Edición. Colombia.
- Cortes, A. et al. 1985. Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en las denominaciones de unidades cartográficas. Monografía técnica SMSS, Número 15. Traducida por Luzio, W. USA.

- Cruz, O. 2003. Informe Nacional de Nicaragua sobre la situación de los mecanismos institucionales y de gobierno para hacer realidad la visión del agua para el hemisferio. MARENA. Nicaragua.
- Cuesta, M. 2001. Dinámica erosiva en los países de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jaén). Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba. España.
- De La Lanza, E.; Hernández, S.P. y Carvajal. J.L. 2000. Organismos indicadores de calidad de agua y de la contaminación (Bioindicadores). Ciudad de México, México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Comisión Nacional de Agua/Universidad Nacional Autónoma de México. 1ra Edición. México.
- FAO. 1996. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Santiago, Chile.
- Fitz Patrick, E. A. 1980. Suelos: su formación, clasificación y distribución. Editorial CECSA. México.
- FODEPAL, 2004. Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. Curso a distancia
- Foth, Henry. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA. México.
- García, O.L.A. 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 Maestría, CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Gravelius, H. 1914. Flusskunde. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I. (1985). Morphometry of Drainage Bassins. Ámsterdam, Elsevier. Rusia.
- Gregory, K. y Walling, D. 1979. Drainage basin form and processes. A geomorphological approach. London, Arnold.
- Guilarte, R. 1978. Hidrología básica. Facultad de ingeniería, UCV. Caracas-Venezuela.
- GWP (Asociación Mundial del Agua). 2000. Manejo Integrado de Recursos Hídricos. Informe preparatorio No. 4. Estocolmo, Suecia.
- Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of Geological Society of America, Nº 56. USA.
- IRENA. 1983. Ordenamiento, manejo y conservación de las cuencas hidrográficas. Managua, Nicaragua.
- Klingebiel, A. y Montgomery, P. 1965. Clasificación por capacidad de uso de las tierras. Manual # 210. Editorial Abeja S.A. México D.F.
- Lal, R. Blue, W.E.H. Valentine, C. Stewart, B.A. 1997. Methods for assessment of soil degradation. CRS press, Boca Raton, New York.

- Llamas, J. 1997. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Bilbao, Universidad del país Vasco.
- MacCarty, P. 1979. Lecciones sobre calidad del agua y control de su contaminación. Venezuela.
- MARENA. 2006. Revisión y ajustes de los instrumentos básicos para la formulación e implementación de los planes de ordenamiento territorial municipal. Managua, Nicaragua.
- Mejía, E, y Nava, C. 2007. Información sobre calidad del agua. Comisión Nacional del Agua/Subdirección General Técnica/Gerencia de Calidad del Agua. México.
- MIFIC. 2006. NTON 11 020- 07. Norma Técnica Nicaragüense para el uso y manejo del suelo. Nicaragua.
- MIFIC. 2006. Estudio de ingeniería ambiental y de diseño final para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Diriamba, Empalme la Boquita-Casares. Disponible en el sitio Web: http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2006/03/27/000160016_20060327174707/Rendered/INDEX/E136610VOL1010PAPER.txt. Consultado el 08 febrero de 2008.
- Mijares, F. J. 1987. Apuntes de hidrología de superficie. Universidad Autónoma de México.
- Ministerio de Medio Ambiente de España. 1998. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Secretaría General Técnica. España.
- MINSA, 2003. Perfil de país: Nicaragua. Disponible en el sitio Web: www.ops.org. Consultado el 12 de Octubre de 2007.
- Monsalve, G. 1999. Hidrología de la ingeniería. 2da edición. Colombia.
- Morales, J. 1998. Planificación y Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Managua, Nicaragua. Memoria de Curso Taller. UNA.
- Moreno, C. 1989. Levantamientos Agrológicos. 1ra Edición. México.
- Niborski, M. 2002. Nociones de cartografía, caracterización e interpretación de suelos. Cátedra de manejo y conservación de suelos. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.
- Norbertt, F. 1989. Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrología. Nicaragua.
- OMS, 2004. Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras. Disponible en el sitio Web: <http://www.who.int/http:www.who.int/>. Consultado el 25 de Octubre de 2007
- OPS. 1987. Guías para la calidad del agua potable. Vol. 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Publicación científica No.506. Washington. D,C.
- Perry, D.C.; Michael, C. y Beger, P.S. 2002. Aspectos de la calidad del agua: salud y estética. In American Water Works Association. Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua contaminada. 5ta Edición. McGRAW -HILL. España.

- Porta, C.J. y López, A. M. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. España.
- Porta, C.J.; López, A. M. y Roquero, D.C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, 2da Edición. España.
- PRASNIC. 2002. Manual para operadores de agua potable. Gobierno de Nicaragua, Unión Europea. Nicaragua.
- Pumain. 2004. Balances hídricos. Disponible en el sitio Web: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article300>. Consultado el 27 febrero de 2008
- Ramakrisma, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo Integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Serie investigación y educación de desarrollo sostenible. No 3. IICA, BMZ/GTZ. San José, Costa Rica.
- Roldan, G. 1998. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Editorial presencia. Medellín, Colombia.
- _____. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia, Medellín. Colombia.
- _____. 1988. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Editorial Presencial. Antioquia, Colombia.
- Romero, J. 2001. Calidad del agua. 2da Edición. Colombia.
- Salas, J. 2002. Biogeografía de Nicaragua.
- Sánchez, M; 1990. Caracterización morfométrica de la cuenca del río Ebrón. Provincia de Teruel y Rincón de Ademuz. I Reunión Nacional de Geomorfología, Teruel. Venezuela.
- Seoánez, M. 1999. Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental. 2da Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Stoker y Seager, 1981. Química ambiental: contaminación del aire y del agua. Editora Blune. España.
- Strahler, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T Ed. Handbook of applied hydrology.
- TRAGSA. 1994. Restauración hidrología forestal de cuenca y control de la erosión. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- USEPA. 1994. Water Quality criteria Sumary Concentration. U.S. Enviromental Protection Agency. Office of Science and Technology. Estados Unidos.
- UNESCO. 2003. Abastecimiento de agua y saneamiento. Disponible en el sitio Web: www.wateryear2003.org/es. Consultado el 15 Noviembre de 2007.

- UNICEF. 1998. El agua para tomar. Manual de Educación Sanitaria para la persona facilitadora. Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional. Gobierno de El Salvador. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Disponible en el sitio Web: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/pciudadada/aguaman/aguaman.html>. Consultado el 25 Octubre de 2007.
- USDA. 1990. Clave para la taxonomía de suelos (traducido por Carlos Ortiz Solorio). Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Montecillos, México
- Vieira, 2000. El Sistema de Información Geográfica (SIG) en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas. Brasil.
- Villegas, J. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Costa Rica.
- Villon, M. 2004. Hidrología. 1ra Edición. Costa Rica.
- WHO. 2002. Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply. Disponible en el sitio Web: www.who.org. Consultado el 03 Diciembre de 2007.
- Wooding, G. 1967. Los suelos: su origen, constitución y clasificación. Editora Omega. Barcelona, España.
- Zúñiga de Cardozo & M. de Hernández. 1997. Indicadores ambientales de la calidad del agua en la cuenca del río Cauca. En: Seminario "Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua". Universidad del Valle. Colombia.

