

**Fondo del Agua  
Defensores de la Naturaleza**

**Sistematización de información ecohidrológica de la Reserva  
de la biosfera Sierra de las Minas,**

**Juan Carlos Rosito Monzón**

**Guatemala, mayo 2010**

Había un lugar nublado en las montañas del norte  
al que los hombres llamaban Chilabasún.  
Era una zona frecuentada por pájaros migratorios,  
y quienes siempre tenían hambre aprendieron a cazarlos

Adaptación libre de Mario Payeras

## Contenido

<b>1</b>	<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Base conceptual</b> .....	<b>11</b>
3.1	Creación de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas (RBSM) .....	11
3.2	Objetivos del Fondo de Agua.....	11
3.3	La Hidrología, sus ramas y ciencias afines.....	11
3.4	Ecohidrología .....	13
3.5	La cuenca hidrográfica. ....	14
3.6	Recarga hídrica.....	15
	3.6.1 Acuíferos .....	15
	3.6.2 Zona de recarga natural.....	16
	3.6.3 Descarga natural.....	16
	3.6.4 Manantiales.....	16
3.7	El bosque y el agua. ....	16
3.8	Bosque nuboso. Adaptado de (Bruijnzeel S. , 1999) .....	18
3.9	Servicios ambientales. Adaptado de (Postel & Thomphson, 2005). ....	21
3.10	Importancia de la RBSM, conocimiento actual, adaptado de (Dix, 1997). ....	22
<b>4</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>26</b>
4.1	Objetivo general .....	26
4.2	Objetivos Específicos.....	26
<b>5</b>	<b>Consideraciones metodológicas</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>28</b>
6.1	Descripción de la vegetación y endemismo florístico de la RBSM.....	28
6.2	Descripción del clima.....	28
6.3	Descripción de los recursos hídricos y recursos naturales asociados .....	28
6.4	Servicios Hidrológicos.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>7</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>29</b>
	7.1.1 Descripción de la vegetación y endemismo florístico de la RBSM.....	29
	7.1.2 Integridad ecológica y conservación de la RBSM.....	40
7.2	Descripción de aspectos relevantes del clima.....	42
	7.2.1 Estación Los Albores.....	45
	7.2.2 Estación Pasabién.....	46
	7.2.3 Estación Morazán.....	48
	7.2.4 Estación San Lorenzo.....	49
	7.2.5 Estación Pancajoc.....	51
	7.2.6 Estación Las Delicias Hato.....	52
	7.2.7 Estación La Pinada Pancajoc.....	54
	7.2.8 Estación San Marcos. ....	55
	7.2.9 Estación Sepur Zarco.....	57

7.2.10	<i>Comportamiento espacial de las variables climáticas</i> .....	58
7.2.11	<i>Isoyetas</i> .....	59
7.2.12	<i>Isotermas (Celsius)</i> .....	59
7.2.13	<i>Isopletas</i> .....	59
7.2.14	<i>Mapa climático preliminar de la Sierra de las Minas</i> .....	64
7.2.15	<i>Datos climáticos relevantes respecto al papel hidrológico del bosque de la RBSM</i> .....	64
7.2.16	<i>Aspectos relevantes de la calidad del Agua de la RBSM</i> .....	65
7.3	Descripción sintética de aspectos relevantes de los recursos hídricos y recursos naturales asociados.....	70
7.3.1	<i>Cuenca San Jerónimo</i> .....	70
7.3.2	<i>Cuenca Teculután</i> .....	76
7.3.3	<i>Cuenca Pasabien</i> .....	82
7.3.4	<i>Cuenca Pueblo Viejo</i> .....	88
7.3.5	<i>Análisis integrado de activos y flujos de los recursos hídricos en las cuencas bajo análisis</i> .....	94
7.4	Servicios Hidrológicos en la RBSM. ....	97
<b>8</b>	<b>Consideraciones finales.</b> ....	<b>107</b>
<b>9</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>114</b>
9.1	Proyecto Monitoreo eco-hidrológico de la RBSM: .....	114
9.2	Proyecto de abastecimiento de agua y regulación hidrológica .....	115
9.3	Proyecto de apoyo usuarios y proyectos productivos para el uso eficiente del agua y la conformación de fondos de apoyo a la captación y regulación hidrológica de la RBSM. ....	116
<b>10</b>	<b>Bibliografía principal</b> .....	<b>117</b>

