

**ZAMORANO**  
**CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTE**

**Estudio Hidrológico para la Microcuenca de  
la Quebrada Agua Amarilla, Zamorano,  
Honduras, C.A.**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura

presentado por

**Ana Gabriela Valle Laguardia**

**Honduras: Abril, 2002**

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas y jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

Ana Gabriela Valle L.

Zamorano, Honduras  
Abril, 2002



## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial por ser lo que le da sentido a mi vida, mi amigo, mi apoyo, mi equilibrio, mi todo.

A la Virgencita, por ser mi luz, y mi guía.

A mi mamita, mi papito y mi hermano, por ser mi inspiración, mi orgullo, mi razón de ser; porque es por ellos que vale mi esfuerzo.

Al profesor Agudelo, por ser mi maestro y mi ejemplo.

A Max. Chávez (QDDG), mi gran amigo y consejero en esta aventura.

## AGRADECIMIENTOS

A Diosito, a la Virgencita y a mi Angelito de la Guarda, que no descansan por estar siempre a mi lado y llevarme por el camino debido, y por que de alguna manera siempre me acogen con su infinito amor.

A mis papis, Ana y Mariano, los mejores papas del mundo, por estar por y para mí en todo momento, por todo su cariño, su apoyo, confianza y por haberme inculcado todos sus ideales y valores, quiero que sepan que es por ustedes que llegué hasta aquí. Los adoro!

A mi abuelita, por sus regaños y sus consejos, que siempre me hacen sentar cabeza.

A mi hermanito, por creer en mí y por cuidar a mi mamá todo este tiempo.

A Paúl Encalada, gracias por tu cariño, tu paciencia, tu apoyo, tus ánimos, tus consejos, por no dejarme nunca, por hacerme sonreír, por todo que me enseñaste y simplemente por ser tan especial como sos. Te quiero un mundo.

Al Profesor Nelson Agudelo, por su paciencia, dedicación, apoyo y enseñanzas que nunca olvidaré.

A Carolina Espinosa, por ser como mi hermana y por recordarme que sí hay gente buena en el mundo.

Elena Toro, Rosa A., Ana Estela, Frances, Belinda, María Interiano y Gaby, gracias por su amistad, por toda su confianza, su cariño, sus consejos, los ánimos en todo momento, y sobre todo por siempre estar ahí.

A Luchito, Luis García, Shadia, Javier A., David A., Oscar Gil, Juan Carlos Gutiérrez, Byron S., Miguel Z., Oscar D., Franklin P. y Daniel, por hacer este lugar diferente, por su sincera amistad y alegrarme los días en que más lo necesité.

A Caro V., Jenny, Cecilia (y su gorda), Ana Paola, Tania V., Natalia, Celia, Raquel, Jeanine y Angélica por ser siempre súper lindas conmigo.

A los ingenieros Manuel Sánchez, Allan Arostegui y Gilberto Mendoza por su colaboración y su paciencia, mil gracias.

A las familias, Agudelo, Matamoros, Paz, Vélez, Rodas y al Lic. Berlóz por siempre recibirme con una sonrisa.

A Nur, Vane, Beatriz, Claudia, Julia, Kathya, Gaby y Andrea, por siempre apoyarme en todas mis decisiones, por su cariño, sus consejos, su confianza y su especial amistad.

Al Ing. Ramón Paz Barahona, por su paciencia y todos los conocimientos que de buena manera me transmitió.

Al Dr. Raúl Espinal por regalarme de su tiempo y ayudarme

A Carlos D., Christian, Rodolfo, Orlando, Cheple, Barri, Javito y Oscar H. por esa manera tan especial de hacerme reír, por esos momentos increíbles y por su amistad.

Al Ing. Carlos Ardón, Günther, Pablito, Lilian, Felipe y en especial a Néstor y a Frank por aguantarme en todas mis desesperaciones, y por todo el apoyo que recibí de la mejor manera.

A Jorge Araque por sus palabras de aliento, su apoyo y ese carácter tan especial.

## **AGRADECIMINETO A PATROCINADORES**

A INSAFORP, por el financiamiento para mis estudios del programa Agrónomo.

A la Cancillería de la República de El Salvador, por haber contribuido financieramente durante el Programa de Ingeniería Agronómica.

Agradezco a mis padres, por el gran esfuerzo que hicieron para que yo pudiera alcanzar esta meta

## RESUMEN

Valle Laguardia, Ana Gabriela. 2002. Estudio Hidrológico para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, Zamorano, Honduras. Proyecto especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 76 p.

Los recursos biológicos del planeta se destruyen a un ritmo sin precedentes. Esta situación es particularmente crítica en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, sustentadores de la mayor biodiversidad del globo y albergadores también de las poblaciones más pobres y necesitadas. Dentro de estos recursos, el recurso agua experimenta una fuerte degradación en cantidad y calidad. Se pronostica que para el año 2050 prácticamente toda la humanidad tendrá problemas de escasez y/o mala calidad del agua dulce. Por tanto, el agua dulce será el recurso que limitará el desarrollo en el presente siglo. Este simple hecho, complementado con la fuerte degradación de las cuencas hidrográficas, pone de relieve la importancia de realizar estudios hidrológicos orientados al manejo de este recurso. En tal sentido, el estudio pretendió evaluar los aspectos hidrológicos de escorrentía-precipitación para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, ubicada en la Montaña El Uyuca. Debido a la falta de aforos de caudales y a la fuerte infiltración que ocurre en la cuenca se recurrió a métodos indirectos de balances hídricos. Para tal fin, se utilizaron los modelos de Holdridge y del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU (SCS). Según el Método Holdridge la escorrentía total anual en la porción más alta de la microcuenca es de 1070 mm (56% de la precipitación total anual), mientras que en la parte más baja es de 412 mm (40% de la precipitación total anual). De acuerdo con el método del SCS existe una menor escorrentía que con el método de Holdridge en esta microcuenca, debido a las propiedades hidrológicas de los suelos.

**Palabras Claves:** Balance hídrico, escorrentía, precipitación, SCS

## **NOTA DE PRENSA**

### **LA HIDROLOGIA DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS: BASE ESENCIAL PARA EL MANEJO DEL RECURSO AGUA**

Los recursos biológicos del planeta se destruyen y degradan a un ritmo sin precedentes. Tal situación es particularmente crítica en los países de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Dentro de estos recursos el agua dulce experimenta una fuerte degradación, en términos de cantidad y calidad. El agua dulce constituye un recurso finito, esencial para todos los organismos y para el proceso de desarrollo pero mal distribuido y altamente contaminado. Este será el recurso que limitará el tan deseado desarrollo económico en el presente siglo. En las regiones de más bajas latitudes del globo el manejo de cuencas hidrográficas y, por consiguiente, el del recurso agua son actividades que apenas comienzan a desarrollarse. En tal sentido, los estudios hidrológicos a nivel de cuencas deberían constituir los puntos de partida para una mejor comprensión de su comportamiento.

La hidrología de cuencas permite identificar el movimiento del agua a través del suelo, una vez que la zona de captación haya recibido precipitación de tipo vertical y horizontal o ambos. Esta información es esencial para diseñar modelos de manejo de los recursos naturales disponibles en la cuenca orientados a maximizar la producción de agua y su calidad. Con esta óptica, se desarrolló un estudio hidrológico en la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, en la región del Yeguaré, orientado a estimar el movimiento del agua en la misma. Debido al comportamiento hidrológico de la cuenca y en general, de las cuencas de la Montaña de El Uyuca (producción de agua de infiltración) se recurrió a utilizar una técnica indirecta para el estudio. Se empleó el modelo de balances hídricos, uno aplicando el modelo de Holdridge y otro utilizando la técnica del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU.

Para cuencas de montaña, cuyo proceso de producción de agua sea por infiltración, tiene forzosamente que recurrirse a métodos indirectos para el cálculo de caudales. Los balances hídricos adecuadamente elaborados, a base de una información climática y edáfica completa, podrían ser una excelente opción para conocer el comportamiento hidrológico de cuencas.

---

Licda. Sobeyda Alvarez

## CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vii
	Resumen.....	viii
	Nota de prensa.....	ix
	Contenido.....	x
	Indice de cuadros.....	xi
	Indice de figuras.....	xii
	Indice de anexos.....	xiii
<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1	EL RECURSO AGUA A ESCALA MUNDIAL.....	3
2.1.1	Usos del agua.....	3
2.1.2	Disponibilidad y distribución.....	4
2.1.3	Demanda.....	5
2.1.4	El ciclo hidrológico.....	6
2.1.4.1	Escorrentía.....	7
2.1.4.2	Precipitación.....	7
2.1.4.3	Evaporación y transpiración.....	8
2.1.4.4	Aguas subterráneas.....	8
2.1.4.5	Infiltración.....	9
2.2	LAS ZONAS DE MONTAÑA COMO FUENTES DE AGUA.....	9
2.2.1	El papel de las montañas como depósitos de agua.....	9
2.2.2	Cuenca hidrográfica.....	10
2.2.3	Daños a las zonas montañosas.....	12
2.3	EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE UNACUENCA..	13
2.3.1	Métodos directos.....	13
2.3.1.1	Molinete suspendido.....	13
2.3.1.2	Vertederos portátiles o permanentes.....	14
2.3.1.3	Medición volumétrica.....	14
2.3.1.4	Flotadores.....	14
2.3.1.5	Dilución.....	14

2.3.2	Métodos indirectos.....	14
2.3.2.1	Técnica de los balances hídricos.....	14
2.3.2.2	Método del Centro Científico Tropical.....	16
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>17</b>
	ASPECTOS POLITICOS.....	17
	ASPECTOS FISICOS.....	17
	Geomorfología.....	22
	Hidrología.....	22
	Geología y suelos.....	22
3.1	MATERIALES.....	30
3.1.1	Equipo de levantamiento.....	30
3.1.2	Materiales para el análisis del estudio.....	30
3.2	METODOS.....	30
3.2.1	Metodología de levantamiento.....	30
3.2.1.1	Levantamiento del mapa de ecosistemas.....	30
3.2.1.2	Levantamiento del mapa del uso actual de la tierra.....	31
3.2.1.3	Gradiente térmico.....	31
3.2.1.4	Determinación de los grupos de suelos hidrológicos.....	31
3.2.1.5	Recopilación de información climática.....	32
3.2.1.6	Determinación de áreas cubiertas por cada ecosistema.....	32
3.2.2	Metodología de evaluación.....	33
3.2.2.1	Método de Holdridge.....	33
3.2.2.2	Método SCS.....	37
3.2.2.3	Gradiente térmico.....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
4.1	MAPA DE ECOSISTEMAS.....	38
4.2	MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA.....	40
4.3	GRUPOS DE SUELOS HIDROLOGICOS.....	40
4.4	BALANCE HIDRICO PARA LA MICORCUENCA SEGUN EL METODO DE HOLDRIDGE.....	42
4.5	BALANCE HIDRICO PARA LA MICORCUENCA SEGUN EL METODO DEL SCS.....	47
4.6	GRADIENTE TERMICO.....	50
<b>5</b>	<b>DISCUSION</b> .....	<b>53</b>
5.1	LIMITACIONES DE REGISTROS CLIMATICOS PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
5.2	LIMITACIONES DE REGISTROS DE AFORO.....	3
5.3	COMPARACION O PARALELO PARA LOS MODELOS DE	54

	BALANCES HIDRICOS.....	
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Niveles de extensión y utilización del agua en los países de América Central.....	4
2	Descripción de las categorías del uso actual de la tierra.....	31
3	Características climáticas, superficie y porcentaje de cada ecosistema.....	38
4	Uso actual de la tierra en superficie y porcentaje.....	40
5	Superficie y porcentaje de los grupo de suelos hidrológicos existentes en la microcuenca.....	40
6	Balance hídrico para el ecosistema bh – S.....	43
7	Balance hídrico para el ecosistema bh – MBS.....	44
8	Balance para el ecosistema bmh - MBS.....	45
9	Balance hídrico para el ecosistema bs – T .....	46
10	Precipitación media mensual para la estación Uyuca.....	48
11	Precipitación media mensual para la estación Zamorano.....	49
12	Precipitación media mensual para toda la cuenca.....	50
13	Balance hídrico para suelos finos.....	51
14	Balance hídrico para suelos gruesos.....	52

**INDICE DE FIGURAS**

## Figura

1	Ubicación de la zona de estudio en la República de Honduras.....	18
2	Mapa de la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla.....	19
3	Mapa de elevación.....	20
4	Mapa de pendientes.....	21
5	Red de drenaje de la microcuenca.....	23
6	Mapa de geología de suelos.....	24
7	Mapa de grupos de suelo .....	25
8	Mapa de ecosistemas.....	39
9	Mapa de uso actual de la tierra.....	41

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo

- 1 Diagrama de zonas de Vida por L. Holdridge.....
- 2 Tabla de Balance Hídrico por Asociación Climática.....
- 3 Precipitación mensual de Uyuca
- 4 Precipitación mensual de Zamorano

## 1. INTRODUCCION

A lo largo del globo terráqueo el ser humano destruye sin medida los recursos a un ritmo acelerado, lo que agrava cada vez más la situación ambiental del planeta. Es por esta razón que no se puede dejar de lado la importancia que se le debe dar al buen manejo de los mismos. El manejo de tales recursos está directamente relacionado con factores tanto ambientales como sociales, económicos y políticos.

Si bien es cierto que se están destruyendo los recursos, las necesidades del ser humano van aumentando a pasos agigantados y no se puede omitir el hecho de que el hombre necesita estos recursos para existir.

Uno de los recursos más deteriorados hasta la fecha es el agua. Pero aunque América Latina, como región no experimenta falta de agua dulce, hay escasez en muchas partes, ya que ésta no está equitativamente repartida. El agua es un recurso esencial para la vida, aun cuando la disponibilidad varía enormemente de acuerdo con la localización geográfica (Recursos Mundiales, 1991).

Apenas un 3% del volumen de agua dulce líquida se encuentra en la superficie, que es la que está a disponibilidad de los humanos y la mayor parte de esta se encuentra almacenada en el subsuelo y/o retenida en forma de hielo. Por lo tanto, la cantidad de agua aprovechable para el ser humano es muy limitada: apenas un 0.007% de la totalidad de agua del mundo (Szöllosi-Nagy, *et al.* 1998).

Honduras cuenta con una población de 5.8 millones de habitantes. El 55% de esa población se ubica en áreas rurales. A principio de los años 90s, los bosques cubrían unos 5,68 millones de ha (50% de la superficie de Honduras), repartidos entre pinares y latifoliados (Proyecto Apoyo a la Gestión Sostenible de los Recursos Naturales, 1998).

Se estima que la tasa de deforestación alcanza 80 000 -100 000 ha/año, esencialmente en los bosques latifoliados, a causa de la extracción descontrolada de madera, la expansión de la frontera agrícola y la ganadería extensiva (Proyecto Apoyo a la Gestión Sostenible de los Recursos Naturales, 1998).

El desarrollo sostenible constituye en la actualidad un gran desafío en los planos ecológicos y económicos, tanto en Honduras como en toda la región centroamericana. El desarrollo sostenible se enfoca en una problemática compleja, la cual implica a todos los sectores de la sociedad. Presiones actuales sobre los recursos naturales renovables de Honduras, particularmente los suelos, el agua y los bosques, resultan de un conjunto de fuerzas y tendencias.

Teniendo en cuenta que las fuentes de agua de las comunidades están localizadas en zonas montañosas, la problemática del agua se vuelve más preocupante, porque “en los últimos años la población se ha duplicado y el consumo del agua se ha cuadruplicado” aumentando la presión sobre estas zonas degradadas (Meyer, D. 2001).

Aunque la disponibilidad general de agua se considera que ha permanecido relativamente constante, la disponibilidad per capita ha disminuido conforme la población y la actividad económica se ha expandido. El incremento en la demanda significa que recursos hídricos superficiales, subterráneos y costeros, sufrirán una contaminación cada vez mayor, con incrementos de conflicto de uso competitivos y entre estos usos y el ambiente. La escasez de agua ya es crítica en muchos lugares de América Central (WWWF Centroamérica, 1999).

A pesar de los múltiples esfuerzos todavía no se ha podido cubrir en su totalidad la demanda de agua es por eso que, en la actualidad, incansablemente se buscan nuevas alternativas de abastecimiento.

## **1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

- **Objetivo general**

Mejorar e incrementar conocimientos sobre los movimientos de agua en el suelo a nivel de cuencas, utilizando técnicas indirectas que servirán como punto de partida para estudios a largo plazo.