VIII ANEXOS

Anexo I. Descripción de perfiles de las series de suelos más representativas del municipio La Conquista

Descripción del Perfil representativo de la serie San Rafael, Fase SRe

El perfil se estudió en una calicata ubicada geográficamente entre las coordenadas (UTM) 586892/1293612, en una ladera convexa ligeramente inclinada, terreno colinado, en una pendiente de 25 %, con una elevación de 203 msnm. Sin perceptibilidad de erosión, suelos bien drenados, escurrimiento superficial rápido, sin evidencias de pedregosidad, actualmente está siendo usado con barbecho y cultivos anuales.

Horizonte	Características
A 0 a 13 cm	Color 5YR 3/4, textura arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes micro y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.5), contenido medio de materia orgánica (2.96%), pobre en fósforo (1.1 ppm) y alto en potasio disponible (0.29 meq/100 gr), CIC alta (39.5 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 74.2%.
Bt ₁ 13 a 30 cm	Color 5YR 4/4, textura arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.29, pobre en materia orgánica (0.9%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.22 meq/100 gr), CIC alta (34.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 76.3%.
Bt ₂ 30 a 62 cm	Color 5YR 4/6, franco arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia firme en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y frecuentes, límite neto y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.4), pobre en materia orgánica (0.23%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.09 meq/100 gr), CIC muy alta (42.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.
C 62 a 90 cm	Color 7.5YR 5/6, textura franco arcillosa con gravas, estructura en bloques subangulares, consistencia friable en húmedo y ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes microporos y frecuente mesoporos, límite neto y ondulado.
R 90+ cm	Arenisca

Descripción del perfil representativo de la serie San Rafael, Fase SRf

El perfil siguiente se examinó en una calicata, geográficamente localizado entre las coordenadas (UTM) 587602/1292541, en el camino que conduce a La conquista-Tecomapita, con una elevación de 215 msnm. Ubicada en una ladera convexa inclinada, terreno fuertemente socavado, en una pendiente de 60 %. Este suelo no presentaba evidencias de erosión, Con drenaje rápido, buena permeabilidad y estaba siendo usado para pastos sin ningún tipo de manejo (pasto matorraloso).

Horizonte	Características
A 0 a 3 cm	Color 7.5YR 3/2, textura franco arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes micro y pocos mesoporos, límite neto y plano.
Bt 3 a 25 cm	Color 5YR 4/3, textura arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes micro y pocos mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.9), contenido medio de materia orgánica (2.25%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.24 meq/100 gr), CIC muy alta (48.6 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 67.9%.
C 25 a 47 cm	Color 7.5YR 4/4, textura arcillosa con gravas, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.9), pobre en materia orgánica (1%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.21 meq/100 gr), CIC muy alta (49.9 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.
R (47+ cm)	Arenisca

Descripción del perfil representativo de la serie santa teresa (Fase STc)

El siguiente perfil se examinó en una calicata ubicada en las coordenadas UTM 589469 y 1301838, en el camino que conduce de La Conquista a El Abra, en una planicie moderadamente ondulada y suavemente inclinada, en una pendiente de 7 %, con una elevación de 381 msnm. El suelo presentaba evidencias de erosión laminar, es permeable, bien drenado, escurrimiento moderadamente rápido y sin pedregosidad.

Horizonte	Características
A 0 a 26 cm	Color 7.5YR 2.5/2, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes micro y mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH medianamente ácido (5.9), contenido medio de materia orgánica (2.15%), pobre en fósforo (n.d.) y en potasio disponible (0.16 meq/100 gr), CIC alta (29.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 37.8%.
Bt ₁ 26 a 47 cm	Color 10YR 3/4, textura arcilloso arenosa, estructura en bloques angulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.6), pobre en materia orgánica (0.38%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.07 meq/100 gr), CIC media (24.3 meq/100 gr) y saturación de bases de 71.5%.
Btg ₁ 47 a 83 cm	Color 10YR 5/2, textura arcillosa, estructura columnar, consistencia firme en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos, límite gradual y ondulado. Con pH neutro (6.9), pobre en materia orgánica (0.03%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.17 meq/100 gr), CIC muy alta (41.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.3%.
Btg ₂ 83 a 107 cm	Color 10YR 5/3, textura arcillosa, estructura en bloques angulares, consistencia firme en húmedo, plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes microporos, límite gradual y ondulado.

C ₂ +107 cm	Color 10YR 5/2, textura arcillo-arenosa, estructura en bloques angulares, friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos.
---------------------------	--

Descripción del perfil representativo de la serie buena vista, Fase BVb

El siguiente perfil se examinó en una calicata localizada en las coordenadas UTM 588586 y 1297524, en la parte norte del casco urbano del Municipio La Conquista, sobre una planicie con pendiente de 4 %, en una elevación de 282 msnm. Este suelo no presentaba evidencias de erosión, bien drenado, escurrimiento superficial moderadamente rápido, está usado con pasto.

Horizonte	Características
A 0 a 13 cm	Color 7.5YR 2.5/2, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y frecuentes mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH medianamente ácido (5.7), contenido medio de materia orgánica (2.61%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (2.37 meq/100 gr), CIC muy alta (44.6 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 59.6%.
Bt ₁ 13 a 39 cm	Color 5YR 3/4, textura arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y frecuentes mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH medianamente ácido (6.19), contenido pobre de materia orgánica (1.19%), pobre en fósforo (n.d.) y alto en potasio disponible (0.68 meq/100 gr), CIC muy alta (41.9 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 44.5%.
Bt ₂ 39 a 60 cm	Color 5YR 4/6, textura arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia ligeramente firme en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y frecuente mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.7), contenido pobre de materia orgánica (0.68%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.23 meq/100 gr), CIC muy alta (44.2 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 60.2%.
Bt ₃ 60 a 72 cm	Color 10YR 5/6, textura franco arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo, ligeramente plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y mesoporos, límite neto y ondulado.
C 72 a 97 cm	Color 10YR 4/6, textura franca, estructura masiva, consistencia ligeramente plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y mesoporos, límite neto y ondulado.
R (97+)	Toba

Descripción del perfil representativo de la serie buena vista (Fase BVd)

El siguiente perfil se examinó en una calicata localizada en las coordenadas UTM 590182 y 1298825, en la comunidad La Caridad, sobre una ladera convexa, en pendiente de 12 % y elevación de 255 msnm. Este suelo la erosión no era perceptible, bien drenado, escurrimiento superficial rápido, el uso actual es pasto con reforestación.