## **Lista de Figuras**

<i>Figura 1. Ciclo hidrológico</i> .....	12
<i>Figura 2. Hidrología forestal (tomado de Bruijnzeel, 1999).</i> .....	17
<i>Figura 3. Distribución de los tres fragmentos forestales a nivel nacional que presentan valores (mínimos) de integridad ecológica. Fuente (IARNA, 2009)</i> .....	41
<i>Figura 4. Ubicación de estaciones meteorológicas en la reserva de la Biosfera Sierra de las Minas</i> .....	43
<i>Figura 5. Climadiagrama de la estación Los albores</i> .....	45
<i>Figura 6. Climadiagrama de estación Pasabien</i> .....	47
<i>Figura 7. Climadiagrama de la estación Morazán</i> .....	48
<i>Figura 8. Climadiagrama de la estación San Lorenzo</i> .....	50
<i>Figura 9. Climadiagrama de la estación Pancajoc</i> .....	51
<i>Figura 10. Climadiagrama de la estación Las Delicias Hato</i> .....	53
<i>Figura 11. Climadiagrama de estación La Pinada Pancajoc</i> .....	54
<i>Figura 12. Climadiagrama de estación San Marcos, Zarco</i> .....	56
<i>Figura 13. Climadiagrama estación Sepur, Zarco.</i> .....	57
<i>Figura 14. Isoyetas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas</i> .....	60
<i>Figura 15. Isotermas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas</i> .....	61
<i>Figura 16. Isopletas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas</i> .....	62
<i>Figura 17. Clasificación climática de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas.</i> .....	63
<i>Figura 18. Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este).</i> .....	65
<i>Figura 19. Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (Oeste). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	66
<i>Figura 20. Comportamiento de las mediciones de Fosfatos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	66
<i>Figura 21. Comportamiento de nitratos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	67
<i>Figura 22. Comportamiento de nitritos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (Este). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	67
<i>Figura 23. Comportamiento de amonio en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	67
<i>Figura 24. Comportamiento de amonio en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua</i> .....	68
<i>Figura 25. Ubicación de la Subcuenca San Jerónimo</i> .....	70
<i>Figura 26. Hipsometría de la subcuenca San Jerónimo</i> .....	71
<i>Figura 27. Microcuencas de la Subcuenca San Jerónimo</i> .....	72
<i>Figura 28. Recarga hídrica de la subcuenca San Jerónimo</i> .....	73
<i>Figura 29. Dinámica forestal 2001-2007 subcuenca San Jerónimo</i> .....	74
<i>Figura 30. Erosión potencial de la subcuenca San Jerónimo</i> .....	75
<i>Figura 31. Ubicación subcuenca Teculután</i> .....	76
<i>Figura 32. Hipsometría de la subcuenca Teculután</i> .....	77
<i>Figura 33. Microcuencas de la subcuenca Teculután</i> .....	78
<i>Figura 34. Recarga hídrica de la subcuenca Teculután</i> .....	80
<i>Figura 35. Dinámica forestal 2001-2007 para la subcuenca Teculután</i> .....	80