- **Objetivos específicos**

- a) Calcular balances hídricos para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla con base en los métodos de Holdridge y Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. (SCS)
- b) Estimar la escorrentía directa de la microcuenca.
- c) Desarrollar un modelo de gradiente térmico para el lado barlovento de la Montaña de El Uyuca.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 RECURSOS HIDRICOS A ESCALA MUNDIAL**

Los recursos acuíferos son aquellos que pueden utilizar las personas e incluyen, prácticamente, toda el agua de la tierra: ríos, lagos, mares y aguas subterráneas, humedad del suelo, hielo glacial y vapor atmosférico. Tales recursos pueden ser dulces o mineralizados.

Una característica importante de los recursos acuíferos es su variabilidad a lo largo del tiempo. Las fluctuaciones estacionales de la escorrentía de los ríos pueden ser extremas (Recursos Mundiales, 1991).

Aunque esencialmente es un recurso renovable a escala mundial, el agua dulce se extrae de algunas cuencas fluviales a tasas que se aproximan a aquellas en las que el suministro se renueva, otras veces se obtiene de algunos mantos acuíferos subterráneos a tasas que exceden la reposición natural (Recursos Mundiales, 1991)

#### **2.1.1 Usos del agua**

El agua es la vida! El agua es esencial en todos los aspectos de la vida cotidiana, como bebida básica, para producir alimentos y proteger la salud, para producir energía y para el desarrollo industrial, para la ordenación sostenible de los recursos naturales y para la conservación del ambiente. El agua tiene también valores religiosos y culturales. Lamentablemente, el agua está escaseando en muchas zonas y regiones del planeta (Linieger y Weingartner, 1998)

Cuando el agua es extraída de las fuentes para su utilización se llama uso extractivo. En este caso, el agua se emplea principalmente para la agricultura, incluyendo la irrigación, la industria y el uso doméstico. Aunque no es un uso extractivo, los volúmenes de pérdida de agua por evaporación desde reservorios son también importantes. El agua es también usada sin extraerla de su fuente, principalmente para la generación de hidroenergía, pero también para otros menesteres tales como turismo y conservación de ecosistemas. El potencial hidro-energético de América Central es realmente excepcional; sólo cerca del 7% de su capacidad ha sido utilizada (Jiménez, 1998)

En el Cuadro 1 se puede apreciar los datos más relevantes con respecto al agua dulce de la región centroamericana.

Cuadro 1. Niveles de extensión y utilización del agua en los países de América Central

PAIS	AGUA TOTAL (km <sup>2</sup> )	AGUA PER CAPITA (m <sup>3</sup> )	EXTRACCION PER CAPITA (m <sup>3</sup> )	EXTRACCION DE AGUA POR SECTOR (%)		
				Doméstico	Industrial	Agrícola
Belice	16	74.420	109	10	0	90
Guatemala	116	10.920	139	9	17	74
El Salvador	19	3.285	245	7	4	89
Honduras	63	11.215	294	4	5	91
Nicaragua	175	39.480	367	25	21	54
Costa R.	95	27.745	780	4	7	89
Panamá	144	54.730	754	12	11	77

En la segunda mitad del siglo XX las extracciones de agua aumentaron en un 4 a 8 % anual. El uso del agua continúa creciendo en la mayoría de los países pero mayormente en los países en desarrollo (Recursos Mundiales, 1991).

### 2.1.2 Disponibilidad y distribución

El agua es un recurso esencial para la vida. Aun cuando la disponibilidad de agua potable varía enormemente de acuerdo con la localización geográfica, el ciclo del agua de la tierra es un proveedor abundante. Tanto las condiciones naturales como las actividades humanas, afectan la cantidad y la calidad del agua disponible.

Por lo general, el monitoreo de la calidad y la cantidad del agua es inadecuado y las medidas de control son deficientes.

La cantidad de este recurso se está convirtiendo rápidamente en un problema en algunas áreas (Recursos Mundiales 1991).

La disponibilidad de agua dulce es uno de los grandes problemas en la actualidad que esta enfrentando la humanidad. Las áreas del mundo que sufren escasez continúan incrementándose, tanto en superficie como en número. La dificultad reside en que mientras una población en aumento exige mayor cantidad de agua, este recurso finito debe también satisfacer las necesidades de todas las otras formas de vida. El resultado podría ser una serie de desastres y confrontaciones locales y regionales que llevaran a una crisis de proporciones mundiales. En realidad, las cuestiones referidas a las aguas dulces del mundo revelan el dilema que enfrenta la humanidad.

Si bien el 70 % del planeta está cubierto de agua, el 97% de toda el agua de la tierra es agua salada y sólo el 2.5% agua dulce. Cerca del 70% de esa agua dulce constituye el hielo de los casquetes polares y gran parte del resto corresponde a la humedad del suelo o yace en acuíferos subterráneos profundos no accesibles para el uso de los humanos. En conclusión, Szöllosi-Naggy, *et al.*, 1978 sostienen que menos del 1% del agua dulce del mundo resulta directamente accesible para el uso humano

Se podría decir que sólo el agua que se renueva constantemente con la lluvia y la nieve y por consiguiente, solo esa es el agua de que se dispone para una utilización durable. (Szöllosi – Nagy1998)

Las cuencas de Honduras descargan en promedio anualmente 92813 millones de m<sup>3</sup> cúbicos de agua lluvia, ofertando aproximadamente 1524 m<sup>3</sup>/seg.

Sin embargo, el país carece de una red de captación y distribución apropiada para cubrir la creciente demanda de todo el año (SERNA, 1997).

La distribución espacial de la precipitación es muy irregular, afirma SERNA, 1997; las cuencas que presentan mayor precipitación son las que se encuentran en las áreas que van hacia la vertiente del atlántico, que cuentan con precipitaciones anuales del orden de 2700 y 2500 mm. La cuenca de menor precipitación es la del Río Choluteca en la vertiente pacífico.

### **2.1.3 Demanda**

El suministro de agua limpia y potable es fundamental para la existencia y la salud humanas. Desde 1940, las extracciones mundiales de agua dulce de todas las fuentes (es decir, el uso de agua de superficie o subterráneas) han aumentado en más del cuádruple. El 70 % del agua se utiliza para riego. La relación entre el agua de las montañas y la producción mundial de alimentos es evidente, en particular en los climas áridos y semiáridos de las regiones tropicales y subtropicales donde se encuentran la mayoría de los países en desarrollo y más de la mitad de la población mundial. Además, el agua almacenada en los lagos y embalses de las montañas tiene un valor económico adicional como fuente potencial de energía hidroeléctrica. El agua dulce de las montañas mantiene también muchos hábitat naturales, en tierras altas o bajas, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad (Price, 1998).

Muchas de las actividades de los seres humanos emplean agua en altas proporciones. A medida que la población humana ha crecido, también lo han hecho las extracciones de agua para la agricultura, la industria y el uso municipal (Recursos Mundiales, 1991).

En el caso de Honduras, estudios realizados demuestran que la demanda supera el 10% de las disponibilidades. Sin embargo, no se conoce con precisión el consumo de la industria, del riego, de consumo humano, ni las pérdidas por el mal aprovechamiento y manejo del recurso (SERNA, 1997).

Las tendencias de aprovechamiento muestran una mejoría en los servicios de distribución y posibilidades de tratamiento e incluso en la reutilización de las aguas servidas.

Por otro lado, el crecimiento de áreas bajo cultivo promueve una mayor demanda. El crecimiento de la provisión de energía hidroeléctrica proyectada en el país, pone en perspectiva el uso de un caudal aproximado de 600 m<sup>3</sup>/seg (SERNA, 1997).

### 2.1.4 El Ciclo hidrológico

En sus tres fases, el agua es uno de los elementos más familiares del mundo:

En estado líquido, se encuentra en los lagos, ríos y embalses de la superficie terrestre y ocupa los mares y océanos circundantes.

En estado gaseoso, se presenta como vapor de agua en la atmósfera.

En estado sólido, cubre las regiones polares y las montañas más altas y transforma los paisajes invernales (Szöllosi-Naggy, 1998).

Aparicio, 1997, publicó que el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora constantemente en la atmósfera bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y es transportado por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de lluvia y nieve.

Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como lagos y presas.

Szöllosi-Naggy, *et al.*, 1998, sostiene que una parte se infiltra en el suelo para convertirse en humedad y más tarde en agua subterránea. En condiciones naturales, una parte del agua subterránea gradualmente se abre paso hasta las aguas superficiales y constituye la principal fuente del caudal fluvial seguro. Las plantas incorporan parte de la humedad del suelo y del agua subterránea a sus tejidos y liberan luego una parte en la atmósfera por el proceso de transpiración.

Es de conocimiento que el ciclo hidrológico moviliza enormes cantidades de agua en el mundo entero. Parte de este movimiento es rápido: el promedio de permanencia de una gota de agua en un río es de 16 días y de ocho en la atmósfera. Pero este tiempo puede convertirse en siglos en el caso de un glaciar y en decenas de miles de años cuando se trata del agua que atraviesa lentamente un acuífero profundo. Las gotas se reciclan continuamente, acarreado con ellas materiales sedimentarios: miles de toneladas diarias en un río como el Ganges y cantidades apenas mesurables en un acuífero (Szöllosi-Naggy, 1998).

El ciclo hidrológico sirve para destacar cuatro fases básicas de interés: precipitación, evaporación y transpiración, escorrentía superficial y agua subterránea.

El movimiento del agua durante las diferentes fases del ciclo es errático tanto temporal como espacialmente, por lo que no se debe percibir como un mecanismo continuo por el cual el agua se mueve a tasas constantes.

Algunas veces la naturaleza parece trabajar demasiado para producir lluvias torrenciales que hacen crecer los ríos en exceso. En otras ocasiones, la maquinaria del ciclo parece detenerse completamente y con ella la precipitación y la escorrentía. En zonas adyacentes, las variaciones en el ciclo pueden ser bastante diferentes (Linsley, et al. 1977).

Para una mejor comprensión del ciclo hidrológico se definirán a continuación los términos referentes al tema:

**2.1.4.1 Escorrentía.** Aparicio, 1997, sostiene que escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Según López y Blanco, 1976, es la parte de la precipitación que llega o alimenta a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes de una cuenca, tiene diversas procedencias en el conjunto de la misma y afirma que esto hace que se consideren distintas formas o tipos de escorrentías.

- **Escorrentía superficial o directa:** precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie por la acción de la gravedad.
- **Escorrentía hipodérmica o subsuperficial:** es el agua de precipitación que habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve lateralmente por los horizontes superiores para reaparecer de pronto al aire libre e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje (López y Blanco, 1976).
- **Escorrentía subterránea:** es la precipitación que se infiltra hasta la capa freática, circulando a través de acuíferos hasta alcanzar la red de drenaje y su velocidad suele ser muy pequeña.

**2.1.4.2 Precipitación.** Se sabe hoy día que la evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación, y que probablemente no más del 10% de la precipitación continental se puede atribuir a la evaporación de los continentes. La localización de una región con respecto al sistema general de circulación, a la latitud y a la distancia de la fuente de humedad son las variables que tienen influencia en el clima (Linsley, *et al.*, 1977).

Se entiende por precipitaciones todas las aguas meteóricas que caen sobre la superficie de la tierra tanto en forma líquida como sólida. La precipitación puede tomar diferentes formas: lluvia, llovizna, chubasco, nevada, granizo.

La presencia de nubes es condición necesaria para que se originen precipitaciones. En general las nubes se forman por el enfriamiento del aire húmedo por debajo del punto de saturación. Así pues, la única causa de origen de precipitaciones en cantidad considerable

es la elevación de aire húmedo, de tal modo que las precipitaciones pueden ser clasificadas de acuerdo con el agente o la causa de esa elevación.

Las precipitaciones pueden clasificarse en tres tipos:

- **Ciclónicas o de frentes**

Son como grandes torbellinos que se producen en el seno de la atmósfera en las regiones denominadas de convergencia en las cuales se encuentran dos o más masas de aire.

- **Convectivas**

Son el resultado de la elevación de las masas de aire que están más calientes que las circundantes; su naturaleza es tormentosa y pueden ser totalmente de lluvia o ir acompañadas de granizo.

- **Orográficas**

Causadas por la elevación del aire sobre barreras montañosas; las masas de aire húmedo tienden a elevarse produciéndose un enfriamiento originando nubes que pueden desembocar en precipitación.

Estas precipitaciones ocurren en las laderas a barlovento.

**2.1.4.3 Evaporación y transpiración.** Es la parte del ciclo hidrológico en la cual la precipitación que llega a la superficie de la tierra retorna a la atmósfera en forma de vapor. De la precipitación que cae en dirección a la superficie de la tierra una parte se evapora antes de llegar al suelo. La precipitación captada por la vegetación se evapora eventualmente y la cantidad de agua realmente se ve por tanto disminuida (Linsley, *et al.*, 1977)

Es importante conocer que la evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera mientras que la transpiración es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas, y esta agua es tomada por las plantas, naturalmente del suelo (Aparicio, 1997).

La devolución de precipitaciones a la atmósfera puede consistir en un proceso puramente físico, como es la evaporación directa de la humedad del suelo, o bien biológico-físico como es la transpiración. En zonas con vegetación se dan conjuntamente ambos casos y al efecto combinado se le denomina evapo-transpiración (López y Blanco, 1976).

**2.1.4.4 Aguas subterráneas.** El agua del subsuelo forma una parte importante del ciclo hidrológico. La mayor parte del flujo en corrientes permanentes de agua proviene del agua subterránea, mientras que una gran parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie. Además, según Linsley, *et al.*, 1977, es necesario aclarar que

no se deben ignorar las relaciones existentes entre las aguas subterráneas y la estructura geológica del terreno.

El estado del agua subterránea se puede describir de la siguiente manera:

Las dos regiones principales están separadas por una superficie irregular llamada nivel freático o tabla de agua. La tabla de agua (en un acuífero confinado) es el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. Por encima del nivel freático está la zona vadosa en la cual los poros del suelo pueden contener aire o agua, también es llamada zona de aireación. En la zona freática por debajo de la tabla de agua, los intersticios están llenos de agua por lo cual esta zona se llama también zona de saturación. Algunas veces el agua subterránea se puede encontrar en una formación recubierta por un estrato impermeable, formando así un acuífero confinado o artesiano. Estos están generalmente a presión debido al peso de la sobrecarga de la cabeza hidrostática (Linsley, *et al.*, 1977).

**2.1.4.5 Infiltración.** Es un hecho evidente que de la precipitación que alcanza el suelo una parte se infiltra y otra moviéndose por la superficie del terreno se integra en la red hidrográfica (López y Blanco, 1976).

Según Aparicio, 1997, es el movimiento de agua a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

## **2.2 LAS ZONAS DE MONTAÑA COMO FUENTES DE AGUA**

### **2.2.1 El papel de las montañas como depósitos de agua**

Todos los grandes ríos del mundo tienen sus cabeceras en tierras montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua dulce que se acumula en las zonas montañosas. Aunque constituyen una proporción relativamente pequeña de cuencas fluviales, la mayor parte del caudal se origina en las montañas, y esta proporción depende de las estaciones. Estos «depósitos de agua» son esenciales para el sustento de la humanidad (Liniger y Weingartner, 1998).

Se calcula que la décima parte de la humanidad recibe su sustento directamente de las montañas. Pero las montañas son importantes no sólo para quienes las habitan, sino para millones de personas que viven en tierras bajas. A escala mundial, el mayor valor de las montañas puede consistir en ser fuentes de todos los grandes ríos del mundo y de muchos menores (Programa de las zonas montañosas, 1998 citado por Price, 1998).

Las montañas desempeñan un papel esencial en el ciclo del agua al captar la humedad de las masas de aire. Cuando el agua se precipita en forma de nieve, se almacena hasta que se funde en primavera y verano. Ello que es esencial para las poblaciones, los cultivos y las industrias más abajo, a menudo durante el periodo de menor pluviosidad. En las regiones

áridas y semiáridas, más del 90 % de los caudales fluviales vienen de las montañas (Price, 1998).

Según Liniger y Weingartner, 1998, hay razones de peso que impulsan a enfatizar la importancia que tienen las montañas, como por ejemplo:

- **Abundancia de las precipitaciones.** Las montañas forman barreras en la circulación de las masas de aire. Al tener que elevarse, el aire se enfría, lo que da lugar a las precipitaciones. En las regiones semiáridas y áridas, sólo las tierras altas tienen pluviosidad suficiente para producir escorrentía y recargar las capas de agua subterránea.
- **Almacenamiento y distribución del agua en las tierras bajas.** Las aguas captadas a altitudes elevadas fluyen por gravedad por la red fluvial o las faldas acuíferas subterráneas hacia las tierras bajas, donde hay una fuerte demanda de los centros urbanos, la agricultura y la industria. En las zonas húmedas del mundo, la proporción de agua generada en las montañas puede llegar hasta el 60 por ciento del total de agua dulce disponible en la cuenca, mientras que en las zonas semiáridas y áridas esta proporción suele superar el 90 %.
- **Ecosistemas frágiles.** Las montañas son ecosistemas muy frágiles. Las lluvias intensas, las fuertes pendientes y los suelos poco firmes pueden dar lugar a fuertes escorrentías de superficie, erosiones y deslizamientos de tierras. Los sedimentos producidos por la erosión contaminan en alto grado las aguas de superficie. El uso de la tierra, el desarrollo de infraestructuras, la minería y el turismo en las zonas montañosas pueden condicionar notablemente la cantidad y la calidad del agua de los ríos y los acuíferos.