Horizonte	Características
A 0 a 10 cm	Color 7.5YR 2.5/2, textura arcillosa, estructura en bloques sub-angulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes micro poros y pocos mesoporos, límite neto y ondulado. Con pH medianamente ácido (6.1), contenido alto de materia orgánica (4.01%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.23 meq/100 gr), CIC muy alta (47.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 60.6%.
Bt ₁ 10 a 37 cm	Color 7.5YR 3/4, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos macroporos, límite gradual y difuso. Con pH ligeramente ácido (6.4), contenido pobre de materia orgánica (1.34%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.26 meq/100 gr), CIC muy alta (41.6 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 61.3%.
Bt ₂ 37 a 71 cm	Color 2.5YR 2.5/4, textura arcillosa, estructura en bloques angulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.8), contenido pobre de materia orgánica (0.63%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.26 meq/100 gr), CIC muy alta (40.4 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 66%.
C 71 a 98 cm	Color 7.5YR 4/6, textura franca, estructura masiva, consistencia ligeramente plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y mesoporos, límite neto y ondulado.
R (98+)	Toba

Descripción del perfil representativo de las tierras escarpadas (Q)

Este perfil se examinó en una calicata localizada en las coordenadas UTM 588594/1288670, en la comunidad de San José de los Remates, sobre una ladera convexa, en una elevación de 280 msnm, en un relieve colinado, sobre una pendiente de 25%. Erosión no perceptible, bien drenado, escurrimiento superficial rápido, con un porcentaje de pedregosidad de 35%, en la zona de vida del bosque seco tropical, esta usado con cultivos anuales.

Horizonte	Características
A 0 a 24 cm	Color 10YR 3/1, textura franco arcillo arenosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo y ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes micro y mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH medianamente ácido (6), contenido medio de materia orgánica (3%), alto en fósforo (30 ppm) y pobre en potasio disponible (0.11 meq/100 gr), CIC alta (34.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 65.2%.
Bt 24 a 47 cm	Color 7.5YR 3/2, textura franco arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.7), contenido pobre de materia orgánica (0.6%), pobre en fósforo (4.37 ppm) y potasio disponible (0.05 meq/100 gr), CIC alta (29.3 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 63.4%.

Horizonte	Características
BC 47 a 64 cm	Color 7.5YR 3/3, textura franco arcillosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y pocos mesoporos, límite gradual y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.4), contenido pobre de materia orgánica (0.46%), pobre en fósforo (0.87 ppm) y medio en potasio disponible (0.28 meq/100 gr), CIC alta (28.3 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 64.2%.
C ₁ 64 a 100 cm	Color 7.5YR 3/4, textura franco arcillosa arenosa, estructura prismática, consistencia friable en húmedo y ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes microporos y mesoporos, límite gradual y ondulado.
C ₂ +100 cm	Color 10YR 5/6, textura franco arcillosa arenosa, estructura en bloques angulares, consistencia firme en húmedo y ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado, abundantes microporos.

Anexo II. Balances hídricos de los suelos más representativos del municipio La Conquista

Balance hídrico (mm) de la serie de suelo Buena Vista (b), municipio La Conquista, Carazo

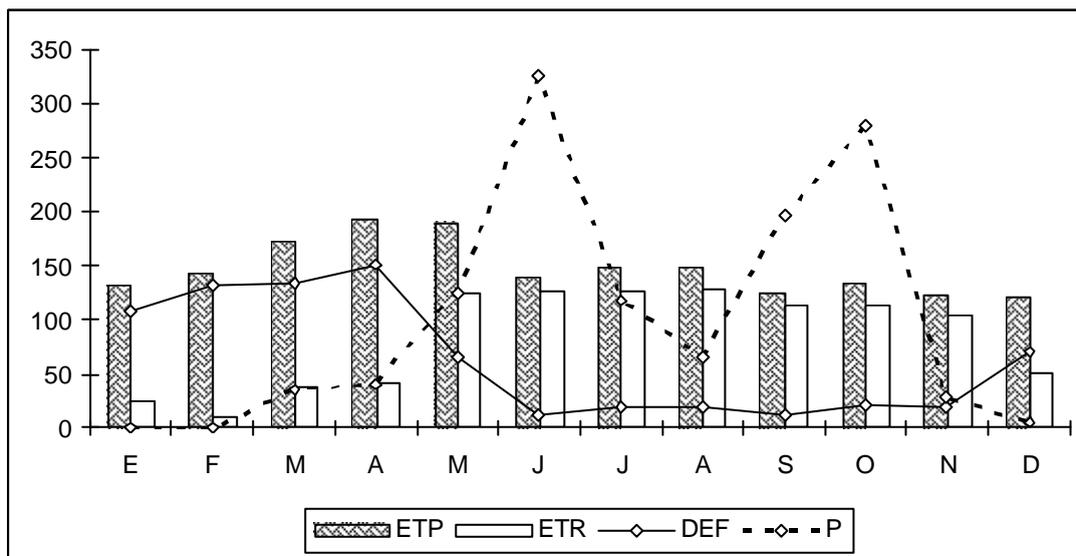
Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0.0	131.5	-131.5	-341.6	18.1	-23.5	23.5	108.0	0.0
Febrero	0.0	142.5	-142.5	-484.1	7.3	-10.7	10.7	131.7	0.0
Marzo	34.5	173.0	-138.5	-622.6	3.0	-4.3	38.8	134.2	0.0
Abril	40.3	193.0	-152.7	-775.4	1.2	-1.9	42.2	150.9	0.0
Mayo	124.5	190.8	-66.3	-841.7	0.8	-0.4	124.9	65.9	0.0
Junio	324.5	138.8	185.8	0.0	157.7	156.9	126.7	12.1	28.8
Julio	117.2	146.9	-29.8	-29.8	130.5	-27.1	126.8	20.1	0.0
Agosto	65.2	147.2	-82.0	-111.7	77.6	-52.9	128.4	18.8	0.0
Septiembre	197.3	124.6	72.7	0.0	157.7	80.1	112.9	11.7	0.0
Octubre	280.2	132.9	147.3	0.0	157.7	0.0	111.8	21.1	147.3
Noviembre	28.6	122.7	-94.0	-94.0	86.9	-70.8	103.5	19.2	0.0
Diciembre	5.4	121.5	-116.1	-210.1	41.6	-45.3	50.7	70.9	0.0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				1000.9	764.6	176.1

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso

Balance hídrico (mm) de la serie de suelo Buena Vista (d), municipio La Conquista, Carazo

Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0.0	131.5	-131.5	-341.6	18.8	-24.0	24.0	107.4	0.0
Febrero	0.0	142.5	-142.5	-484.1	7.7	-11.1	11.1	131.4	0.0
Marzo	34.5	173.0	-138.5	-622.6	3.2	-4.5	39.0	134.0	0.0
Abril	40.3	193.0	-152.7	-775.4	1.2	-2.0	42.3	150.7	0.0
Mayo	124.5	190.8	-66.3	-841.7	0.8	-0.4	124.9	65.9	0.0
Junio	324.5	138.8	185.8	0.0	159.8	158.9	126.7	12.1	26.8
Julio	117.2	146.9	-29.8	-29.8	132.6	-27.2	126.8	20.1	0.0
Agosto	65.2	147.2	-82.0	-111.7	79.4	-53.2	128.4	18.8	0.0
Septiembre	197.3	124.6	72.7	0.0	159.8	80.4	112.9	11.7	0.0
Octubre	280.2	132.9	147.3	0.0	159.8	0.0	111.8	21.1	147.3
Noviembre	28.6	122.7	-94.0	-94.0	88.7	-71.1	103.5	19.2	0.0
Diciembre	5.4	121.5	-116.1	-210.1	42.9	-45.8	51.2	70.3	0.0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				1002.7	762.8	174.1

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso.



Períodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo Buena Vista (d)

Balance hídrico (mm) de la serie de suelo Santa Teresa ©, municipio La Conquista, Carazo

Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0.0	131.5	-131.5	-341.6	27.4	-29.3	29.3	102.2	0.0
Febrero	0.0	142.5	-142.5	-484.1	12.5	-14.9	14.9	127.6	0.0
Marzo	34.5	173.0	-138.5	-622.6	5.8	-6.7	41.2	131.8	0.0
Abril	40.3	193.0	-152.7	-775.4	2.5	-3.3	43.6	149.4	0.0
Mayo	124.5	190.8	-66.3	-841.7	1.7	-0.8	125.3	65.6	0.0
Junio	324.5	138.8	185.8	0.0	180.9	179.2	126.7	12.1	6.6
Julio	117.2	146.9	-29.8	-29.8	153.5	-27.5	126.8	20.1	0.0
Agosto	65.2	147.2	-82.0	-111.7	97.6	-55.9	128.4	18.8	0.0
Septiembre	197.3	124.6	72.7	0.0	180.9	83.4	112.9	11.7	0.0
Octubre	280.2	132.9	147.3	0.0	180.9	0.0	111.8	21.1	147.3
Noviembre	28.6	122.7	-94.0	-94.0	107.6	-73.3	103.5	19.2	0.0
Diciembre	5.4	121.5	-116.1	-210.1	56.6	-51.0	56.4	65.2	0.0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				1020.7	744.8	153.8

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso

Balance hídrico (mm) de la serie de suelo San Rafael (e), municipio La Conquista, Carazo.

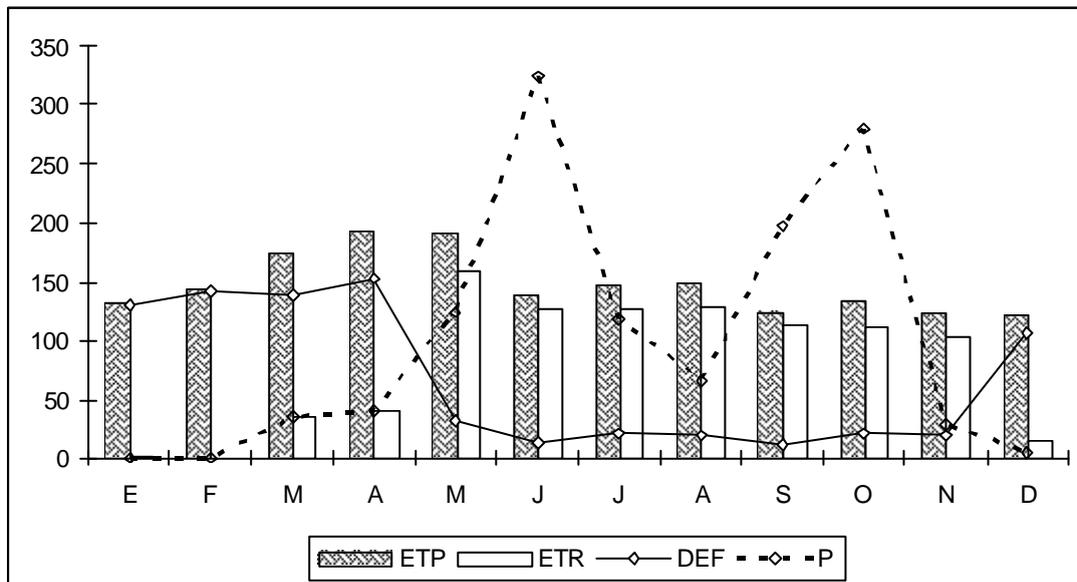
Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0.0	131.5	-131.5	-341.6	7.9	-14.9	14.9	116.6	0.0
Febrero	0.0	142.5	-142.5	-484.1	2.5	-5.4	5.4	137.1	0.0
Marzo	34.5	173.0	-138.5	-622.6	0.8	-1.7	36.2	136.8	0.0
Abril	40.3	193.0	-152.7	-775.4	0.2	-0.6	40.9	152.2	0.0
Mayo	124.5	190.8	-66.3	-841.7	0.1	-0.1	158.5	32.3	0.0
Junio	324.5	138.8	185.8	0.0	124.2	124.1	126.7	12.1	61.7
Julio	117.2	146.9	-29.8	-29.8	97.7	-26.5	126.8	20.1	0.0
Agosto	65.2	147.2	-82.0	-111.7	50.5	-47.2	128.4	18.8	0.0
Septiembre	197.3	124.6	72.7	0.0	124.2	73.7	112.9	11.7	0.0
Octubre	280.2	132.9	147.3	0.0	124.2	0.0	111.8	21.1	147.3
Noviembre	28.6	122.7	-94.0	-94.0	58.3	-65.9	103.5	19.2	0.0
Diciembre	5.4	121.5	-116.1	-210.1	22.9	-35.4	40.8	80.7	0.0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				1006.8	758.7	209.0

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso

Balance hídrico (mm) de la serie de suelo San Rafael (f), municipio La Conquista, Carazo.

Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0.0	131.5	-131.5	-341.6	0.1	-1.1	1.1	130.4	0.0
Febrero	0.0	142.5	-142.5	-484.1	0.0	-0.1	0.1	142.4	0.0
Marzo	34.5	173.0	-138.5	-622.6	0.0	0.0	34.5	138.5	0.0
Abril	40.3	193.0	-152.7	-775.4	0.0	0.0	40.3	152.7	0.0
Mayo	124.5	190.8	-66.3	-841.7	0.0	0.0	158.5	32.3	0.0
Junio	324.5	138.8	185.8	0.0	55.2	55.2	126.7	12.1	111.5
Julio	117.2	146.9	-29.8	-29.8	32.1	-23.0	126.8	20.1	0.0
Agosto	65.2	147.2	-82.0	-111.7	7.3	-24.9	128.4	18.8	0.0
Septiembre	197.3	124.6	72.7	0.0	55.2	47.9	112.9	11.7	14.9
Octubre	280.2	132.9	147.3	0.0	55.2	0.0	111.8	21.1	147.3
Noviembre	28.6	122.7	-94.0	-94.0	10.0	-45.1	103.5	19.2	0.0
Diciembre	5.4	121.5	-116.1	-210.1	1.2	-8.8	14.2	107.3	0.0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				958.8	806.6	273.7

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso



Períodos de exceso o deficiencia de agua para la serie de suelo San Rafael (f)

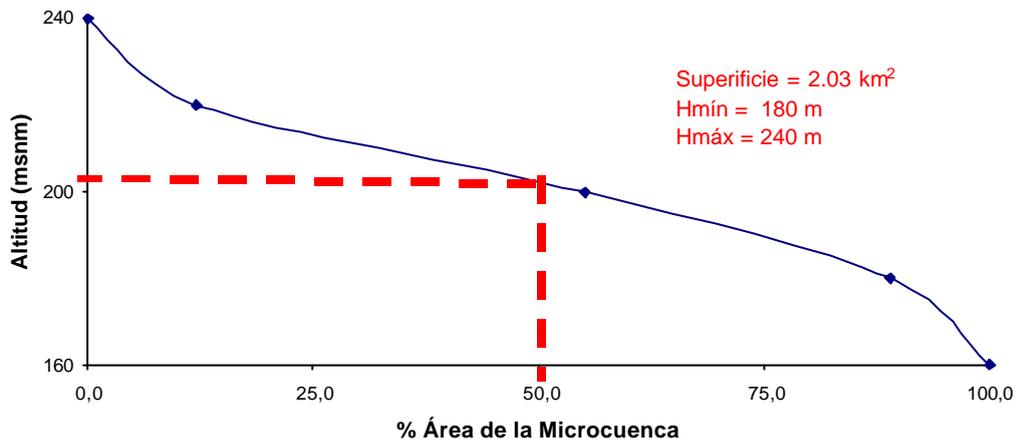
Balance hídrico (mm) de la serie de suelo Q, municipio La Conquista, Carazo.

Mes	P	ETP	P-ETP	PPA	RES	VRES	ETR	DEF	EXC
Enero	0,0	131,5	-131,5	-341,6	0,7	-3,6	3,6	127,9	0,0
Febrero	0,0	142,5	-142,5	-484,1	0,1	-0,6	0,6	141,9	0,0
Marzo	34,5	173,0	-138,5	-622,6	0,0	-0,1	34,6	138,4	0,0
Abril	40,3	193,0	-152,7	-775,4	0,0	0,0	40,3	152,7	0,0
Mayo	124,5	190,8	-66,3	-841,7	0,0	0,0	158,5	32,3	0,0
Junio	324,5	138,8	185,8	0,0	74,3	74,2	126,7	12,1	130,6
Julio	117,2	146,9	-29,8	-29,8	49,7	-24,5	126,8	20,1	0,0
Agosto	65,2	147,2	-82,0	-111,7	16,5	-33,2	128,4	18,8	0,0
Septiembre	197,3	124,6	72,7	0,0	74,3	57,8	112,9	11,7	24,8
Octubre	280,2	132,9	147,3	0,0	74,3	0,0	111,8	21,1	147,3
Noviembre	28,6	122,7	-94,0	-94,0	20,9	-53,3	103,5	19,2	0,0
Diciembre	5,4	121,5	-116,1	-210,1	4,4	-16,6	22,0	99,6	0,0
Total año	1217.7	1765.5	-547.7				969.7	795.8	302.6

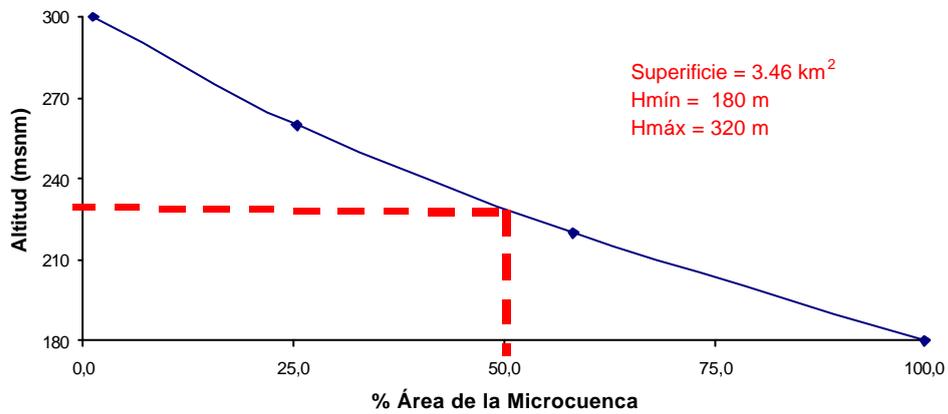
P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso

Anexo III. Curvas hipsométricas de las microcuencas con menor área en el municipio de La Conquista Carazo 2006