Figura 36. Erosión subcuenca Tecultán.....	81
Figura 37. Ubicación de la subcuenca Pasabien.....	82
Figura 38. Hipsometría de la subcuenca Pasabien.....	83
Figura 39. Microcuencas de la subcuenca Pasabien.....	84
Figura 40. Recarga hídrica de la subcuenca Pasabien.....	85
Figura 41. Dinámica forestal de la subcuenca Pasabien.....	86
Figura 42. Erosión en la subcuenca Pasabien.....	87
Figura 43. Ubicación subcuenca Pueblo Viejo.....	88
Figura 44. Hipsometría subcuenca Pueblo Viejo.....	89
Figura 45. Microcuencas de subcuenca Pueblo Viejo.....	90
Figura 46. Recarga hídrica de la subcuenca Pueblo Viejo.....	91
Figura 47. Dinámica forestal subcuenca Pueblo Viejo.....	92
Figura 48. Erosión subcuenca Pueblo Viejo.....	93
Figura 49. Precipitación del año hidrológico 2009-2010 comprada entre estaciones climáticas ubicadas en diversos estratos ecosistémicos de la cuenca Teculután y Pasabien.....	98
Figura 50. Máximas intensidades de precipitación mensual, comparada entre estaciones climáticas ubicadas en diferentes regiones ecosistémicas de las cuencas Teculután-Pasabien.....	99
Figura 51. Caudales promedio mensuales para el período 1994 2008 y año hidrológico 2009-2010.....	100
Figura 52. Esquema regulación hidrológica hipotética con la aplicación de esquemas de servicios ambientales hidrológicos.....	101
Figura 53. Anomalías del evento climático el Niño en el año 2009-2010. Fuente Noaa, 2010. ENSO Cycle presentation.....	102
Figura 54. Comportamiento y recurrencia de los fenómenos climáticos El niño y La Niña.....	103

## **Lista de Cuadros**

<i>Cuadro 1. Listado de especies reportadas como endémicas para la Sierra de las Minas y Guatemala o solo conocidas en la RBSM.</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 2. Deforestación en áreas protegidas de categorías de conservación I y II en Guatemala.</i>	<i>42</i>
<i>Cuadro 3. Resumen de la información climática de la región de la RBSM</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 4. Clasificación climática estación Los Albores</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro 5. Clasificación climática estación Pasbien</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro 6. Cuadro de clasificación climática de estación Mirazán.</i>	<i>49</i>
<i>Cuadro 7. Clasificación climática estación San Lorenzo.</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 8. Clasificación climática estación Pancajoc.</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 9. Cuadro de clasificación climática de la estación Las Delicias Hato.</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 10. Cuadro de clasificación climática estación La Pinada Pancajoc.</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 11. Clasificación climática estación San Marcos Zarco</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 12. Clasificación climática de la estación Sepur Zarco.</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 13. Gradientes de variables climáticas entre las diferentes estaciones.</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 14. Marco analítico integrado de activos y flujos de los recursos hídricos en las cuencas bajo análisis</i>	<i>95</i>

## ***Agradecimientos***

Se agradece la colaboración del personal de Fondo del Agua y Defensores de la Naturaleza, especialmente la participación activa de Oscar Nuñez, Carlos Velásquez, Oscar Rojas y Alex Guerra. Asimismo se extiende un agradecimiento al personal de campo que recopila información hidrológica y climática.

### ***Equipo consultor principal***

***Coordinador: Juan Carlos Rosito Monzón***

***Recursos hídricos: Marvin Salguero Barahona***

***Sistemas de información geográfica: Gerónimo Esturado Pérez Irungaray***

***Análisis de Información: Oscar Alejandro Avalos Cambranes***

***Botánica Sistemática: Jorge Mario Vargas Ponce***

***Edición y documentación: Zucely Viviana Orellana León***

***Análisis de información: Carlos Alberto Duarte Carranza***

***Recopilación de información: Francisco Mariano Arriaza García***

# 1 Resumen ejecutivo.

La biodiversidad y el agua son elementos críticos para la vida en la tierra, especialmente los recursos hídricos juegan un papel fundamental en casi todas las actividades de la humanidad y son los recursos que más conflictos de uso generan. En este sentido el hombre debe aprender a manejar adecuadamente estos recursos de tal manera que su gestión pueda constituirse como el hilo conductor del desarrollo sostenible de nuestra sociedad o al menos para reducir los desequilibrios entre la sociedad y su medio (adaptado de CEPAL, 1999).