### 2.2.2 Cuenca hidrográfica

Zona de superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida y que responde, según Aparicio, 1997, al estímulo que recibe del ciclo hidrológico; ambos están controlados por las características de la cuenca y su urbanización.

López y Blanco, 1976 sostienen que es la superficie limitada por el contorno a partir del cual la precipitación se dirige hacia esa sección y que si el suelo fuera impermeable el

contorno estaría definido topográficamente por la línea divisoria. También afirman que funciona como un colector que recibe la precipitación, pluvial y nival, y la transforman en escurrimientos. Esta transformación se hace con pérdidas de agua, de acuerdo con las condiciones climatológicas existentes en la cuenca y de sus características físicas.

Las cuencas hidrográficas están en constante modificación. Su grado de alteración depende de la intensidad de la erosión de los suelos debido a las lluvias, a los procesos de deglaciación, de la cobertura vegetal, de su geología y especialmente de la acción de la sociedad humana que en su afán de un "mejor acondicionamiento" no repara en destruir el ordenamiento natural que es el más armónico y permanente dentro de un ecosistema (Gordon, J. 1999).

Así, en la cuenca hidrográfica existe un ordenamiento natural el cual, si ha desaparecido o alterado, es conveniente adecuarlo o regenerarlo tratando siempre que este ordenamiento que debe ser en función de la sociedad humana no afecte la armonía de la naturaleza y dentro de este acondicionamiento es lícito desarrollar un adecuado sistema vial que facilite el ordenamiento; así mismo, un apropiado sistema de captación, almacenamiento y distribución del agua, que es el elemento vital y ordenador por excelencia (Gordon, J. 1999)

**Características de la cuenca.** López y Blanco, 1976 consideran que las características de la cuenca son las puramente geométricas en relación con su relieve topográfico; dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- **Índice de compacidad:** Es el contorno que define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente. La forma tiene influencia sobre los escurrimientos; estos a su vez serán diferentes entre una cuenca casi redonda y una estrecha y alargada de la misma superficie. También el tiempo de concentración depende de la forma.  
El índice admitido para representar dicha característica, es el coeficiente de compacidad de Gravelius, que relaciona el perímetro de la cuenca con el de un círculo que tuviese la misma superficie.
- **El relieve:** El relieve se puede definir por la curva hipsométrica de la cuenca que representa gráficamente cotas del terreno en función de las superficies correspondientes.  
A mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje afluentes al curso principal (López y Blanco, 1976).
- **La red hidrográfica:** López y Blanco, 1976 afirman que la red hidrográfica es el drenaje natural, permanente o temporal por el que fluye las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos. La densidad de drenaje esta definida como la longitud media de curso por

km<sup>2</sup>; es decir, la relación entre la suma de longitudes de cursos que se integran en la cuenca, a la superficie de dicha cuenca.

El estudio de la red hidrográfica debe completarse con el perfil longitudinal del curso principal y sus afluentes.

### 2.2.3 Daños a las zonas montañosas

Durante generaciones se ha atribuido a los bosques el papel de proveedores y protectores de los recursos hídricos. Los bosques de las montañas suelen ofrecer condiciones favorables para almacenar el exceso de agua de la lluvia, mientras que la escorrentía puede ser mayor en otros tipos de terreno y con otros usos de la tierra, como los cultivos que pueden compactar el suelo, o el pastoreo excesivo que también reduce la cubierta vegetal (Lininger y Weingartner, 1998)

Los estudios de casos indican que el uso de los recursos de las montañas produce efectos directos e indirectos.

- Los efectos directos son:

- El uso del agua de los ríos y acuíferos mediante tomas de superficie y bombeo de agua subterránea repercute sobre la cantidad de agua;
- La contaminación de la fuente por la descarga en los ríos de aguas residuales afecta a la calidad del agua.

Como estos efectos pueden comprobarse, si es preciso y hay voluntad política pueden dictarse normas para controlar tanto el uso del agua como los desagües (lo que incluye el tratamiento del agua y el uso de ciertos productos químicos).

- Los efectos indirectos son:

- El uso de la tierra que altera el ciclo y la cantidad del agua (por ejemplo, el caudal del río);
- La contaminación difusa (también llamada contaminación dispersa o zonal), que influye sobre la calidad del agua; en muchas partes del mundo es la causa principal de contaminación de ríos y aguas freáticas.

Los efectos indirectos son mucho más difíciles de identificar y cuantificar que los directos, por las complicadas interacciones de tierra, suelo y vegetación, y son por lo tanto más difíciles de combatir.

De la misma manera Ascarrunz, 1999, concluyó que los ecosistemas de las montañas se ven fuertemente afectados cada vez que el ciclo hidrológico se ve intervenido, independientemente del tipo o grado de la intervención. También sostiene que la protección de los mismos es vital para el buen funcionamiento del ciclo hidrológico y por consiguiente la producción de agua.

Además algunos de los impactos ambientales que según Carranza, et al., 1996 citado por Ascarrunz, 1999, son consecuencia de convertir los bosques o ecosistemas montañosos en áreas destinadas a otras actividades se listan a continuación:

- Aumento de la erosión
- Flujo negativo de nutrientes
- Relación cobertura-escorrentía

## 2.3 EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE UNA CUENCA

Existe un gran número de variables que inciden sobre los caudales mínimos, tanto en su estimación como en su medición, por lo cual es necesario recalcar esa importancia y presentar algunos aspectos de mayor relevancia. Blair, E., *et al.* 1983, publicaron los siguientes métodos para la medición directa de caudales

### 2.3.1 Métodos directos

La medición de caudales en ríos es una de las operaciones mas importantes en la hidrológica operativa y es la única parte del ciclo hidrológico es que se pueden hacer mediciones del volumen de agua con una precisión razonable. Todas la otras mediciones en el ciclo hidrológico son solo muestras incompletas de un todo. La medición de caudal, llamada comúnmente aforo, es necesaria no solamente para una adecuada interpretación de los gráficos de nivel de río contra tiempo, sino además porque constituye la información más perfecta que se puede obtener ya que representa lo que se desea conocer: el caudal disponible y su variación en el tiempo, sin embargo, es excepcional que estos datos por si solos sean suficientes para los fines que se requieren.

La medición de caudales se ha hecho empleando tradicionalmente alguno de los siguientes métodos:

**2.3.1.1 Molinete suspendido** (mediante un cable desde un puente o andarivel- mediante un cable desde un bote- mediante una barra de vadeo). Para la medición de caudales pequeños es de uso común el molinete PRICE tipo pigmeo

La sección transversal del río se divide en 10 a15 secciones parciales y se mide el área y la velocidad media en cada sección, tomando como velocidad media aquella registrada a seis decimos de la profundidad medida desde la superficie.

**2.3.1.2 Vertederos portátiles o permanentes** Las mediciones con molinete en cauces poco profundos y con poca velocidad, como es el caso de la medición de caudales mínimos, son usualmente poco precisas o imposibles de obtener. En estas condiciones se emplean vertederos portátiles precalibrados para la medición de caudales, tales como el vertedero V a 90 o los canales medidores tipo pershall o el palmer bowls.

**2.3.1.3 Medición volumétrica.** El método más exacto para la medición de pequeños caudales es mediante la determinación del tiempo requerido para llenar un recipiente de volumen conocido. La medición volumétrica es posible únicamente cuando todo el caudal puede concentrarse y conducirse al recipiente de medición.

**2.3.1.4 Flotadores.** Los flotadores tienen un uso muy limitado en el aforo de corrientes, uno de sus usos es cuando la velocidad de la corriente es muy baja, para la cual se seleccionan dos secciones, luego se anota el tiempo que tardan uno o varios flotadores y un tiempo de traslado entre no menos de 20 seg.

**2.3.1.5 Por dilución.** La medición del caudal por este medio depende de la determinación del grado de dilución de una solución trazadora añadida a la corriente. Esta solución es inyectada al agua del río en una sección determinada en forma de un caudal constante o de una sola vez; la solución se diluye con el agua del río y mediante la medición de la razón de inyección y la concentración del trazador en la solución inyectada en secciones.

## 2.3.2. Métodos indirectos

### 2.3.2.1 Técnica de los balances hídricos

- **Thornthwaite**

Este es considerado como un método confiable para la estimación de la evaporación de determinada cuenca. El método de Thornthwaite es un sistema de clasificación mundial basado en las relaciones existentes entre precipitación y evapo-transpiración (Strahler, 1977 citado por Lucke, 1985). En este se miden a precipitación y los caudales de una cuenca en forma regular sistemática, se puede establecer los valores totales de agua que entra a la cuenca de la atmósfera y los valores de la cantidad total de agua que sale como escorrentía superficial. La diferencia entre las entradas y las salidas en un periodo de tiempo determinado corresponde según Mora 1982; citado por Lucke 1985, a alguno de los factores que se presentan a continuación:

Cambio de almacenamiento de agua dentro de la cuenca en lagos, depresiones topográficas o acuíferos subterráneos.

- Diferencia entre flujo subterráneo que entra y el que sale se la cuenca.
- Evapotranspiración real en la cuenca

Los cambios en el comportamiento de l almacenamiento del agua se pueden determinar con datos de precipitación y caudales confiables, y cuyo periodo de registro sea estadística e hidrológicamente adecuado. Si los flujos subterráneos que entran y salen de la cuenca son relevantes podrán ser cuantificados en forma bastante precisa mediante la observación directa de los niveles freáticos o piezométricos.

El valor de la evapotranspiración real se puede obtener si se ha medido el cambio de almacenamiento, los flujos subterráneos, la precipitación total y la escorrentía superficial que sale de la cuenca. Según Lucke, 1985 la formula para determinarla es la siguiente :

$$E=P+I+/-V-O+/-S$$

Donde:

E= Evapo-transpiración real

P= Precipitación total

I= Escorrentía superficial hacia la cuenca

V= Flujo subterráneo

O= Escorrentía superficial que sale de la cuenca

S= Cambio de almacenamiento

- **Holdridge**

Introdujo algunos cambios en definiciones y calculo de los parámetros al método de Thornthwaite (Lücke, 1985). La biotemperatura media se presenta como el dato básico para calcular la evapotranspiración potencial en la cuenca; es decir el promedio mensual de temperatura que se encuentra en un rango entre 0 °C y 30 °C.

Cuando la precipitación empieza a exceder a la evapo-transpiración potencial, se puede decir que se tiene un excedente de agua, por lo que no hay limitación para el desarrollo de la vegetación. En este caso, los suelos se encuentran por lo menos a capacidad de campo y se asume que los valores de evapo-transpiración potencial y el excedente de agua se calculan como escorrentía total, exceptuando el mes de abril en el que el agua se utiliza para recargar el suelo (Lücke, 1985).

El grado de exactitud que se logra aplicando esta metodología, es suficientemente alto (90% en promedio), como para ser usado en los estudios preliminares de los aprovechamientos hidráulicos, especialmente en regiones carentes de información hidrológica completa (Rodríguez y Saborio, 1983).

Es de conocimiento general que, a pesar de que para realizar el planeamiento de los recursos hidráulicos es necesario contar con muy buena información sobre los principales elementos climáticos, difícilmente se da el caso en el que la información es suficientemente abundante y confiable para el aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos (Rodríguez y Saborio, 1983).

Con el propósito de compensar esta deficiencia Leslie Holdridge propuso un método de cálculo del escurrimiento promedio mensual en cuencas con información insuficiente, basado en los diagramas para la determinación de zonas de vida (Rodríguez y Saborio, 1983).

- **SCS**

El método del SCS fue desarrollado para satisfacer las necesidades de la conservación del suelo, agua y la prevención de inundaciones. Comprende métodos y ejemplos para estudiar la hidrológica de cuencas, para resolver problemas hipológicos específicos que surgen en la planificación de cuencas y proyectos de prevención de inundaciones, para preparar las herramientas de trabajo necesarias para la planificación o el diseño de estructura para el uso del agua, control, y depósito.

**2.3.2.2 Método del Centro Científico Tropical.** Esta técnica se utilizó inicialmente en Costa Rica en el estudio de la Cuenca del Río Arenal, ha sido validado en otros países tropicales como la Cuenca del Río Balsas, en el Ecuador.

Esta metodología permite estimar el caudal o volumen de agua que produce una cuena y predecir fluctuaciones en el caudal de acuerdo con variaciones en el uso de la tierra. El método, en términos generales funciona de la siguiente manera:

- Para la cuenca en estudio se levanta el mapa de ecosistemas con base en el Sistema Holdridge (zonas de vida)
- Cada ecosistema es cartografiado en el diagrama de clasificación de zonas de vida y se determina para el mismo su centro de gravedad. Con base en este punto o centro de gravedad se obtienen valores puntuales de biotemperatura media anual y precipitación media total anual.
- Para cada ecosistema o zona de vida se levanta el mapa de etapas serales o sucesionales. Se determina la superficie de capa etapa seral.
- En el terreno se determina el número de estratos y la altura media de la vegetación de cada estrato.
- Para cada etapa seral y número de estratos, se calcula la evapotranspiración real, utilizando los modelos matemáticos desarrollados por Holdridge. Con esta información se determina la relación evapotranspiración – escorrentía.
- Con la información precedente se calcula la relación escorrentía – evapotranspiración real y se determina la escorrentía total en m<sup>3</sup> para cada ecosistema

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### ASPECTOS POLITICOS

##### **Ubicación geográfica**

Geográficamente la cuenca esta ubicada entre los 1591000 y los 1597000 N y entre los 449000 y los 452000 E, Honduras, Centro América. (Figura 1)

##### **Tenencia y uso de la tierra**

Con base en el análisis de las fotografías aéreas y el posterior reconocimiento de campo se detecto que la mayor parte de la cuenca está cubierta por bosque de pino. La parte restante está compuesta en su mayoría por áreas de cultivo y pastos.

#### ASPECTOS FISICOS

##### **Superficie**

La Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla fue delimitada sobre la hoja cartográfica de Tegucigalpa, escala 1: 50 000, del Instituto Geográfico Nacional. La microcuenca abarca un área de 593.5 ha (Figura 2)

##### **Altitud**

De acuerdo a las hojas cartográficas las elevaciones de la microcuenca oscilan entre los 920 y los 2008 msnm (Figura 3)

##### **Relieve**

Las mayores pendientes se localizan en la parte más altas de la microcuenca, específicamente en el Núcleo de la Reserva Biológica de El Uyuca, aunque las pendientes entre 0 y 18 % son las que predominan en toda el área de la microcuenca. La parte Sur, que colinda con la Quebrada Cuevitas presenta notablemente pendientes entre 18 y 36% (Figura 4)

##### **Clima**

Según los datos encontrados por el Lic. Edgardo Zúniga, elaborados a partir de la extrapolación de isotermas e isoyetas, en la parte más baja la temperatura anual es de 24.6 C con una precipitación anual de 1042 mm. En la porción más alta la temperatura media anual oscila entre los 12 C y 18 C y la precipitación total anual es superior a los 2000 mm. El período más frío del año se extiende de noviembre a enero, mientras que la época más caliente es desde marzo a junio.









### Geomorfología

Variable	Fórmula	
Forma	$C_g = 0.28 * \text{perímetro} / (\text{área})^{(1/2)}$	1.42
Densidad de drenaje	$5959.2 / \text{área}$	1 km
Largo del cauce principal		5.2 km
Alejamamiento medio	$A = L / a^{(1/2)}$	2.14 km

### Hidrología

La Quebrada Agua Amarilla se une con la Quebrada Cuevitas en el lugar denominado El Quebracho. De ahí recorren un tramo juntas para llegar a formar parte de lo que es la Quebrada del Gallo. Cuenta con dos segmentos de primer orden en diferentes lugares, por lo que se dedujo que la microcuenca es de primer orden. (Figura 5)

### Geología y Suelos

Según el estudio realizado por José Manuel Rosales se pueden observar cuatro grupos geológicos. Desde la parte más baja hasta aproximadamente los 900 m presenta ignimbritas. De los 900 a los 1500 una mezcla de ignimbritas y basaltos. Luego se tiene el área cubierta por basalto fracturado que va desde los 1500 a los 1700 m. En la parte más alta de la microcuenca, de 1700 a 2008 m. El material parental es ceniza volcánica. (Figura 6)

De acuerdo con el mapa de suelos de Honduras hecho por Rosales, en la cuenca se encuentran las siguientes series de suelos: Milile, Salalica y Cocona. Castellanos, 1977, describe textualmente estos suelos así: (Figura 7)







### Suelos Milile:

Son suelos profundos bien drenados, desarrollados sobre cenizas volcánicas. Ocupan un relieve fuertemente ondulado o alomado, con pendientes que, por la mayor parte son inferiores a 30 %. Se presentan con frecuencia en amplias cimas montañosas, altitudes de más de 1400 m. Las temperaturas son relativamente bajas a tal altura y a menudo se forman nubes. La humedad que se condensa de esas nubes impide que el suelo se seque no es probable que haya precipitaciones notablemente superiores a las que se registran a altitudes inferiores. Los suelos Milile están asociados y limitan corrientemente con áreas de suelos Ojojona y Salalica, pero se distinguen fácilmente de estos por el mayor grosor del suelo, la falta de consolidación del material de partida y la ausencia de piedras.