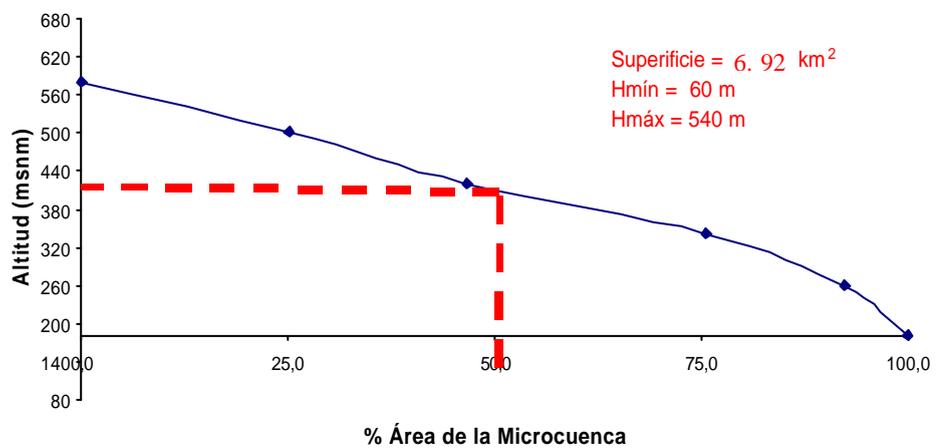
Guiscoyol



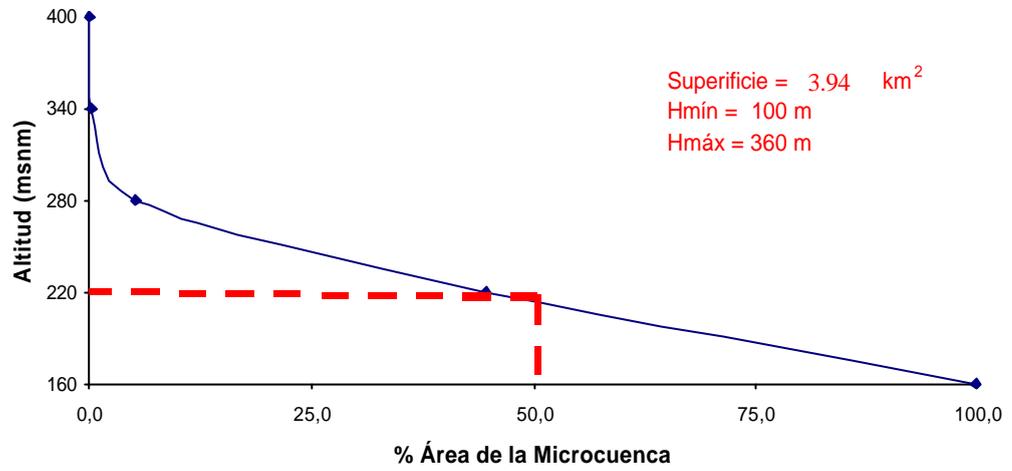
Mohosa



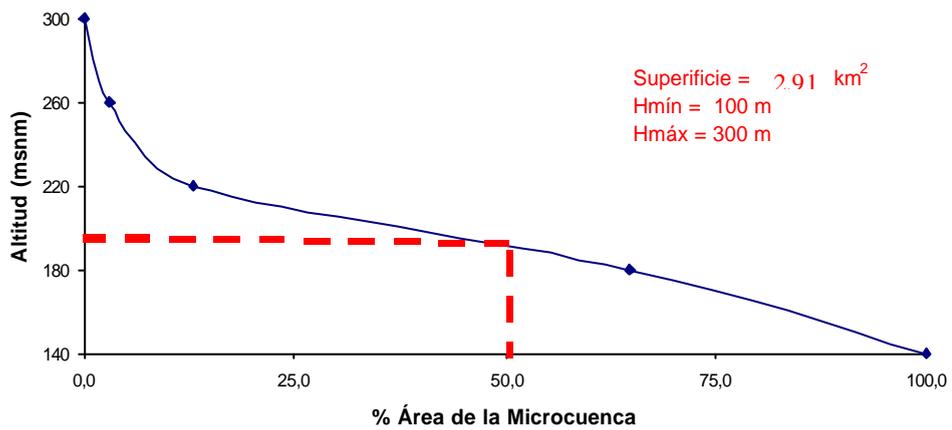
Cascalojoche



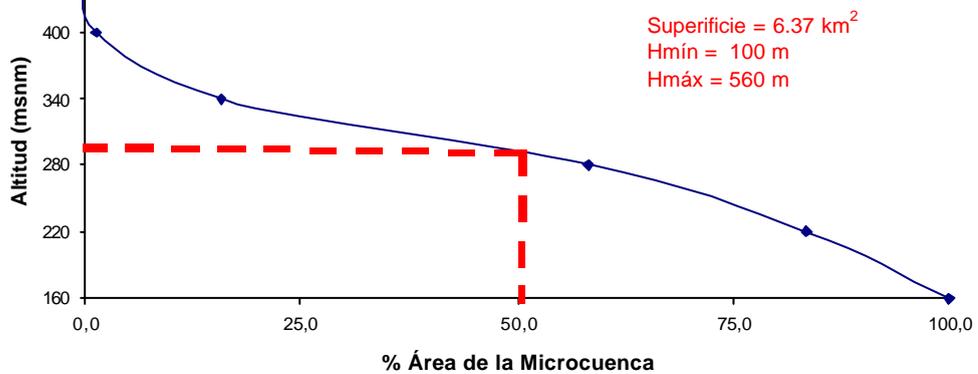
El Brasil



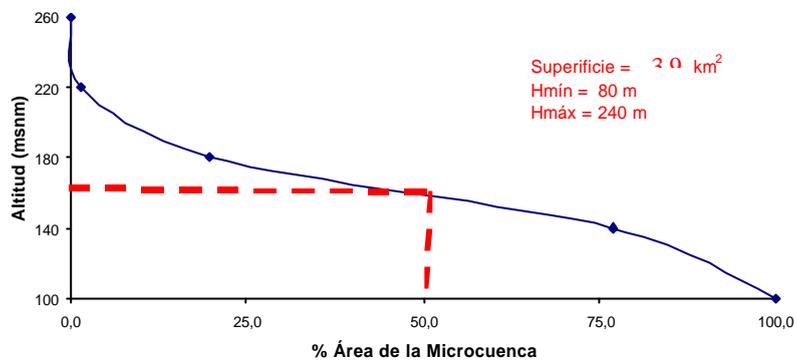
El Horno



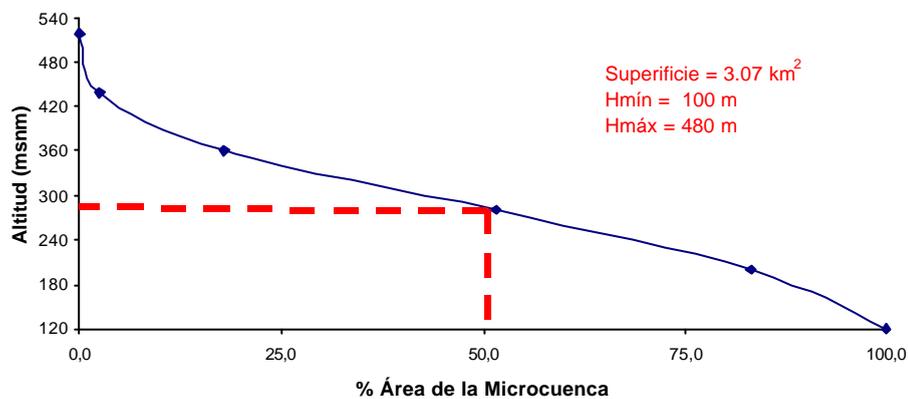
La Chonca



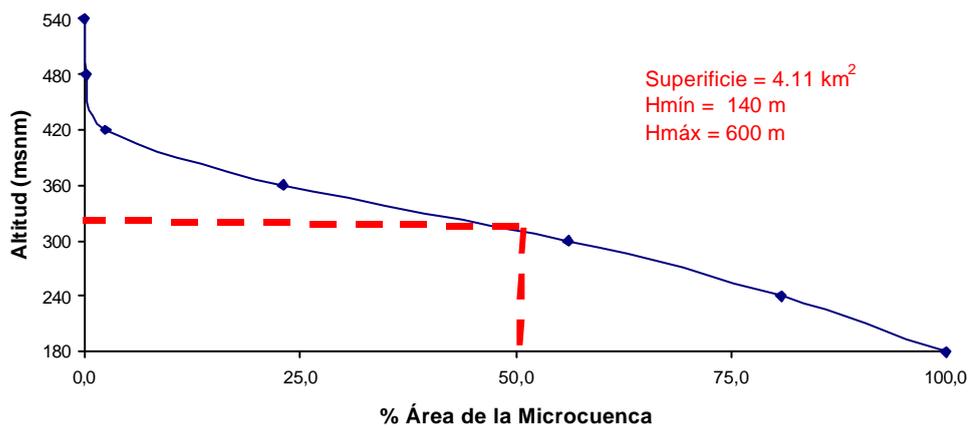
La Flor



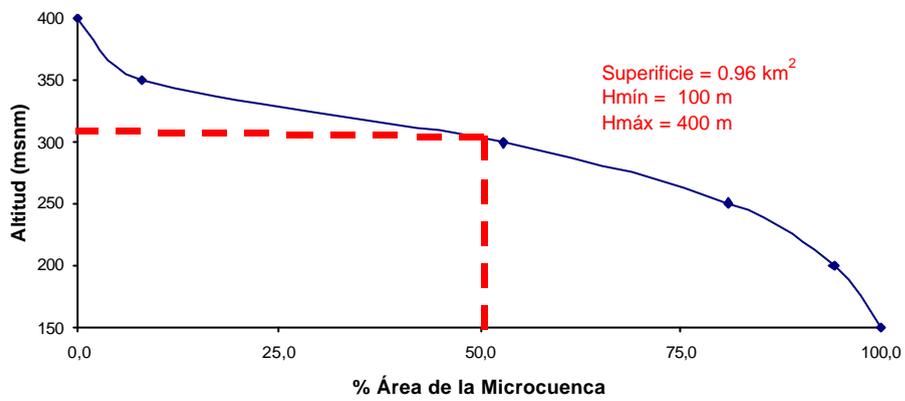
Las Cuevas



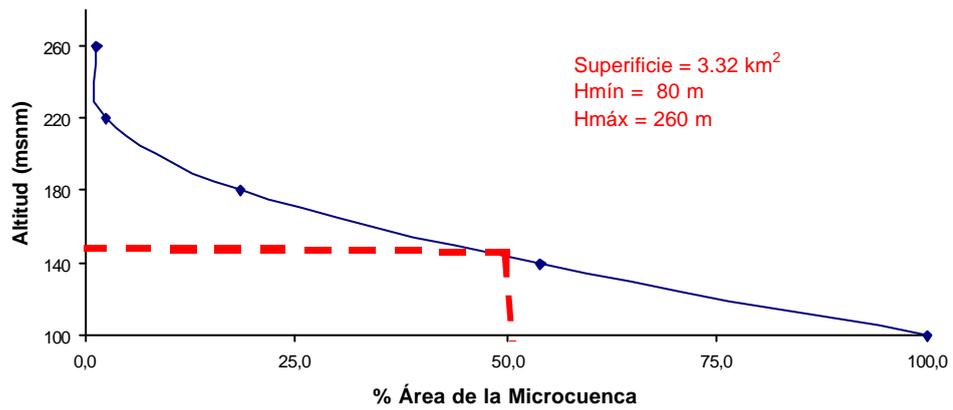
Los Gómez



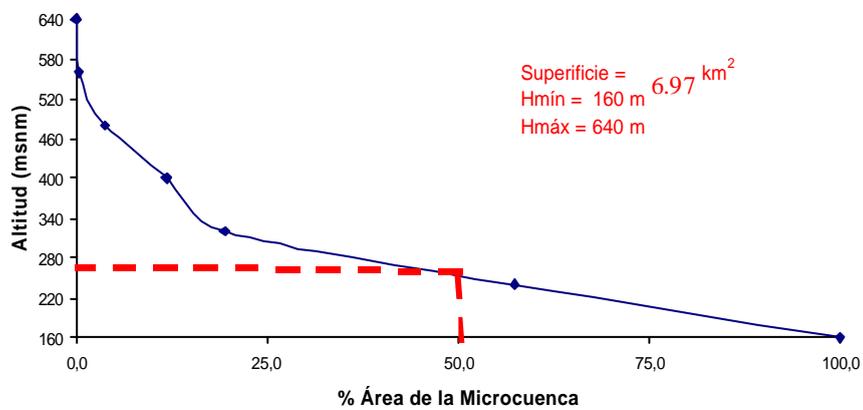
Manuel



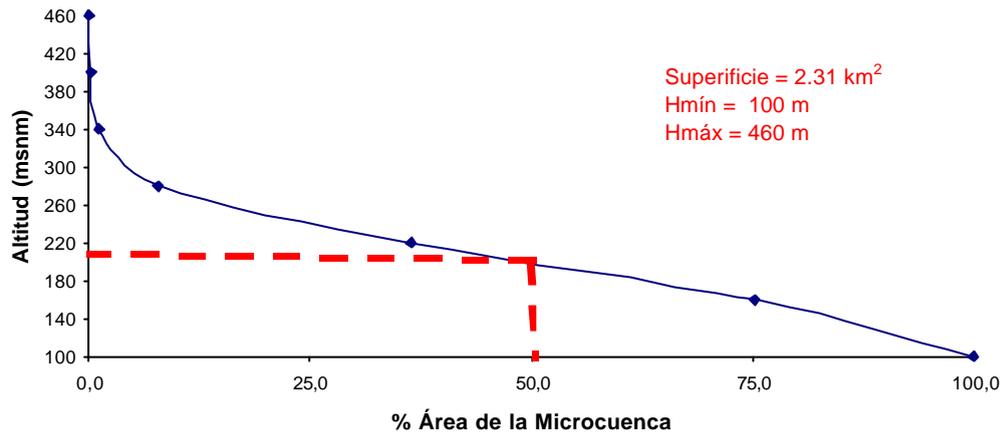
El Naranjo



La Pitilla



San Felipe



Anexo IV.

Representative physical properties of soils

Soil texture	Total available moisture <u>2/</u>							
	Infiltration <u>1/</u> and permeability cm/h p_f	Total pore space % N	Apparent spacifle gravity A_B	Field Capacity % FC	Permanent wilting % PWP	Weiht % $P_W-FC-PW$	Volume % $P_V-P^2_W A_B$	cm/m $d- R_W/(100) \times (A_B D)$
Sand	5	38	1.65	9	4	5	8	8
Arenosa	(2.5-25)	(32-42)	(1.55-1.80)	(2-6)	(2-6)	(4-6)	(6-10)	(6-10)
Sandy Loam <i>Fr-Ar</i>	2.5 (1.3-7.6)	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Loam <i>Fr</i>	1.3 (0.8-2.0)	47 (43-49)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-20)
Clay Loam <i>Fr-Ag</i>	0.8 (2.25-1.5)	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (17-22)
Silty Clay <i>Ag-LI</i>	0.25 (0.03-0.5)	51 (49-53)	1.30 (1.30-1.40)	31 (37-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	21 (18-23)
Clay <i>Ag</i>	0.05 (0.01-1.0)	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-23)	23 (20-25)	23 (20-25)

Note: Normal ranges. Are shown in parentheses

1/ Intake rates very greatly with soil structural stability, oven beyond the normal ranges shown above

2/ Readily available moisture is approximately 75 % of the total available moisture.