Este trabajo constituye una amplia recopilación de información secundaria en los temas ecológico e hidrológico y climático de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas (RBSM). En tal sentido el presente trabajo se presenta analizando temas separados, tales como el análisis de aspectos ecológicos relevantes, aspectos climáticos relevantes, aspectos hidrológicos relevantes y luego se analizan y discuten integradamente. Posteriormente se hace una recopilación de la información de agua disponible, uso de los recursos hídricos y se definen indicadores del estado del ecosistema y de productividad hídrica. Esto para cada una de las cuencas definidas como estratégicas, las cuales son San Jerónimo, Teculután, Pasabien y Pueblo Viejo. Finalmente se definen algunas consideraciones finales a manera de englobar discusión general de resultados y conclusiones.

Entre las principales conclusiones se centran en los siguientes aspectos: a) la necesidad y utilidad de la generación de información ecológica e hidrológica de manera integrada para obtener criterios técnicos adecuados para la administración de los recursos hídricos, tener capacidad predictiva y la adaptación a un esquema ambiental y climático nuevo; b) los principales servicios hidrológicos de la RBSM son la capacidad de los ecosistemas a regular el ciclo hidrológico, lo cual implica disminuir los efectos negativos de los caudales máximos (asociados a inundaciones, destrucción de infraestructura y pérdida de la capacidad productiva y de almacenamiento hídrico de los suelos) y mínimos (asociados a desabastecimiento del subsistema socioeconómico, sobre todo en época seca); c) se evidenciaron y dimensionaron las extraordinarias propiedades del bosque nuboso de la RBSM, tanto desde el punto de vista ecológico como desde el punto de vista de regulación hidrológica; d) el cambio climático y la recurrencia de fenómenos climáticos como el niño constituyen una grave amenaza para que los ecosistemas de la RBSM conserven sus propiedades ecológicas y consecuentemente disminuyan significativamente su capacidad de regular el ciclo hidrológico, conllevando a su vez a catastróficas consecuencias al sistema socioeconómico; e) entre las principales acciones de adaptación al cambio climático están la de dotar al sistema de formas de no perder y/o recuperar su capacidad de regular el ciclo hidrológico. Todo ello debe estar basado en la generación de información científica confiable y en el conocimiento de los activos y flujos de los bienes y servicios naturales con énfasis en los hidrológicos.

Basado en lo anterior se emanan recomendaciones sobre cómo establecer un sistema de monitoreo ecohidrológico de la RBSM, el cual se considera fundamental para asegurar el abastecimiento hídrico en épocas críticas y para disminuir los efectos negativos de eventos extremos de sequía y de precipitación, los cuales presumiblemente serán cada vez más frecuentes y con mayor intensidad. Los métodos utilizados privilegiaron la recopilación y análisis de información consistente. Asimismo se generó información para complementar los vacíos de información existentes y para llegar a un entendimiento profundo de las interacciones entre los subsistemas natural, social y económico. Solamente de esta manera se podrán plantear alternativas pertinentes para contribuir significativamente a cumplir los objetivos de creación de la RBSM, privilegiando el desarrollo humano de los habitantes locales y conservación, de manera integral, del patrimonio natural de los guatemaltecos.