#### Perfil del suelo: Franco Limoso Milile

El siguiente perfil se examinó en un corte reciente de carretera a 15 Km al Oeste de Siguatepeque. La altitud es de 1450 m. El lugar esta muy cerca de la divisoria de aguas. Las zonas adyacentes están cultivadas, principalmente con maíz.

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 0-15 cm.<br>A<br>11  | Café oscuro franco limoso (10YR 3/3 en húmedo). Estructura regular, firme y fina, friable, no plástico, no adherente. pH 6,0.   |
| 15-25 cm.<br>A<br>12 | Café amarillento oscuro (10YR 4/4 en húmedo), franco limosos a franco arcillosos. Estructura granular fina y firme; friable, ligeramente adherente y plástico. pH 5,8.  |
| 25-40 cm.<br>B<br>1  | Café amarillento (10 YR 5/4 en húmedo), franco arcilloso a franco arcilloso limoso, firme estructura en bloques finos; friable pero bastante adherente y plástico en mojado, películas de arcilla en la mayor parte de las superficies. pH 4,5. |
| 40-60 cm.<br>B<br>21 | Arcilla café amarillenta (10YR 5/6 en húmedo). Firme estructura en bloques finos; friable pero adherente y plástico en mojado. Películas de arcilla prominentes. pH 4,5.  |
| 60-90 cm.<br>B<br>22 | Similar al anterior, pero con una estructura mas firmemente desarrollada y mayores agregados (promedio 1 cm. en una cara). Películas de arcilla prominentes. pH 4,5.  |
| 90-160 cm.<br>B<br>3 | Arcilla moteada de gris cafésáceo claro (10 YR 5/8 en húmedo), moteada de rojo (2,5 YR 4/6) y pardo grisáceo (10 YR 5/2). Adherencia y plasticidad medianas. Películas de arcilla prominentes. pH 4,5.  |

**Características:**

En muchos lugares, especialmente en las partes más elevadas, el suelo superficial es más grueso y más rico en materia orgánica. A altitudes superiores a 1700 m es algo cenagoso. En muchas partes, el subsuelo es una arcilla café rojiza (25 YR 3/6 en húmedo). La roca básica observada en este perfil no se presenta con frecuencia, pero a profundidades mayores de 1.5 m puede encontrarse una arcilla roja moteada reticularmente y gris clara.

**Utilización de la tierra y prácticas de cultivo**

La mayor parte del área de suelo Milile ha sido desbrozada y utilizada para la producción de maíz y frijol o para pastos. Las prácticas agrícolas son primitivas y el cultivo es manual o con arados de madera arrastrados por bueyes. Normalmente no se utilizan abonos y los rendimientos son bajos. Estos suelos son porosos y la erosión no es muy grave. Los pastos no son mejorados pero tiene capacidad de apacentamiento moderado. Se observa pino en algunas partes, pero en general, estos suelos soportan una masa densa de frondosas y un sotobosque de malezas donde no se los ha desbrozado para el cultivo. Hay helechos y zarzamoras en los terrenos dejados sin cultivar. Estos suelos se explotan fácilmente y pueden cultivarse con mayor intensidad. Parecen estar bien adaptadas las zarzamoras y otras bayas de arbustos y cañas, por lo que se recomienda su cultivo. Estos suelos resultan aptos también para la producción de papas. Puede aumentarse la producción de vacunos para carne y para leche.

**Suelos Salalica:**

Los suelos Salalica son suelos bien drenados, relativamente profundos, formados sobre rocas máficas e ignimbritas asociadas y sobre ignimbritas con un elevado contenido de minerales máficos. Ocupan un relieve muy ondulado o colinoso y en ellos son bastante frecuentes las pendientes mayores de 25 %. Están asociados con suelos Yauyupe, Ojojona y Milile. Se distinguen de los Yauyupe por el relieve, la profundidad y el color del suelo. Los suelos Yauyupe se presentan en terrenos ondulados, son poco profundos y no tienen subsuelo rojo. Se distinguen de los suelos Ojojona, que son también poco profundos y no tienen el suelo de arcilla roja característica de los suelos Salalica, por que ocupan un terreno escarpado y se forman sobre ignimbritas claras. En cuanto a los Milile son suelos profundos formados sobre cenizas volcánicas, y cuando los suelos Salalica se mezclan con ellos puede haber una influencia de cenizas volcánicas y la diferenciación se basa en la textura densa del subsuelo de los suelos Salalica y pocas veces tienen un espesor de 1m. Además, una característica de los suelos Salalica es la presencia de piedras sobre la superficie y en su masa.

**Perfil del suelo: Franco arcilloso Salalica**

El perfil siguiente se examinó en un corte reciente de carretera a 21 km al Noreste de Tegucigalpa, en la carretera Tegucigalpa-San Pedro Sula. Resulta ideal como muestra de la serie, pero es más profundo que en la mayoría de las partes. El punto se encuentra caso al pie de una colina en la que la pendiente es de 15 %, aproximadamente. La cima de la colina es un afloramiento de basalto. La altitud es de 1200m.

0 – 20 cm	Franco arcilloso, café rojizo oscuro (5YR 3/3 en seco), friable,
A	adherente y plástico en mojado, ligeramente duro en seco. Estructura
1	medianamente migajosa. Raíces abundantes. pH, 6,0.

20 – 50 cm. B 21	Arcilla friable, café rojiza oscura (2,5YR 3/4 en seco), adherente y plástico en mojado. Estructura subangular media. Algunas películas de arcilla; agregados oscuros en la superficie. Abundantes raíces. pH, 5,5.
50 – 80 cm. B 22	Arcilla friable roja oscura (2,5YR 3/6 en seco), muy adherente y plástica en mojado y dura en seco, estructura en bloques finos, algunas películas de arcilla, agregados oscuros en la superficie. pH 5,5.
80 – 100cm. C	Arcilla con muchos fragmentos de roca y algunas intrusiones de roca dura moteada de rojo (2,5 YR 4/6 en seco) y pardo amarillenta (10 YR 5/8 en seco), la arcilla es muy adherente plástica en húmedo y dura en seco. Vetas oscuras en el suelo y muchas concreciones de 3 a 4mm de diámetro. pH 5,5.
Más de 100 cm. R	Roca basáltica.

#### Características

Las áreas de suelos Salalica que se indican en el mapa varían considerablemente en sus características y no más de 30 % de ellas poseen las características que acaban de describirse. En algunos lugares, el suelo es delgado y la superficie franco arcillosa se apoya directamente en la capa rosoca. En la mayor parte de las áreas son frecuentes las piedras y en muchos lugares hay afloramientos rocosos. En algunas partes, por ejemplo, al suroeste de Zamorano, la roca básica es una ignimbrita con un elevado contenido de minerales máficos. Hay muchas áreas de suelos Yauyupe de forma irregular que ocupan pendientes inferiores a 10%.

#### Utilización de la tierra y prácticas de explotación

La mayor parte del área de suelos Salalica utilizan para la producción de cultivos de subsistencia, como: maíz, frijol, y sorgo, por métodos de cultivos primitivos y aperos manuales o arrastradas por bueyes. Una gran parte se utiliza para pastos naturales, la mayor parte de ellos son malezas. Las áreas que no son demasiado pendientes o pedregosas pueden utilizarse para pastos naturales. Por lo general, los suelos Salalica son fértiles y si las piedras no son muy abundantes, pueden con buenas practicas de explotación, incluido el uso de abonos, resultar económicamente productivos.

#### **Suelos Cocona:**

Los suelos Cocona son suelos bien drenados, poco profundos desarrollados sobre ignimbritas de grano grueso. Ocupan un relieve escarpado o muy escarpado – la mayoría de las laderas tienen 30 a 60 % de pendiente – en las partes meridional y occidental del país. Están asociados con los suelos Ojojona a los que se parecen, pero de los que se distinguen porque la roca madre de los suelos Cocona es de grano grueso, tiene granos

visibles de cuarzo y los suelos resultantes son franco arenosos, mientras los suelos Ojojona se forman sobre rocas de grano fino, con poco o ningún grano de cuarzo visible y la textura de la superficie es franco-arenosa a franco-limosa.

Perfil de suelo: franco arenoso Cocona.

El perfil siguiente se examinó en un corte reciente de la carretera de Tegucigalpa a San Pedro Sula, 5 Km. al oeste de Zambrano. Altitud, 1400m El lugar era próximo a la cima de una colina con una pendiente del 12 %, que, sin embargo, a una distancia de menos de 50m llegaba a 50 %. EL perfil es representativo del suelo que se forma en pendientes moderadas.

0 – 4 cm. A 1	Franco-arenoso café muy oscuro (10YR 2/2 en húmedo). Contenido moderado de materia orgánica, friable, mucha grava. pH, 5,0.
4– 18cm. A 2	Arenoso-franco, café grisáceo (10YR 5/2) en húmedo, friable en húmedo, duro en seco. pH, 5,0.
18 – 40cm. C 1	Arenoso franco, café claro (7,5YR 6/4 en húmedo), friable en húmedo, duro en seco. pH 5,5.
40 – 50cm. C 2	Arenoso franco, gris claro (10YR 7/2 en húmedo), ignimbrita parcialmente meteorizada (Saprophyto). pH, 5,8.
R	Debajo hay ignimbrita dura. (En la mayor parte de los lugares no se ven los horizontes 3 y 4 pero puede haber una delgada capa – 1 a 2 cm. - de material al moteado con vetas pardo amarillentas donde rezuma agua en la parte superior de la roca dura. La ignimbrita tiene una dureza variable de un lugar a otro. En algunas partes ha sido fracturada por movimientos orogénicos)

#### Características

La mayor parte de las áreas de suelos Cocona son pedregosas y frecuentes afloramientos de roca. Más de la mitad del área presenta pendientes superiores a 40 % y son frecuentes los precipicios. Incluidas en ellas hay muchas áreas, en su mayoría pequeñas, aunque algunas de más de 1 Km. 2, de terreno casi horizontal, donde se han acumulado materiales aluviales. En esas áreas se ha formado un planisol. Cuando tienen suficiente superficie figuran en el mapa como Suelos de los Valles. Cuando las cimas son anchas, el suelo puede tener 1m de espesor y puede haberse formado un horizonte-B pardo amarillento. Como la mayor parte de estas áreas se presentan a altitudes mayores de 1200 m, es probable que haya habido alguna influencia de cenizas volcánicas y, si el área es lo bastante extensa la presencia de cenizas claras, se presentan en el mapa suelos Milile. En los lugares protegidos, como las cabeceras de los cursos de agua, la superficie es franco arenosa o franca de color pardo muy oscuro que puede llegar a 30 cm de grosor y el subsuelo es franco pardo grisáceo hasta una profundidad de 40 o más cm.

### Utilización de la tierra y prácticas de explotación

Los suelos Cocona están cubiertos normalmente de pinos (*Pinus oocarpa*) y puede utilizarse para pastos. En gran parte del área se han cortado los pinos y se hacen quemas con frecuencia con la esperanza de mejorar los pastos. Esta práctica no parece ser razonable desde el punto de vista económico y está prohibida por ley. La capacidad de apacentamiento de los pastos es muy baja y para cada animal se necesitan varias ha. Los pastos pueden utilizarse únicamente durante la estación lluviosa. En realidad se han observado muy pocos animales en estas partes quizás como consecuencia de la escasez de agua. Las quemas continuas matan las plantitas de pino, impidiendo así la regeneración del pinar pero donde no se hacen quemas, la depoblación natural es rápida. No se dispone de datos sobre el valor de crecimiento actual de los pinos comparado con el de la producción de carne. Los lugares protegidos en las cabeceras de los cursos de agua pueden utilizarse para la producción de café.”

## 3.1 MATERIALES

### 3.1.1 Equipo de levantamiento

- Vehículo 4x4
- Altimetro
- Fotografías aéreas escala 1:20000 del año 1998
- Mapas topográficos escala 1:50000
- Cámara digital
- GPS
- Scanner

### 3.1.1 Materiales para el análisis de estudio

- Calculadora
- Computadora (Programas del paquete Microsoft Office y Arc View)

## 3.2 METODOS

### 3.2.1 Metodología de levantamiento

#### 3.2.1.1 Levantamiento del mapa de ecosistemas con base en el Sistema Holdridge .

Para este fin se recorrió la cuenca desde la parte más baja hasta la parte más alta con un altímetro calibrado. Para el reconocimiento, clasificación y cartografía de ecosistemas se utilizó el diagrama de clasificación de zonas de vida.

**3.2.1.2 Levantamiento del mapa de uso actual de la tierra.** Para el levantamiento de este mapa se utilizó el siguiente criterio de clasificación:

- Bosque de pino denso
- Bosque de pino ralo
- Bosque de latifoliadas
- Pastos y/o cultivos

Cuadro 2. Descripción de las categorías del uso actual de la tierra en la microcuenca

Categoría de uso	Descripción
Bosque de pino denso	Bosque con dosel relativamente cerrado, dominado por <i>Pinus oocarpa</i> y/o <i>P. maximinoi</i> , asociado con <i>Quercus</i> spp, <i>Lyquidambar styraciflua</i> y otras latifoliadas
Bosque de pino ralo	Bosque con dosel abierto, dominado por <i>Pinus oocarpa</i> y/o <i>P. maximinoi</i> , asociado con <i>Quercus</i> spp, <i>Lyquidambar styraciflua</i> y otras latifoliadas
Bosque latifoliado	Bosque mixto en estado maduro, conformado principalmente por <i>Quercus</i> spp., Lauraceae, Podocarpus oleifolius, <i>Ilex</i> spp., Leguminosae, Moaceae y otras.
Pastos y/o cultivos	Pasturas, tierras bajo cultivo o tierras bajo barbecho

Los usos actuales de la tierra fueron delimitados sobre las fotografías aéreas y posteriormente se hizo un control terrestre.

**3.2.1.3 Gradiente térmico.** Para este cálculo se obtuvo la siguiente información:

Temperaturas medias anuales de dos sitios situados al lado barlovento en la Montaña de Uyuca. Los sitios fueron la estación de Zamorano y la estación de Uyuca. Los sitios deben estar aproximadamente en la misma latitud, en la misma región geográfica y deben tener una diferencia en altitud suficiente.

**3.2.1.4 Determinación de los grupos de suelos hidrológicos.** Para su diseño se tomó como punto de partida el mapa de uso actual de la tierra (principalmente los tipos de bosque), los mapas de geología y suelos elaborados por José Manuel Rosales en la década del '90. Con estos materiales y con base en la interpretación de las fotografías aéreas, se delimitaron estratos de suelos hidrológicos siguiendo la metodología del SCS.

Las propiedades del suelo tienen influencia en el proceso de generación de la escorrentía de la precipitación y deben ser consideradas, aunque sea indirectamente, en métodos de estimación de escorrentía. Cuando la escorrentía de lluvias individuales es la mayor

preocupación, como por ejemplo en un trabajo de prevención de inundaciones, las propiedades pueden ser representadas por un parámetro hidrológico: la tasa mínima de infiltración para un suelo sin cobertura después de precipitaciones prolongadas. La influencia que tiene ambas, superficie y horizontes de un suelo también están incluidas.

El parámetro que indica la escurrentía potencial de un suelo, es la base cualitativa de la clasificación de los suelos en cuatro grupos.

La tasa de infiltración es la tasa a la cual el agua es controlada por las condiciones de la misma, y la tasa de transmisión es en la cual el agua se mueve en el suelo y en la que es controlada por los horizontes.

De acuerdo con esta metodología las categorías de suelos hidrológicos son:

**Suelos A:** (bajo potencial de escurrentía). Suelos que presentan altos índices de infiltración aún cuando estén enteramente mojados, y consistiendo principalmente de arenas y gravas profundas, de bien a excesivamente bien drenados. Estos suelos poseen altas tasas de transmisión de agua.