The information in this taken from Israsison and Hanson (1962) with the permission of the put Ishers J. Wiley and Sons, New York

Anexo V. Resultados de análisis de laboratorio de los suelos más representativos del municipio La Conquista, Carazo 2006.

Cod LAB	Descripción	RUTINA							BASES				
		Ph	MO	N	P-dis	CE	K-dis	K	Ca	Mg	Na	CIC	SB
		H2O	%		ppm	μS/Cm	meq/100 g de suelo						
Suelos sobre Cárcavas (suelos Q): Typic Haplustolls.													
936	Perf, A 0 a 24 cm.	6	3.03	0.15	31.19	47.7	1.32	0.11	17.5	3.8	0.02	34.7	65.2
940	Perf, Bt 24 a 47 cm.	6.7	0.66	0.03	4.37	13.6	0.22	0.05	15.1	3.27	0.01	29.3	63.4
941	Perf, BC 47 a 64 cm.	6.4	0.46	0.02	0.82	11.3	0.11	0.28	14.6	3.42	0.04	28.3	64.2

Cod LAB	Descripción	RUTINA					BASES					
		pH	MO	N	P-dis	K	Ca	Mg	Na	CIC	SB	
		H2O	%		ppm		meq/100g de suelo					%
Suelos Santa Teresa en pendiente de 4 a 8 % (c): Mollic Hapludalfs												
1047	perf 2, A	5.9	2.15	0.11	nd	0.16	8.24	2.82	0.03	29.7	37.8	
1048	perf 2, B+1	6.6	0.38	0.02	nd	0.07	11.2	5.77	0.34	24.3	71.5	
1049	perf 2, B+G	6.9	0.03	nd	nd	0.17	17.7	10.6	0.43	41.1	40.3	
Suelos San Rafael en pendiente de 8 a 15 % (e): Typic Haplustalfs.												
1050	perf 3, A	6.5	2.96	0.15	1.17	0.29	23.2	5.81	0.04	39.5	74.2	
1051	perf 3, B+1	6.2	0.94	0.05	nd	0.22	20.3	4.81	1.18	34.7	76.3	
1052	perf 3, B+2	6.4	0.23	0.01	nd	0.09	24.4	5.11	0.13	42.1	70.6	
Suelos San Rafael en pendiente de 15 a 30 % (f): Typic Haplustalfs.												
1053	perf 4, B+1	6.9	2.25	0.11	nd	0.24	26.9	5.75	0.13	48.6	67.9	
1054	perf 4, CR	6.9	1.04	0.05	nd	0.21	29.1	5.66	0.26	49.9	70.6	
Suelos Buena Vista en pendiente de 2 a 4 % (b): Typic Haplustalfs.												
1055	perf 5, A	5.7	2.61	0.13	nd	2.37	17.2	6.77	0.27	44.6	59.6	
1056	perf 5, B+1	6.1	1.19	0.06	nd	0.68	11.2	6.76	0.03	41.9	44.5	
1057	perf 5, B+1	6.7	0.68	0.03	nd	0.23	17	9.34	0.04	44.2	60.2	
Suelos Buena Vista en pendiente de 8 a 15 % (d): Typic Haplustalfs												
1058	perf 6, A	6.1	4.03	0.2	nd	0.23	21.3	7.39	0.03	47.7	60.6	
1059	perf 6, B+1	6.4	1.34	0.07	nd	0.26	18.2	6.61	0.47	41.6	61.3	
1060	perf 6, B+2	6.8	0.63	0.03	nd	0.26	17.1	9.27	0.06	40.4	66	

Código	Identificación	Prof. cm	Partículas			Clase textural
			Arcillas	Limo	Arena	
Suelos Santa Teresa en pendiente de 4 a 8% (c).						
1047	perf 2, HZA	0 a 26	44	18	38	Arcilloso
1048	perf 2, HZB+1	26 a 47	36	16	48	Arcillo Arenoso
1049	perf 2, HZB+G	47 a 93	46	14	40	Arcilloso
Suelos San Rafael en pendiente de 8 a 15%						
1050	perf 3, HZA	0 a 13	42	32	26	Arcilloso
1051	perf 3, HZB+1	13 a 30	46	38	26	Arcilloso
1052	perf 3, HZB+2	62 a 90	28	46	26	Franco Arcilloso
Suelos San Rafael en pendiente de 15 a 30 % (f)						
1053	perf 4, HZB+1	3 a 25	48	30	22	Arcilloso
1054	perf 4, HZCR	25 a 47	54	22	24	Arcilloso
Suelos Buena Vista en pendiente de 2 a 4% (b)						
1055	perf 5, HZA	0 a 13	50	28	22	Arcilloso
1056	perf 5, HZB+1	13 a 39	54	20	26	Arcilloso
1057	perf 5, HZB+1	39 a 60	44	24	32	Arcilloso
Suelos Buena Vista en pendiente de 8 a 15% (d)						
1058	perf 6, HZA	0 a 10	50	20	30	Arcilloso
1059	perf 6, HZB+1	10 a 37	52	20	28	Arcilloso
1060	perf 6, HZB+2	37 a 71	44	26	30	Arcilloso

Código	Identificación	Prof. cm	Partículas			Clase textural
			Arcillas	Limo	Arena	
Suelos sobre Cárcavas (suelos Q)						
939	perf 1, NZA	0 a 24	24	16	60	Franco Arcillo Arenoso
940	perf 1, Bt	24 a 47	32	24	44	Franco Arcilloso
941	perf 1, NZBC	47 a 64	32	22	46	Franco Arcilloso

Anexo VI Clases de pendientes, descripción y área que ocupan en el municipio La Conquista

Pendiente	Descripción	Área (km²)
A 0 a 2 %	Terrenos planos a casi planos; la mayor parte se encuentran en la parte norte del municipio, en las partes bajas siguiendo la rivera de los ríos.	17.03 (18 % del área total)
B 2 a 4 %	Terrenos suavemente inclinados; se presentan en pequeños áreas en diferentes partes del territorio municipal	3.57 (3.84 %)
C 4 a 8 %	Terrenos inclinados; se encuentran distribuidas en áreas que se han formado por acumulación de sedimentos	7.79 (8.38 %)
D 8 a 15%	Terrenos moderadamente inclinados; se encuentran en mayor proporción en la parte central del municipio y en pequeñas porciones en la parte norte, en sistemas de colinas y laderas.	16.53 (17.79 %)
E 15 a 30 %	Terrenos moderadamente escarpados; se encuentran principalmente en los sistemas de colinas y laderas en la parte sur del municipio	34.55 (37.18 %)
F 30 a 45 %	Terrenos escarpados ubicados en sistemas de laderas de la parte sur del municipio y en pequeñas porciones en la parte norte.	12.36 (13.3 %)
G > 45 %	<i>Terrenos fuertemente escarpados</i>	1.1 (1.18 %)