## 2 Introducción

Existe una creciente preocupación por el estado de la biodiversidad y el agua recursos en todo el mundo y la necesidad de articular las formas en que ambos pueden ser la conservación efectiva. El reto es lograr la conservación al mismo tiempo satisfacer las demandas de producción de los sistemas agrícolas, que son cada vez con mayor aumento de la población. A la cabeza de esta cuenca es un área protegida de bosque nublado, la Sierra de Las Minas Reserva de la Biosfera, destaca por su biodiversidad y como fuente de 62 ríos que alimentan el valle del río Motagua a continuación. (Martin, 2003)

Bajo las condiciones actuales, en Guatemala no parece existir un conflicto de metas entre la conservación de la biodiversidad y el crecimiento económico. Por el contrario, el crecimiento económico surge como una condición necesaria para la transformación del sector agrícola, así como para disponer de otras alternativas de empleo. El fomento de capital humano es una posibilidad para cambiar el curso del crecimiento económico del país, basado en el uso de recursos naturales y que, según el Banco Mundial (2002), hasta hoy no ha sido muy exitoso en la reducción de la pobreza. Así mismo, Loening (2002) muestra empíricamente que la formación de capital humano es indispensable para aumentar a largo plazo la tasa de crecimiento económico (Loening & Markussen, 2003).

El foco principal es sobre la labor de los geógrafos auto-identificados, aunque muchos estudiosos en campos afines, sobre todo los historiadores, arqueólogos y los antropólogos han hecho contribuciones importantes a esta historia. fases claras en esta historia son evidentes, a partir de finales de los años del siglo 19 con la labor del geógrafo alemán Karl Sapper. Geógrafos de América del Norte llegó a dominar el registro en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. La fase actual promete no sólo una nueva generación de investigadores, sino también nuevas direcciones, así como algunas continuidades con los temas y preguntas con un tiempo de un siglo de antigüedad a fondo. (Mathewson, 2004).

Este trabajo reúne y/o genera información climática, hidrológica y ecológica disponible hasta la fecha con el objetivo de sentar las bases científicas para la orientación de instrumentos de administración y gestión de la RBSM. En tal sentido el presente trabajo se presenta analizando temas separados, tales como el análisis de aspectos ecológicos relevantes, aspectos climáticos relevantes, aspectos hidrológicos relevantes y luego se analizan y discuten integradamente. Posteriormente se hace una recopilación de la información de agua disponible, uso de los recursos hídricos y se definen indicadores del estado del ecosistema y de productividad hídrica. Esto para cada una de las cuencas definidas como estratégicas, las cuales son San Jerónimo, Teculután, Pasabien y Pueblo Viejo. Finalmente se definen algunas consideraciones finales a manera de englobar discusión general de resultados y conclusiones. En anexos se presentan algunas ideas de proyectos propuestos para su discusión y consiguiente desarrollo.

## 3 Base conceptual

### 3.1 Creación de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas (RBSM)

En el marco de la declaratoria legal de la RBSM (decreto 49-90) se definen sus objetivos de manejo, los cuales, cabe destacar que han sido validados y legitimados como pertinentes por varios planes maestros sucesivos. Los objetivos de creación de la RBSM son: a) **Conservar sus ecosistemas, su biodiversidad, sus recursos genéticos** y sus bosques; b) **proteger fuentes de agua y cuencas hidrográficas**, por su importancia socioeconómica para las áreas circundantes de la reserva; c) usar de forma sostenible los **recursos naturales, para beneficio de las poblaciones locales**; d) proteger y manejar la **RBSM en forma conjunta con la población local**; e) conocer los **ecosistemas y la riqueza biológica y genética de la Reserva**, para su aplicación en beneficio del país y la humanidad; f) preservar los **valores escénicos** únicos (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003).