**Suelos B:** Suelos con razón de infiltración moderada cuando han sido enteramente mojados y consisten principalmente de suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente drenados a bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Dichos suelos poseen moderadas tasas de transmisión de agua.

**Suelos C:** Suelos con bajas tasas de infiltración cuando han sido mojados a conciencia y que consisten principalmente de suelos con una capa que impide que el movimiento del agua baje, o suelos moderadamente finos a fina textura. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.

**Suelos D:** (Alto potencial de escurrentía). Suelos que presentan muy bajas razones de infiltración cuando han sido enteramente mojados y que consisten principalmente de suelos arcillosos con altos potenciales de hinchamiento, suelos con una tabla de agua permanente alta, suelos con arcilla compacta (claypan) o una capa de arcilla (clay) en o cerca de la superficie, y suelos poco profundos cerca de material impermeable. Estos suelos poseen tasas muy bajas de transmisión de agua.

### **3.2.1.5 Recopilación de información climática.**

Para el método de Holdridge se utilizaron datos de isoyetas e isothermas medias mensuales, de diferentes elevaciones, 1200, 1500 y 1900 msnm. Esta información fue proporcionada por el Lic. Edgardo Zúñiga. En el balance hídrico según Holdridge para la porción alta de la microcuenca (Núcleo de la Reserva Biológica), se emplearon los datos de isothermas medias mensuales y registros reales de precipitación media mensual. Para la parte más baja de la cuenca se hizo uso de los registros climáticos (temperatura y precipitación) de Zamorano.

**3.2.1.6 Determinación de las áreas cubiertas por cada ecosistema**, por cada grupo de suelos hidrológicos y por los diferentes usos de la tierra. Esta información se obtuvo digitalizando cada área en el programa Arc View.

### 3.2.2 Metodología de evaluación

La información precedente se evaluó por medio de las técnicas de los balances hídricos, con el objeto de estimar el escurrimiento de la microcuenca aplicando dos procedimientos diferentes

#### 3.2.2.1 Método de Holdridge.

Esta técnica utiliza como información primaria para el cálculo del escurrimiento, valores mensuales de temperatura y precipitación del más largo período de registro.

Se asume que la microcuenca esta localizada sobre un clima zonal o normal, en términos de bio-temperatura anual y precipitación promedio total anual, según su ubicación hemisférica.

El método o procedimiento para el cálculo del balance hídrico fue desarrollado por el Centro Científico Tropical, posiblemente en la década del '70.

Agudelo en la década del '80 publicó este procedimiento cuando se continuó con la actualización del mapa ecológico de Honduras (Departamentos de Comayagua, Cortes, Atlántida, Yoro y Francisco Morazán).

La metodología se diseñó con el propósito de publicar balances hídricos por ecosistemas en la memoria explicativa de los mapas ecológicos publicados en esa década.

El documento de Agudelo se copia textualmente, pero no se encierra entre comillas.

#### PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO EN LA ASOCIACIÓN CLIMÁTICA

**Paso #1:** En la Línea 1 de la tabla de valores (véase anexo 1) para el cálculo del balance hídrico, se colocan los promedios de un término largo de las biotemperaturas medias mensuales. Para la determinación de este parámetro se procede de la siguiente manera: Aquellos meses con temperatura media mensual del aire menor a 24 °C, tendrán una biotemperatura media mensual igual a la temperatura. Para los meses con temperatura media mensual del aire mayor de 24 °C, se deberá obtener la biotemperatura media mensual mediante el empleo de la formula empírica:

$$T_{\text{bio}} = \frac{t - 3 \times \text{grados de latitud} \times (t - 24)^2}{100}$$

Donde:

$t_{\text{bio}}$  = Biotemperatura promedia mensual

$t$  = Temperatura promedia mensual

Los promedios deben tomarse con una cifra decimal. También se entra en la última columna la biotemperatura media anual, la cual se calcula sumando las medias mensuales y dividiendo el total por 12.

**Paso #2:** Como se ha discutido antes, la evapotranspiración potencial es una función directa de la biotemperatura. La evapotranspiración potencial para cada mes y su total anual, se computa multiplicando las biotemperaturas medias de cada mes por las constantes 5,00 para los meses de 31 días 4,48 para los meses de 30 días y por 4, 56 para el mes de febrero. Cada producto se calcula al milímetro más cercano y se coloca en la columna correspondiente a su mes, en la Línea 2.

Para obtener la evapotranspiración potencial del año, se coloca en la última columna de esta fila, se suman los valores correspondientes a los doce meses.

**Paso #3:** a base de los datos de un período largo de precipitación, se obtienen los promedios mensuales de precipitación total, que se entran en forma parecida, más el total anual, en las columnas de la Línea 4.

**Paso #4:** Cuando la precipitación total anual es igual o mayor que la evapotranspiración potencial total durante el año (Líneas 4 y 2, respectivamente), la evapotranspiración real potencial (Línea 3) es igual a la evapotranspiración potencial (Línea 2) por mes y se pueden combinar las Líneas 2 y 3 como se ha hecho en algunas de las tablas presentadas en este estudio. Pero cuando la precipitación total anual es menor que la evapotranspiración potencial, es necesario hacer un ajuste para los efectos de la vegetación natural que, debido a sus adaptaciones especiales al grado de sequedad existente en tales climas, tendrán una reducida transpiración potencial. El ajuste se hace en la forma siguiente: a) se divide la precipitación total anual por la evapotranspiración potencial total anual, lo que dará un valor siempre inferior a 1.00; b) empleando este valor como una constante, se multiplica sucesivamente por los valores mensuales de evapotranspiración potencial ya entrados en la Línea 2, anotando los productos de la multiplicación en las columnas apropiadas de la Línea 3; c) el total de los valores obtenidos así, que corresponde a la evapotranspiración potencial anual, se coloca en la última columna de esta línea. Este total será siempre igual a la precipitación total anual.

**Paso #5:** se calcula el faltante de precipitación (Línea 12). Para cada mes con un total de precipitación (Línea 4) menor que su evapotranspiración real potencial (Línea 3, o líneas 2-3 combinadas), se resta el valor de precipitación del valor de evapotranspiración real potencial y se coloca la diferencia en la columna correspondiente al mes en la Línea 12. En las otras columnas se pone un cero. El total de los valores se entra en la última columna de la línea.

**Paso #6:** se calcula la humedad disponible en el suelo al fin del mes (Línea 9) y el % de agua con su uso restringido. Para el cómputo de la humedad disponible es necesario, primero, calcular el total de agua que puede ser almacenada en el suelo. Suponiendo que se trata solamente del suelo zonal para la zona de vida en cuestión, esta cantidad debe ser equivalente a la capacidad de campo del suelo, medida en milímetros de precipitación. Con base en estudios preliminares se estima que la capacidad de campo será equivalente a aproximadamente el 10 % de la precipitación total anual (este valor es tentativo). Este valor se inserta en la Línea 9, bajo uno de los meses cuyo promedio mensual de precipitación sea mayor que su evapotranspiración real potencial; preferiblemente se selecciona aquel mes en el que el suelo esté cargado con suficiente humedad.

Se determina la relación de evapotranspiración potencial. La que es igual al total de evapotranspiración potencial dividido por la precipitación total anual y con base en este valor y en los que aparecen sobrepuestos sobre los de aquella escala en el diagrama para la clasificación de zonas de vida, (Anexo 1), se obtiene el porcentaje de agua almacenado en el suelo a capacidad de campo con uso restringido, es decir, a un potencial fuerza de 2.7 (**P F 2.7**). Se calcula la cantidad de agua libre la que es igual a la diferencia entre la capacidad de campo y el % de agua no libremente disponible.

**Paso #7:** se calcula la evapotranspiración real (Línea 5) para cada mes. Para el cómputo de este parámetro se comienza con el siguiente mes para el cual se ha insertado la capacidad de campo y se continúa sucesivamente por meses, de la siguiente manera: si el mes en cuestión posee una deficiencia de precipitación mayor, menor, o igual que la cantidad de agua libre y la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior es superior al % de agua con uso restringido, toda la deficiencia se considera agua que sale del suelo y se anota, entonces, en la Línea 8. El agua libre restante será igual al total de ésta menos el agua que sale del suelo, siempre y cuando la cantidad de ésta sea inferior a la de aquella. En caso contrario no existe agua libre y de hecho se utilizara para satisfacer la deficiencia de precipitación, el 50% del agua con uso restringido como se observará en el párrafo siguiente. La humedad disponible en el suelo al fin del mes, la que se indica en la Línea 9., será igual a la disponible en el mes anterior menos la cantidad que sale del suelo. En la Línea 11., deficiencia de humedad en el suelo, se añade el valor correspondiente al agua que sale a cualquier total que existía antes, de tal manera que la suma para el mes de las Líneas 9 y 11 será siempre igual a la cantidad estimada como capacidad de campo. La evapotranspiración real en estos meses se obtiene sumando los valores correspondientes a la precipitación (Línea 4) y agua que sale del suelo (Línea 8). Si la deficiencia de la precipitación es mayor que el agua libre restante y la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior es mayor que el % de agua con uso restringido, se puede tomar toda el agua libre restante mas el 50% de la de uso restringido, hasta completar la deficiencia si la suma de los valores así lo permite; en este caso, toda la deficiencia se considera agua que sale del suelo, cuya cantidad se anota en la Línea 8. Pero si la suma de agua libre restante y el 50% de la de uso restringido es menor que la deficiencia de precipitación, el valor para colocar en la Línea 8, disminución de la humedad del suelo, es el que corresponde a esta suma. La evapotranspiración real, en ambos casos, es igual a la precipitación real más el agua que sale del suelo. Antes de proceder al mes siguiente, se colocan los valores correspondientes a las Líneas 9 y 11, de acuerdo con el procedimiento arriba descrito.

Si la deficiencia de precipitación es mayor que la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior y la precipitación es menor que la humedad disponible, la cantidad que se inserta para el mes en la línea 8 es igual al 50% de la humedad disponible. La suma de los valores de precipitación y disminución de la humedad del suelo (Línea 8), equivale a la evapotranspiración real para el mes.

En cambio, si la deficiencia de precipitación continúa siendo mayor que la humedad disponible en el suelo al fin del mes anterior, pero la precipitación es igual o mayor que la humedad disponible, la cifra para colocar en la Línea 8 es cero. La evapotranspiración real, en este caso, corresponde a la semisuma de la precipitación y la humedad disponible

la que en situación extrema puede ser igual a la evapotranspiración potencial ajustada para climas secos (Línea 3).

Aplicando el procedimiento precedente se obtienen y se anotan los valores para las Líneas 9 y 11. Además, si la evapotranspiración real para el mes es menor que su precipitación, se resta el valor de evapotranspiración real del correspondiente de precipitación y se coloca la diferencia en la columna perteneciente al mes en la Línea 6, sobrante de agua.

**Paso #8:** Cuando se llega a un mes que demuestra un sobrante de agua (Línea 6), el procedimiento es inverso. El sobrante de agua se usa primero para reabastecer la diferencia en el suelo hasta que este llegue de nuevo a su capacidad de campo. Esta deficiencia es igual a la cantidad indicada como faltante de agua en el suelo (Línea 11) para el mes anterior. Siendo esta cantidad igual o mayor que el sobrante de agua para el mes en cuestión, todo el sobrante (Línea 6) constituye agua que entra al suelo (Línea 7), y se añade al total de agua almacenada en el suelo al fin del mes anterior para obtener el valor que se inserta en la columna del más en la línea 9. Al mismo tiempo, se resta esta cantidad (Agua que entra al suelo) del total del mes anterior (Línea 11) para obtener el valor correspondiente al presente mes para la Línea 11, faltante de agua en el suelo.

Si, al contrario, la cantidad para el mes anterior en la Línea 11 es menor que el sobrante de agua del mes, el valor para colocar en la Línea 7 es igual al de la deficiencia, Línea 11. El agua almacenada en el suelo al fin del mes será igual a la capacidad de campo y el faltante de agua al fin de mes será cero. La diferencia entre el sobrante (Línea 6) y el agua que entra al suelo (Línea 7) se calcula para colocar el valor en la Línea 10, escurrimiento.

Para los meses en los cuales hay normalmente tanta precipitación que el suelo quede saturado a su capacidad de campo y todo el sobrante de agua constituye escurrimiento (Línea 10), los valores correspondientes a las Líneas 7, 8, 11 y 12 serán cero.

**Paso #9:** Se calcula la deficiencia total de agua (Línea 13) para cada mes. El faltante total de agua se obtiene sumando los valores de faltante de agua en el suelo (Línea 11) y faltante de precipitación (Línea 12).

**Paso #10:** Se calcula el total promedio del año para la evapotranspiración real (Línea 5), el sobrante de agua (Línea 6), el escurrimiento (Línea 10) y el faltante de precipitación (Línea 12), el cual se obtiene sumando los valores mensuales respectivos. Las Líneas 7, 8, 9, 11 y 13 no llevan totales anuales.

**Paso #11:** Finalmente, se determina la condición de humedad del suelo (Línea 14). Para la estimación de este parámetro debe considerarse la humedad disponible en el suelo al fin del mes y la cantidad o porcentaje de agua no libremente disponible en el suelo al fin del mes y la cantidad o porcentaje de agua no libremente disponible. Se observa, en la línea correspondiente a la humedad disponible en el suelo al fin del mes, entre que meses se presenta el porcentaje de agua con uso restringido y se toman los dos valores de humedad de estos meses para determinar con exactitud la fecha en que se inicia o termina la estación seca o húmeda. Se aplica, entonces, el siguiente procedimiento: del valor menor y el resultado obtenido se divide por el número de días que tiene el mes cuyo valor

es superior. Del mismo valor mayor de humedad se resta el % de agua con uso restringido y la cantidad obtenida se divide por el resultado de la operación anterior. Se determina así la fecha en que se inicia la estación seca o finaliza la húmeda. Aquellos meses con escorrentía superior a la capacidad de campo se consideran muy húmedos.

Una vez terminada la tabulación en la forma descrita, se pueden ver claramente las características estacionales de los factores climáticos principales durante el año promedio para el lugar en cuestión. Se pueden identificar, según los indicios mencionados arriba, los meses efectivamente secos y húmedos, y apreciar el grado de severidad de la sequía, así como también las tendencias más marcadas de escurrimiento durante los meses de mayor precipitación. Se puede, además, hacer referencia a las fórmulas y gráficas presentadas por Holdridge para relacionar la evapotranspiración real con la evapotranspiración potencial, para establecer el grado de desviación climática del lugar y medir así, si se encuentra en un clima zonal o si pertenece a una asociación atmosférica. Después de completar los cálculos, estos datos tabulares se pueden presentar en forma gráfica y resumida.

**3.2.2.2 Método del SCS.** Este método combina los suelos hidrológicos con valores climáticos de temperatura y precipitación.

Para la descripción de los perfiles representativos de los grupos de suelos, se hizo uso de la clasificación de suelos que para la Montaña de El Uyuca publicó Agudelo en su Plan de Manejo. La descripción de los perfiles tomó como base el material parental, la pendiente, profundidad del suelo, estructura, textura y drenaje del mismo.

Para la elaboración del balance hídrico según la técnica del SCS se recopiló la información climática de Zamorano y la de precipitación de Uyuca. Con esta información se procedió a realizar un análisis de regresión de valores medios mensuales de precipitación entre Zamorano y Uyuca. El análisis se hizo con el objeto de completar información faltante de algunos meses en la estación de Uyuca.

Con los valores medios mensuales de precipitación de las porciones más altas y más bajas de la microcuenca se estimó la precipitación media mensual dentro de la misma por medio de un polígono de Thiesen.

**3.2.2.3 Gradiente térmico.** Para determinar el gradiente térmico se utilizó el siguiente modelo matemático

$$\frac{\text{Dif. en temperaturas ( }^{\circ}\text{C)}}{\text{Dif. en altitud (m)}} = \frac{x}{100}$$

Donde:



X = gradiente térmico, es decir, disminución de la temperatura por cada 100 m de aumento en altitud

## 4. RESULTADOS

### 4.1 MAPA DE ECOSISTEMAS

- La Figura 8 muestra los ecosistemas presentes en la microcuenca con los colores correspondientes, propuestos por la escuela que maneja el sistema Holdridge.
- El Cuadro 3 presenta la superficie y porcentaje de estos ecosistemas, con sus respectivos nombres, en prosa y nomenclatura.

Cuadro 3. Características climáticas, superficie y porcentaje de cada ecosistema.

Zona de vida	CARACTERISTICAS		Area (ha)	Porcentaje
	Biotemperatura	Precipitación promedio		
	media anual ° C	total anual (mm)		
1 bmh-MBS	12 a 18	2000-4000	46,52	7,84
2 bh-MBS	12 a 18	1000-2000	79,8	13,45
3 bh-S	18 a 24	1000-2000	454,98	76,66
4 bs-T 	18 a 24	1000-2000	12,2	2,06
		<b>TOTAL</b>	<b>593,5</b>	<b>100</b>
<b>Nomenclatura:</b>				
1- bmh-MBS	Bosque muy húmedo montano bajo subtropical			
2- bh-MBS	Bosque húmedo montano bajo subtropical			
3- bh-S	Bosque húmedo subtropical			
4- bs-T 	Bosque seco tropical, transición a subtropical			



## 4.2 MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA

- La Figura 9 ilustra la distribución del uso de la tierra en la microcuenca.
- El Cuadro 4 presenta los usos de la tierra con su respectiva superficie y porcentaje.

Cuadro 4. Uso actual de la tierra, en superficie y porcentaje

Uso de la tierra	Area (ha)	Porcentaje
Bosque conífera denso	264.1	42.8
Bosque conífera ralo	111.35	18.9
Bosque latifoliado	19.05	3.3
Pastos y/o cultivo	197.7	33.8

## 4.3 GRUPOS DE SUELOS HIDROLOGICOS

La superficie de estos grupos y su correspondiente porcentaje se dan a conocer en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Superficie y porcentaje de los grupos de suelos hidrológicos existentes en la microcuenca.

Grupo de suelo	Area (ha)	Porcentaje
A	6.8	1.15
B	58.7	9.9
C	269.8	45.5
D	257.5	43.4



#### **4.4 BALANCE HIDRICO PARA LA MICROCUENCA SEGÚN EL METODO DE HOLDRIDGE.**

El Cuadro 6 ilustra en forma detallada el movimiento de agua en la microcuenca a los 1200m, al bh – S

En el Cuadro 7 se puede observar el detalle del movimiento del agua a los 1500 m., bh-MBS; y en el Cuadro 8 para la zona de vida bmh-MBS, 1900m.

El balance hídrico para la cota de los 900 m se ilustra en el Cuadro 9.









## 4.5 BALANCE HIDRICO PARA LA MICROCUENCA SEGÚN EL METODO DE SCS

### Análisis de regresión

Para este análisis se tomó la información de la estación de Uyuca, ubicada aproximadamente a los 2000m de altitud. El registro contiene información desde 1986-2000. El Anexo 3. presenta la precipitación real de Uyuca con sus datos faltantes.

El Anexo 4. muestra la precipitación mensual de la estación Zamorano para el periodo 1944-2001.

La información de las dos estaciones se introdujo a una base de datos y por medio de un análisis de regresión lineal, empleando el programa "Q-Pro", se obtuvo el coeficiente de regresión **r**. Este coeficiente fue de

$$r^2 = 0.59 \quad \text{y} \quad r = 0.77$$

La ecuación que se obtuvo para el cálculo de datos faltantes con base en este coeficiente, obedece al siguiente modelo matemático:

$$Y = 51.06 + 1.2286x$$

### Cálculo de la precipitación media de la cuenca

La estación de Uyuca esta enclavada en la porción más alta de la microcuenca. Por tanto, los datos de lluvia de esta estación caracterizan esta parte de la misma.

Para la parte más baja de la zona de estudio se tomó como base la información climática de Zamorano, debido a la proximidad de esta estación y al hecho de ser la única información que podría influenciar las porciones más bajas y secas.

Con fundamento en estas dos estaciones (ubicadas en los dos extremos de la microcuenca), se construyó un polígono de Thiesen. Este polígono permitió por medio de una bisectriz a la recta que une las dos estaciones separar la cuenca en dos porciones (alta = A1 y baja = A2).

$$A1 = 317.5 \text{ ha} \quad \text{y} \quad A2 = 275.8 \text{ ha}$$

Conocida la superficie de cada porción y el área total de la cuenca ( $A_t$ ) se determinó el factor de ponderación ( $W1$  y  $W2$ ) respectivamente para cada mes.

Los modelos matemáticos fueron:

$$W1 = A1 / A_t \quad \text{y} \quad W2 = A2 / A_t$$

$$W1 = 0.53 \quad \quad \quad W2 = 0.47$$

Con estos factores de ponderación se estimó la precipitación media mensual para cada porción de la cuenca. Estos valores se ilustran en los Cuadros 10 y 11.





Finalmente se obtuvo la precipitación media mensual para toda la cuenca por medio de un promedio matemático, según se ilustra en el Cuadro 12

Cuadro 12. Precipitación media mensual para toda la cuenca

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
<b>Prom.</b>	164.2	175.5	90.5	180.7	192.5	118.2	64.3	46.3	46.9	26.2	25.7	67.7

En el Cuadro 13 se aprecia el balance hídrico según el Método del SCS para suelos finos, y en el Cuadro 14 el balance para suelos gruesos.

#### 4.6 GRADIENTE TERMICO

La diferencia en altitud entre las dos estaciones: 1208 m

La diferencia en temperatura entre las dos estaciones: 8.7 °C

$$\frac{8.7 \text{ C}}{1208 \text{ m}} = \frac{x}{100} \quad \text{---} \quad \frac{x = 8.7 \text{ C} * 100}{1208 \text{ m}} = 0.72^\circ \text{ C}$$

El gradiente térmico para la porción barlovento de El Uyuca es de una reducción de 7.2 °C por cada 1000 m de altitud.





## 5. DISCUSION

Los resultados del estudio permitieron enfocar la discusión en los tres siguientes componentes:

### 5.1 LIMITACIONES DE REGISTROS CLIMATICOS PARA LA ZONA DE ESTUDIO

Para la zona de estudio sólo se pudo obtener información real de los siguientes elementos climáticos: precipitación mensual y anual para aproximadamente 10 años de registro, para la porción mas alta de la cuenca (la que caracteriza el área de los 1700m hacia arriba). Estos registros se consideran de corta duración para un elemento tan variable como es la precipitación. Se obtuvo también registros reales de temperatura y precipitación para la porción más baja de la cuenca, con base en la estación Zamorano, cuyo período de registros de 44 años.

La situación precedente de escasez de información climática o de registros de corta duración o lo que es peor, la disponibilidad de datos no confiables, caracteriza a la mayoría de los países de las regiones tropical y subtropical de América. La necesidad de esta información climática es inminente si se quiere manejar un recurso tan escaso, mal distribuido y demasiado contaminado como es el agua dulce.

Ante estos hechos, se tuvo que recurrir al uso de ciertas técnicas para generar la información climática faltante:

- análisis de regresión y modelos de extrapolación con base en isoyetas e isotermas de estaciones próximas al área de estudio. La información así generada se considera apropiada para fines de esta investigación, ya que más o menos coincide con los valores climáticos que utiliza el Sistema Holdridge en su clasificación de ecosistemas.

### 5.2 LIMITACIONES DE REGISTROS DE AFORO

Las cuencas de Uyuca sin excepción, incluyendo lógicamente la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, carecen de aforos o evaluación de caudales. Esto constituye una seria deficiencia en el manejo del agua ya que no se dispone de información precisa sobre cuanto producen las cuencas de Uyuca, en términos de volumen de agua, y para cuantos usuarios podría haber agua disponible. Este debería ser un punto focal en el actual esquema de manejo de cuencas de Zamorano.

### **5.3 COMPARACION O PARALELO PARA LOS MODELOS DE BALANCES HIDRICOS**

Aunque se dispone de cuatro balances hídricos para la microcuenca según el método de Holdridge, el balance que mejor caracteriza la porción media de la misma es el del bosque húmedo subtropical. También se cuenta con dos balances hídricos para la zona según el método del SCS. Los balances de acuerdo con esta técnica muestran un movimiento del agua en el suelo más o menos similar. Por tal razón, solo se tomara uno de ellos para fines de comparación.

La precipitación total anual es bastante parecida con ambos métodos: 1171 mm con Holdridge y 1198 con el SCS, lo que arroja una diferencia de 27 mm. La técnica de Holdridge arroja una escorrentía de 422 mm, equivalente al 37 % de la precipitación total anual. Con el método del SCS se obtuvo una escorrentía de 208 mm, correspondiente al 17 % de la precipitación total anual.

Esta diferencia del 20 % en la escorrentía entre los dos métodos podría obedecer al hecho de que la técnica de Holdridge no considera las propiedades hidrológicas de los suelos, en tanto que para el método del SCS estas propiedades son determinadas en el cálculo de balance hídrico.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten obtener las siguientes conclusiones.

- A pesar de las fuertes limitaciones climáticas que se tuvieron para el desarrollo del presente estudio, fue posible generar información climática faltante, pero relativamente confiable, para elaborar balances hídricos por ecosistema utilizando la técnica de Holdridge.

Según los balances la porción más alta de la microcuenca tiene una precipitación total anual del orden de los 1910 mm (producto del registro de 10 años de lluvia, con algunos datos faltantes). Este valor a pesar de la corta duración de los registros, está bastante cerca del verdadero valor de lluvia que caracteriza a este ecosistema (2000-4000 mm).

La parte más baja de la microcuenca tiene una precipitación promedio total anual del orden de los 1043.1 mm.

Los balances de la porción media de la microcuenca (1200 y 1500 m de altitud), muestran valores de 1520 y 1132 mm, respectivamente. Por tal razón, en esta microcuenca como era lógico de esperarse la precipitación aumenta con la altitud.

La relación precipitación – escorrentía es del orden de 56% en las altitudes mayores y del 40% en las tierras más bajas. Estos valores no parecen tener lógica si se toman en consideración los grupos hidrológicos de suelos. Este comportamiento hidrológico podría ser la resultante de las fuertes pendientes que caracterizan la porción más alta de la cuenca, de la pendiente hidráulica del cauce y de la concentración de la precipitación vertical en cortos períodos de tiempo.

- Fue también posible desarrollar dos balances hídricos por el método de SCS: uno para suelos de textura relativamente gruesa y otro para suelos finos. El movimiento de agua en los dos balances fue bastante similar y la escorrentía fue ligeramente mayor en los suelos gruesos, 75 mm más comparativamente con los suelos finos.

- El gradiente térmico para la porción a barlovento de la Montaña de El Uyuca fue de  $0.72\text{ }^{\circ}\text{C}$  de descenso en la temperatura por cada 100 m de altitud. Este valor está por encima de  $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de aumento en altitud, que es el promedio general del gradiente térmico para toda la Tierra. Aún más, está muy por encima del gradiente térmico que utiliza el Sistema Holdridge que es de  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  de reducción por cada 100 m de elevación.

## 7. RECOMENDACIONES

Fundamentado en las conclusiones anteriores y en los resultados del estudio, se recomienda:

Ante la importancia de las microcuencas de Uyuca para Zamorano y los alrededores y en vista también de la casi nula información climática para las mismas, se recomienda diseñar, establecer y monitorear una red de estaciones meteorológicas que generen información climática fidedigna para que el manejo a futuro del recurso agua.

- Tratar de validar los modelos de balances hídricos de Holdridge y del SCS para estaciones o cuencas hidrográficas que cuenten con información climática apropiada, en términos de duración del periodo de registro y calidad de los datos. Validados los modelos se podría pensar en desarrollar un modelo que combine las cualidades de las dos técnicas anteriores. Esta recomendación se hace en virtud de que el Modelo de Holdridge trabaja muy bien la parte climática, pero no utiliza las propiedades hidrológicas de los suelos tan adecuadamente como lo hace el SCS.
- Hacer estudios de suelos para determinar sus profundidades y sus capacidades de campo para tener una mejor visualización.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Agudelo, N., 1980. Procedimiento para el Cálculo del Balance Hídrico en la Asociación Climática. Tegucigalpa, Honduras. Programa de Catastro Nacional. 8 p.
  - Agudelo, N., Plan de Manejo para el bosque del Uyuca de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, C.A. Tesis de Maestría. CATIE. Costa Rica. 1988.
  - Aparicio, F. 1997. Fundamentos de Hidrológica de Superficie. México. Editorial Limusa, SA de CV. Grupo Noriega Editores. 303 p.
  - Ascarrunz, I. Evaluación Hidrológica de la Microcuenca de la Quebrada La Chorrera. Tesis Ing. Agr., Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 55p.
  - Basterrechea, M. 1998. Plan de Acción Regional busca conservar Recursos Hídricos. Costa Rica. WWF Centroamérica. P. 7-8.
  - Blair, E.; Ramírez, W.; Obregón, C.; Robles, E.; Saborio, L.; Chavarría, F., 1983. IV Curso Regional Itinerante Post- Universitario en Ciencias del Agua: Hidrología con información limitada, caudales mínimos. San José, Costa Rica. CSUCA, UNESCO, CONICIT. 118 p.
  - EE.UU., Departamento de Agricultura: Servicio de Conservación de Suelos, 1972. Hydrology. s.p.
  - Gordon, Jeremiah. 1999. What is a Watershed. Consultado 20 de febrero de 2002. Disponible en [www. cwp.org](http://www.cwp.org)
  - Jiménez F. 1999. Agua dulce: un enfoque de la situación Centroamericana. Costa Rica. WWF Centroamérica, P. 4-6.
  - Liniger, H. y Weingartner, R. 1998. Montañas y Recursos Hídricos. Unasyuva. FAO (Italia). 49 (195): 39-46.
  - Linsley, R, Kohler, M. y Paulus, J. 1977. Hidrología para ingenieros. 2ª. Edición. Colombia. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, SA.
- López Cadenas, F. y Blanco Criado, M. 1976. Hidrología Forestal. 1ª. Parte. Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 134 p.

- Lücke, O. 1985. Curso Bases Hidrológicas para el Manejo de Cuencas: Estado Actual de Investigación, Recopilación y Aplicación de la Metodología para el Cálculo del Balance Hídrico en la Asociación Climática de L.R. Holdridge. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. 24 p.
- Meyer, D. 2001. Apuntes de clase de Protección de Recursos Naturales. Los Recursos Acuáticos. Zamorano, Honduras, 9p.
- Price, M. F. 1998. Las montañas: ecosistemas de importancia mundial. Unasyuva. FAO (Italia). 49 (195): 2-12.
- Honduras. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 1997. Perfil Ambiental de Honduras 1990-1997. 222 p.
- Proyecto Apoyo a la Gestión Sostenible de los Recursos Naturales, 1998  
Consultado 31 enero 2002. RAFA  
Disponibile en <http://www.rcfacfan.org/spanish/s.profile.11.html>
- Recursos Mundiales, 1991. Enfoque especial sobre Cambio climático, América Latina y datos esenciales sobre 146 países. México. Ed. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 463 p.
- Rodríguez, A y Saborío, L. s.f. Experiencias en el Desarrollo y Aplicación de Modelos Matemáticos en Hidrología y Recursos Hidráulicos en América latina: Evaluación Indirecta de los Recursos Hídricos de una Cuenca. IAHS. 152. UNESCO. Editado por García, L. Guatemala.
- Szöllosi-Nagy, Najlis y Björklund, 1998. Evaluación de los Recursos Mundiales de Agua Dulce: La Naturaleza y sus Recursos. UNESCO. 34 N.1; 10-20
- World Resources, 1989. An Assessment of the Resource Base that Supports the Global Economy. New York, USA. Basic Books, Inc. 372 p.

Cuadro 10. Precipitación media mensual para la estación Uyuca

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
<b>UYUCA</b>	<b>165.5</b>	<b>85.0</b>	<b>119.1</b>	<b>90.0</b>	<b>167.6</b>	<b>82.4</b>	<b>61.0</b>	<b>33.2</b>	<b>35.1</b>	<b>30.3</b>	<b>27.6</b>	<b>30.0</b>
1986	123.4	150.1	143.1	115.5	123.4	40.9	10.1	30.7	39.1	43.7	39.8	61.6
1987	63.6	148.5	91.4	86.8	165.2	91.2	19.3	14.3	14.6	24.5	1.3	7.2
1988	58.5	89.9	76.4	96.9	207.1	42.6	40.0	9.9	29.7	16.2	2.3	5.1
1989	126.1	78.4	33.9	73.8	106.7	22.7	135.0	0.0	31.5	12.1	13.6	34.8
1990	125.8	108.0	32.1	63.4	129.7	95.0	23.7	36.7	32.8	22.6	10.8	5.8
1991	82.9	154.3	122.7	50.8	178.2	42.1	32.0	37.9	11.6	4.2	5.5	119.9
1992	328.1	344.1	330.6	334.2	29.3	168.0	42.7	137.7	167.0	13.6	18.6	133.0
1993	317.9	153.8	118.5	97.4	181.7	148.8	65.2	35.0	54.6	5.7	0.0	45.6
1994	171.8	130.4	110.1	305.0	232.7	104.5	60.9	31.4	18.2	29.4	17.5	82.5
1995	192.6	91.2	149.6	205.3	163.4	136.9	81.0	50.8	22.7	12.2	82.0	192.6
1996	65.7	224.0	114.4	130.3	128.8	97.5	103.9	0.0	52.9	54.3	43.9	9.9
1997	0.0	127.1	206.7	175.5	0.0	0.0	0.0	0.0	29.5	11.2	30.7	27.5
1998	68.4	203.6	0.0	0.0	0.0	159.3	44.4	46.6	64.5	64.0	32.0	33.1
1999	70.1	76.0	0.0	115.1	167.1	78.3	38.0	31.3	30.1	27.1	27.1	64.9
2000	1960.5	2164.4	1648.6	1940.0	1980.9	1310.2	757.1	495.6	633.8	370.9	352.6	853.7
<b>total</b>	<b>3755.6</b>	<b>4243.9</b>	<b>1529.5</b>	<b>3789.9</b>	<b>3794.2</b>	<b>2538.0</b>	<b>1453.3</b>	<b>957.9</b>	<b>1232.5</b>	<b>711.6</b>	<b>677.6</b>	<b>1677.3</b>
<b>prom.</b>	<b>268.3</b>	<b>282.9</b>	<b>117.7</b>	<b>270.7</b>	<b>291.9</b>	<b>181.3</b>	<b>103.8</b>	<b>79.8</b>	<b>82.2</b>	<b>47.4</b>	<b>45.2</b>	<b>111.8</b>

Cuadro 11. Precipitación media mensual para la estación Zamorano

<b>Zamorano</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>
1986	99.8	41.7	66.4	45.4	101.4	39.9	47.7	5.1	5.8	2.3	0.0	2.1
1987	69.5	75.5	93.2	62.6	103.6	23.5	4.3	4.7	34.6	38.7	35.3	54.6
1988	61.3	92.4	75.3	141.0	122.7	83.0	6.4	2.7	3.4	3.6	22.3	43.5
1989	56.2	78.8	52.1	71.2	175.6	36.2	22.5	5.4	8.1	3.3	0.8	1.3
1990	57.2	60.4	31.8	95.9	110.7	40.0	87.5	8.5	12.2	3.0	2.4	1.4
1991	49.9	78.5	27.1	40.4	48.1	55.3	5.5	7.4	3.8	2.6	0.5	0.9
1992	65.8	96.2	62.1	17.1	109.2	10.8	11.2	9.9	2.9	2.4	4.2	67.0
1993	155.1	174.7	76.1	221.7	1.6	101.7	11.2	79.8	4.1	0.2	0.0	86.2
1994	74.2	61.1	36.2	26.4	84.7	63.0	12.9	6.3	48.5	5.0	0.0	10.2
1995	18.5	66.3	44.1	177.8	121.3	56.8	21.7	3.1	3.1	1.2	9.0	44.8
1996	65.8	30.2	90.5	146.2	56.2	79.2	38.9	17.1	11.2	6.1	0.0	7.6
1997	7.5	23.5	36.9	53.7	73.4	50.8	55.6	0.0	5.4	5.3	6.7	1.4
1998	0.0	72.1	129.6	107.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	2.6	0.3
1999	29.8	33.7	0.0	0.0	0.0	95.4	12.5	14.0	27.0	0.4	3.5	5.3
2000	31.0	35.3	0.0	63.5	101.1	36.9	7.8	3.0	2.2	0.0	0.0	27.3
<b>Total</b>	<b>841.5</b>	<b>1020.4</b>	<b>821.4</b>	<b>1269.8</b>	<b>1209.5</b>	<b>772.5</b>	<b>345.7</b>	<b>167.0</b>	<b>173.9</b>	<b>73.9</b>	<b>87.2</b>	<b>353.9</b>
<b>Prom</b>	<b>60.1</b>	<b>68.0</b>	<b>63.2</b>	<b>90.7</b>	<b>93.0</b>	<b>55.2</b>	<b>24.7</b>	<b>12.8</b>	<b>11.6</b>	<b>4.9</b>	<b>6.2</b>	<b>23.6</b>

Cuadro 14. Balance hídrico para suelos gruesos

	milímetros	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
<b>1</b>	<b>Precipitación</b>	192.5	118.2	64.3	46.3	46.9	26.2	25.7	67.7	164.2	175.5	90.5	180.7	1198.4
<b>2</b>	<b>Humedad inicial del suelo</b>	0.0	50.0	50.0	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	265.6
<b>3</b>	<b>Humedad total disponible</b>	192.5	168.2	114.3	61.9	46.9	26.2	25.7	67.7	164.2	225.5	140.5	230.7	1464.1
<b>4</b>	<b>Evapotranspiración potencial</b>	89.0	83.7	98.7	96.0	100.7	94.7	96.3	96.7	93.0	95.7	88.0	89.0	1121.5
<b>5</b>	<b>Evapotranspiración real</b>	89.0	83.7	98.7	96.0	100.7	94.7	96.3	96.7	93.0	95.7	88.0	89.0	1121.5
<b>6</b>	<b>Humedad remanente disponible</b>	103.5	84.5	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.2	129.8	52.5	141.7	598.6
<b>7</b>	<b>Humedad final del suelo</b>	50.0	50.0	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	50.0	315.6
<b>8</b>	<b>Excedentes</b>	53.5	34.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.2	79.8	2.4	91.7	283.1

$$S = (15/30) = (x/100) = 50$$

Donde:

S = capacidad de campo del suelo

Cuadro 13. Balance hídrico para suelos finos


	<b>milímetros</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Doc</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>Precipitación</b>	192.5	118.2	64.3	46.3	46.9	26.2	25.7	67.7	164.2	175.5	90.5	180.7	1198.4
<b>2</b>	<b>Humedad in. del suelo</b>	166.6	103.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.5	164.3	166.6	685.5
<b>3</b>	<b>Humedad total disponible</b>	359.1	221.7	64.3	46.3	46.9	26.2	25.7	67.7	164.2	260.0	254.8	347.3	1883.9
<b>4</b>	<b>Evapotranspiración potencial</b>	89.0	83.7	98.7	96.0	100.7	94.7	96.3	96.7	93.0	95.7	88.0	89.0	1121.5
<b>5</b>	<b>Evapotranspiración real</b>	89.0	83.7	84.7	83.3	87.0	81.3	82.7	82.7	93.0	95.7	75.3	89.0	1027.4
<b>6</b>	<b>Humedad remanente disponible</b>	270.1	138.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.2	164.3	179.5	258.3	1081.2
<b>7</b>	<b>Humedad final del suelo</b>	166.6	166.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.5	164.3	166.6	166.6	915.2
<b>8</b>	<b>Excedentes</b>	103.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	91.7	208.0

$$S = 100/30 = x / 50 = 166.66$$

Donde:

S = capacidad de campo del suelo

Cuadro 9. Balance hídrico para el ecosistema bs - T 

Cálculo del Balance Hídrico en la Asociación Zonal con vegetación madura													
Promedio: a lo largo del tiempo en °C o en mm	MESES DEL AÑO												Año
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Temperatura del aire	22.5	23.4	22.5	27.1	26.4	25.1	24.4	24.7	24.6	24.2	23.2	22.6	24.22
1 Biotemperatura	22.5	23.4	25.2	27	26.4	25.1	24.4	24.7	24.6	24.2	23.2	22.6	24.22
2 Evapotranspiración potencial	113	107	123	112	120	119	122	123	118	121	112	113	116.91
3 ETP Ajustada para climas secos	75	71	81	74	79	79	81	81	78	80	74	75	77.33
4 Precipitación	11	8.1	10.2	39.5	135.5	180	133.6	151.1	185.4	125.1	48.1	15.2	86.9
5 Evapotranspiración real	75	71	81	74	79	79	81	81	78	80	74	75	928
6 Sobrante de lluvia	0	0	0	0	56.5	101	52.6	70.1	107.4	45.1	0	0	432,7
7 Recarga de humedad	0	0	0	0	92.5	0	0	0	0	0	0	0	92,5
8 Disminución de la humedad del suelo	3	2	1	0.5	0	0	0	0	0	0	26	60	92,5
9 Humedad disponible en el suelo al fin del mes	4	2	1	0.5	93	93	93	93	93	93	67	7	639,5
10 Escorrentía	0	0	0	0	36	101	52.6	70.1	107.4	45.1	0	0	412,2
11 Deficiencia de humedad en el suelo	89	91	92	92.5	0	0	0	0	0	0	26	86	476,5
12 Deficiencia de precipitación	64	63	71	35	0	0	0	0	0	0	26	86	28.75
13 Deficiencia de humedad total	153	154	163	128	0	0	0	0	0	0	52	46	696
14 Condición de humedad	SECOS			*18 HUMEDOS						*19 SECOS			
<b>ZONA DE VIDA</b>	bosque seco tropical, trans. a subtropical						AÑOS DE REGISTRO			44			
	bs -T 						TEMPERATURA			PRECIPITACION			

Cuadro 13. balance hídrico para suelos finos

	mímetros	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Doc
<b>1</b>	<b>Precipitación</b>	192,5	118,2	64,3	46,3	46,9	26,2	25,7	67,7
<b>2</b>	<b>Humedad in. del suelo</b>	166,6	103,5	0	0	0	0	0	0
<b>3</b>	<b>Humedad total disponible</b>	359,1	221,7	64,3	46,3	46,9	26,2	25,7	67,7
<b>4</b>	<b>Evapotranspiración potencial</b>	89	83,7	98,7	96	100,7	94,7	96,3	96,7
<b>5</b>	<b>Evapotranspiración real</b>	89	83,7	84,7	83,3	87	81,3	82,7	82,7
<b>6</b>	<b>Humedad remanente disponible</b>	270,1	138,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>7</b>	<b>Humedad final del suelo</b>	166,6	166,6	0	0	0	0	0	0
<b>8</b>	<b>Excedentes</b>	103,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

$$100/30 = x / 50 = 166.66$$

<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>TOTAL</b>
164,2	175,5	90,5	180,7	1198,4
0	84,5	164,3	166,6	685,5
164,2	260,0	254,8	347,3	1883,9
93	95,7	88	89	1121,5
93	95,7	75,3	89	1027,4
71,2	164,3	179,5	258,3	1081,2
84,5	164	166,6	166,6	915,2
0,0	0,0	12,9	91,7	208,0

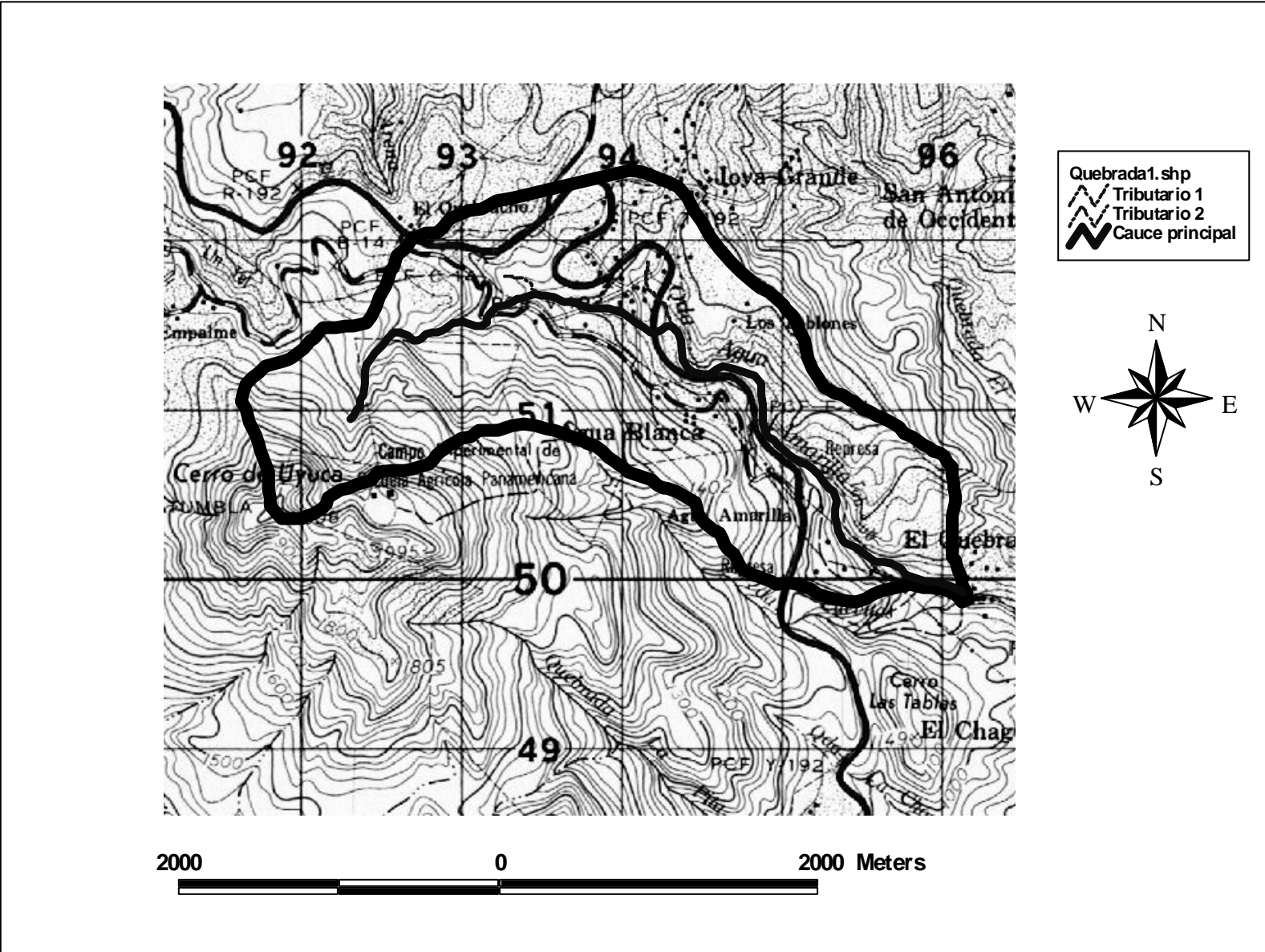


Figura 2. Mapa de la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla

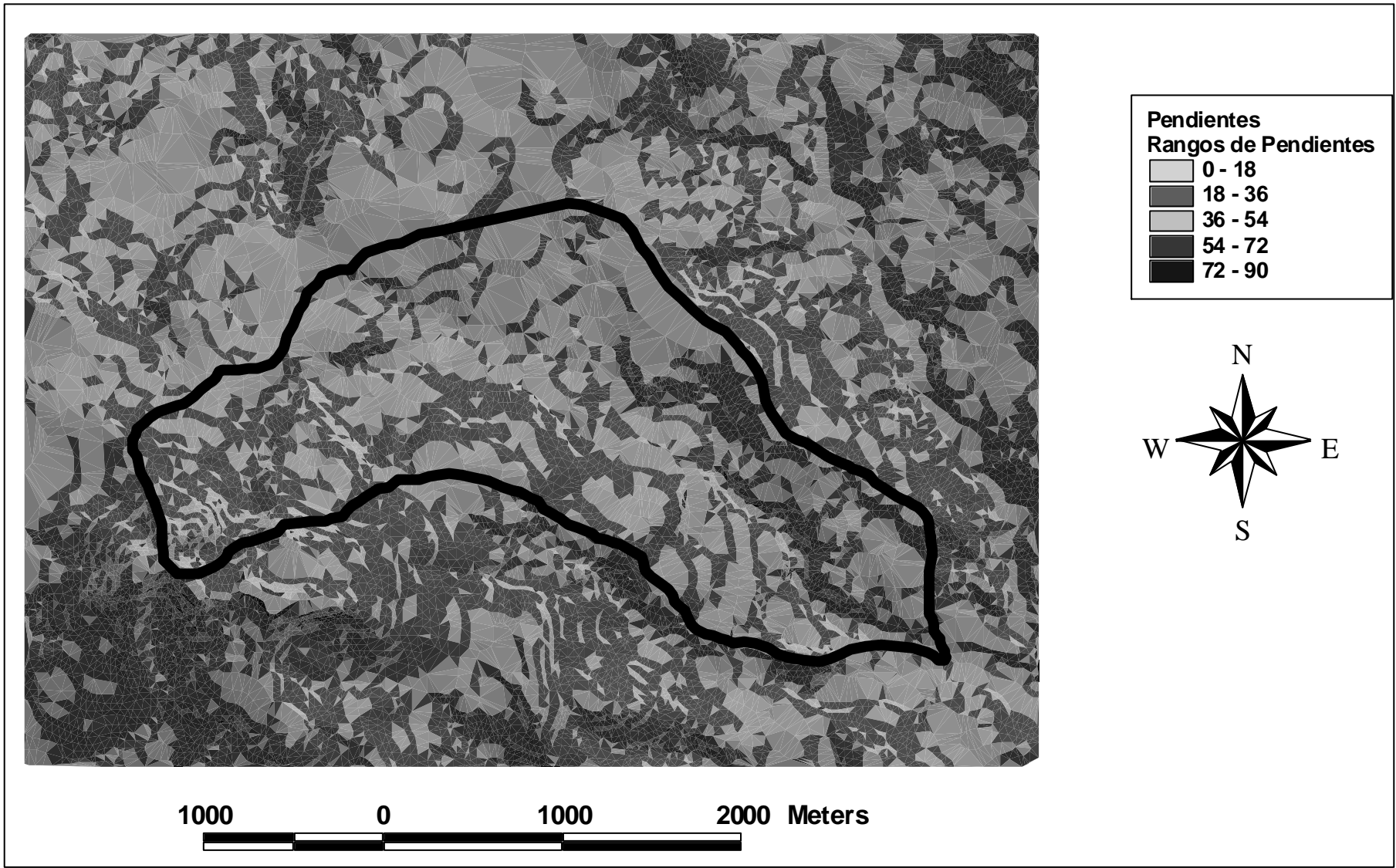


Figura 4. Mapa de pendientes

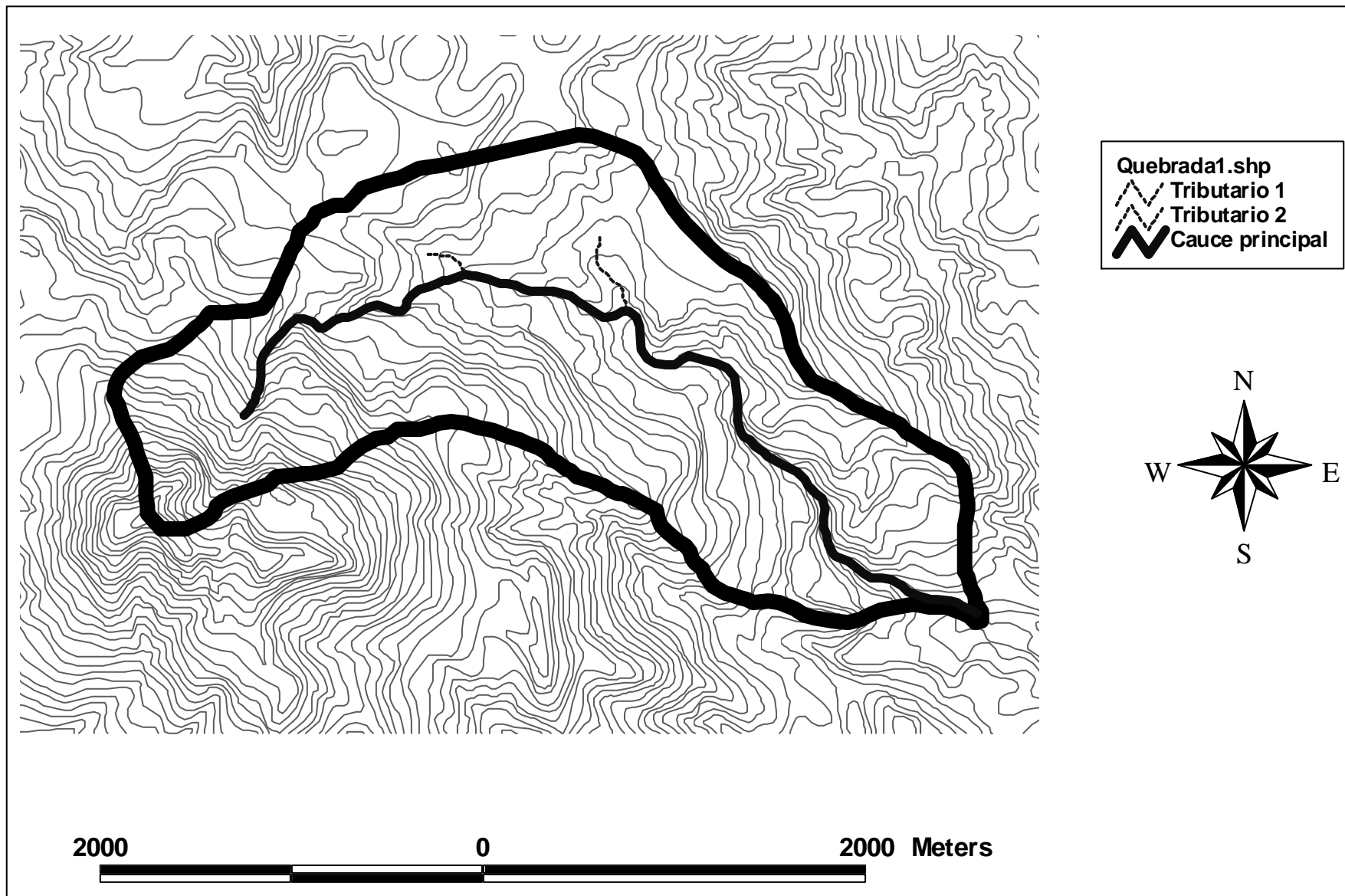


Figura 5. Red de drenaje de la microcuenca

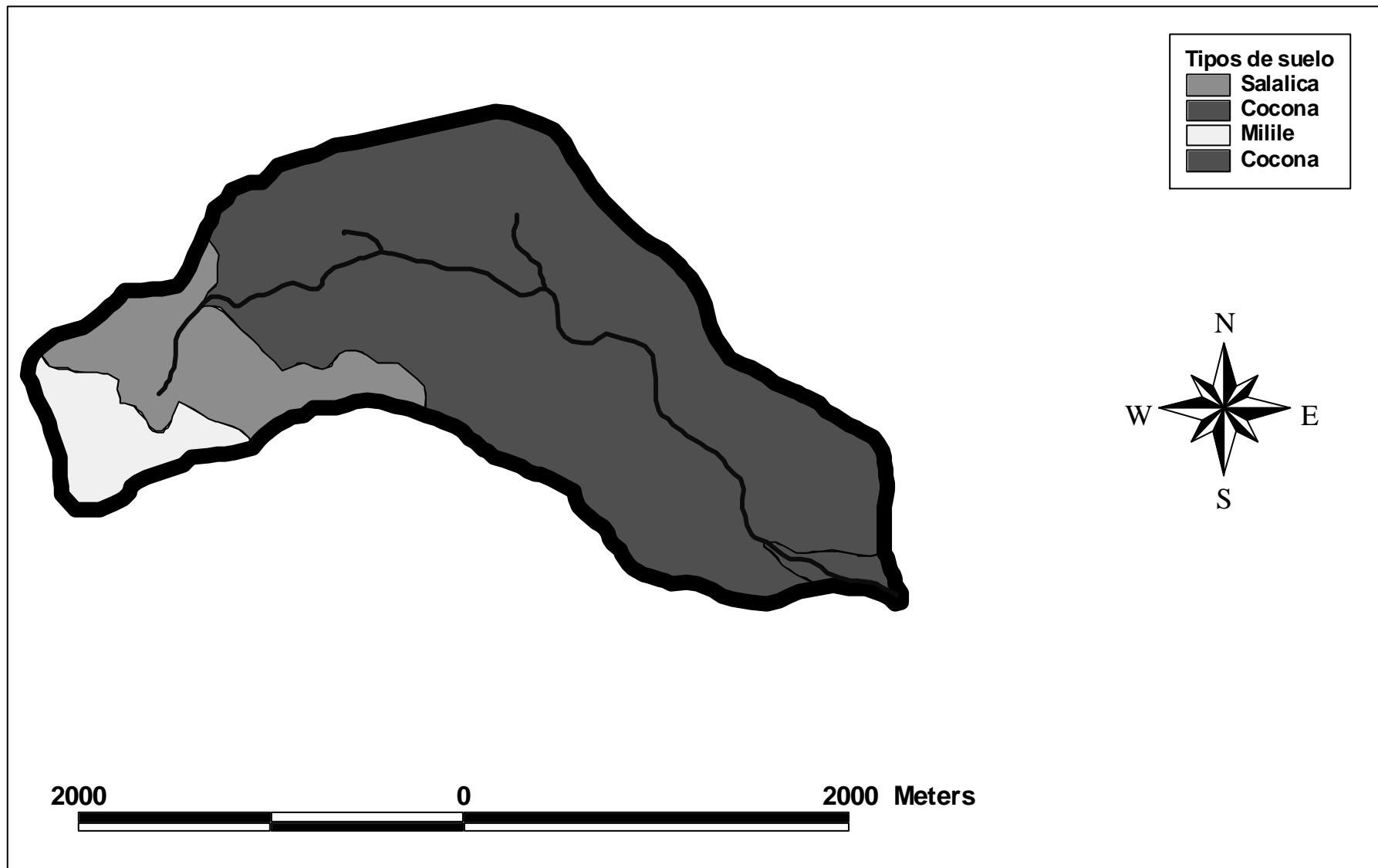


Figura 7. Mapa de grupos de suelo

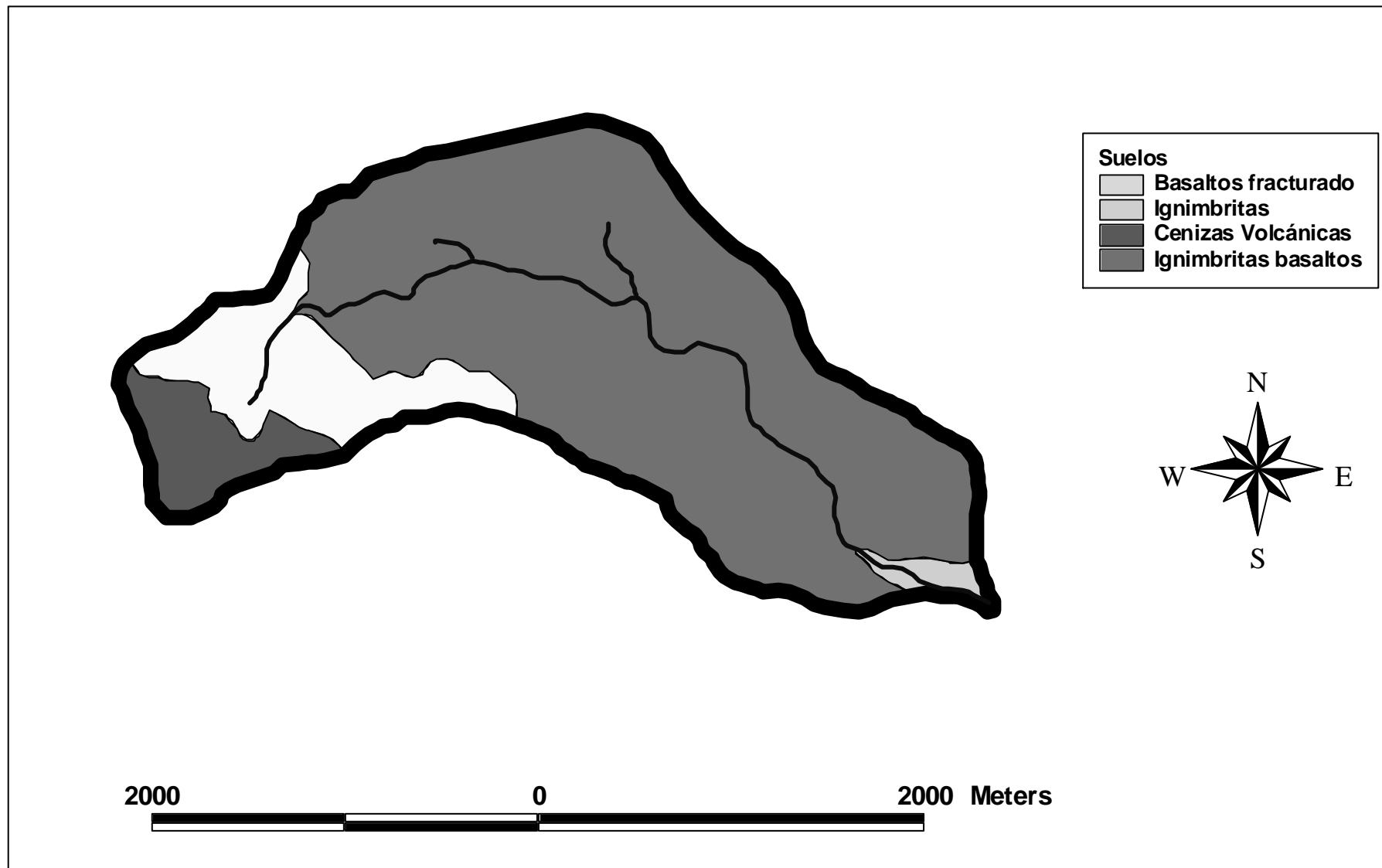


Figura 6. Mapa de geología de suelos

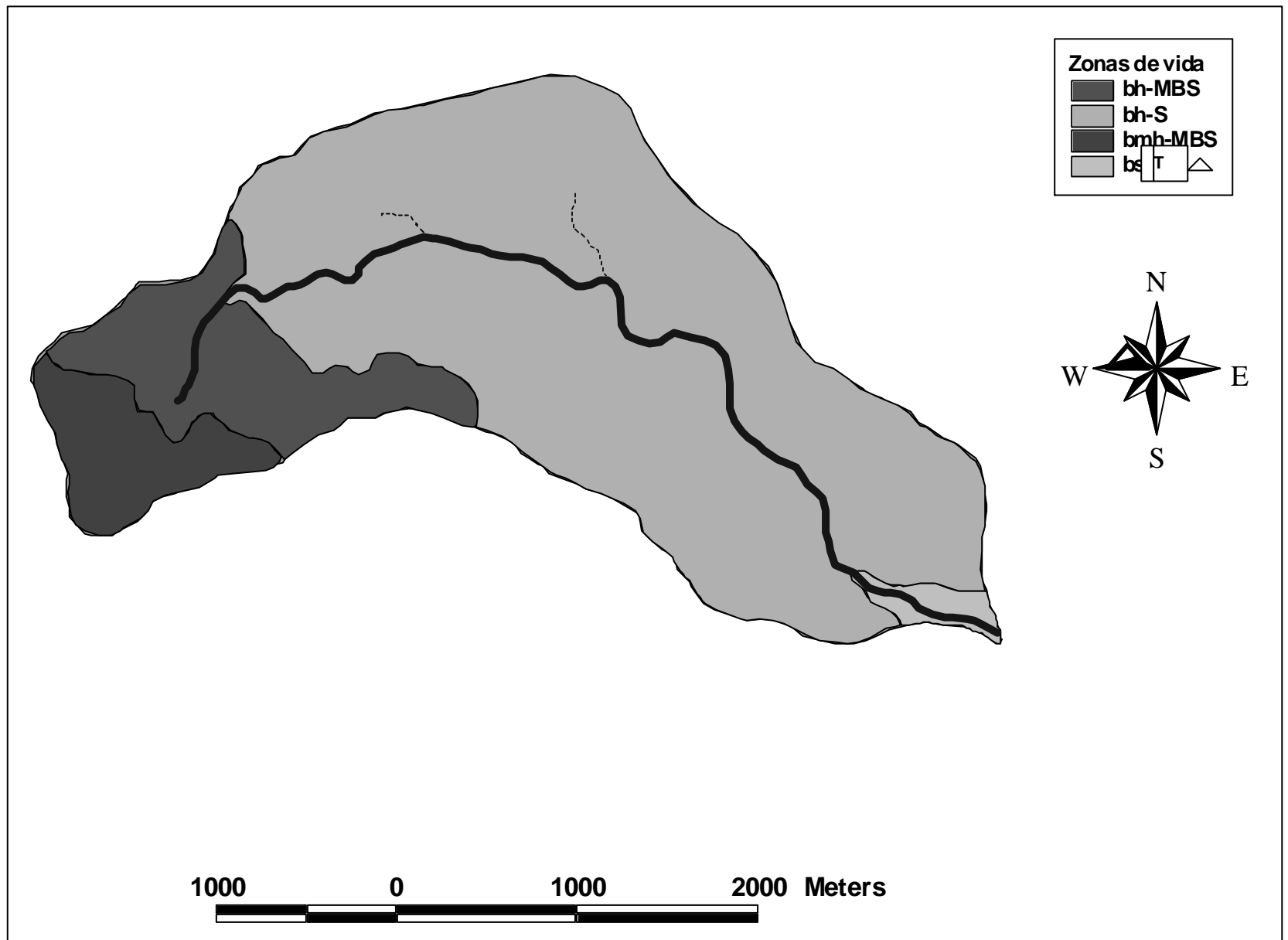






Figura 8. Mapa de ecosistemas

Fuente: Agudelo, 1988



**Usos actual de la tierra**

-  Bosque pino denso
-  Bosque pino raro
-  Bosque latifoliado
-  Pastos y/o cultivos