### 3.2 Objetivos del Fondo de Agua

El objetivo fundamental de la creación del Fondo del Agua de la RBSM es asegurar a mediano y largo plazo la cantidad y calidad del proveniente de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, por medio de un mecanismo técnico - financiero, a través del cual se invierte en el adecuado manejo del agua y sus cuencas (Nuñez, 2005). Para este cometido se han definido sendos componentes de trabajo entre los que destaca el de generación de información, el cual incluye la generación de una base de datos para constituir la línea base sobre la información accesible (Defensores de la Naturaleza, 2004)

### 3.3 La Hidrología, sus ramas y ciencias afines.

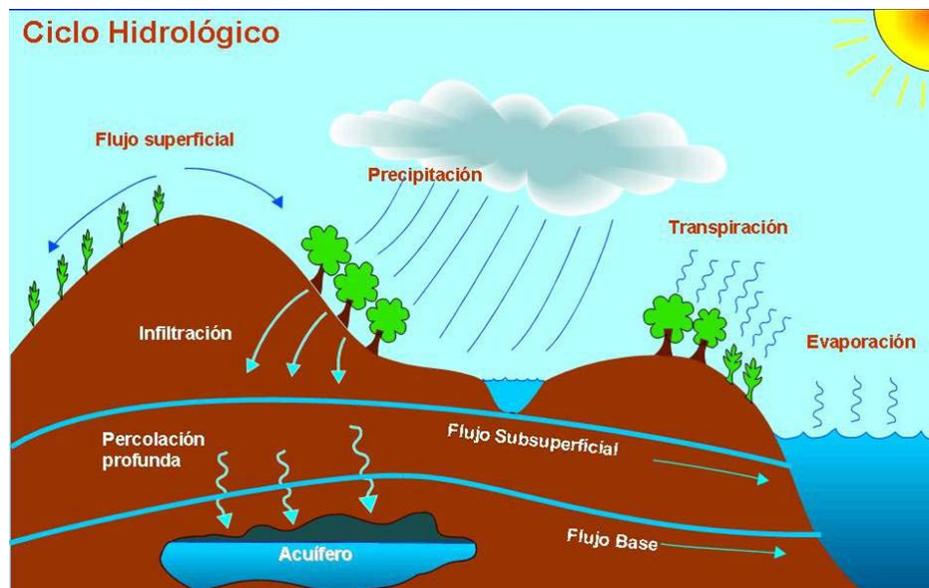
De acuerdo al U.S. Federal Council for Science and Technology, la Hidrología es la ciencia que versa sobre el agua de la tierra, su existencia, incidencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas, así como su influencia en el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos (Linsley J. , 1998; Monslave, 2008).

En este sentido el término de *Ciclo Hidrológico* es un punto útil, aunque académico, desde el cual comienza el estudio de la Hidrología. El ciclo hidrológico se define como un complejo sistema de circulación continua, a gran escala, que asegura el bombeo, destilación y transporte del agua en todas sus formas. (Linsley J. , 1998). El ciclo hidrológico se visualiza iniciándose con la evaporación del agua de los océanos. El vapor de agua resultante es transportado por masas móviles de aire. Bajo condiciones adecuadas el vapor de agua se condensa para formar nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación. Esta precipitación se dispersa en la tierra de diversas maneras la mayor parte de ésta es retenida temporalmente en el suelo y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación o transpiración de las plantas. Otra porción del agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo hasta alcanzar drenajes naturales de las corrientes. La porción restante penetra más profundamente en el suelo para conformarse en agua subterránea. Bajo influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse nuevamente a los océanos

El estudio de cada una de las diferentes fases del ciclo hidrológico ha derivado de la Hidrología General, algunas ciencias específicas, tales como Hidrogeología o Hidrología Subterránea, cuando se estudia el comportamiento del agua en el suelo o subsuelo. Hidrología Superficial que se centra en los fenómenos acaecidos en la superficie de las tierras emergidas. La Hidrología

Forestal trata de las relaciones entre el agua, el suelo, la morfología del territorio y la vegetación, dentro de una unidad de estudio denominada cuenca o vertiente, resaltando el papel de la cubierta vegetal y especialmente el bosque, como reguladora de los procesos que se producen en dicha unidad. En este contexto la hidrología forestal se ocupa del comportamiento del ciclo hidrológico bajo el ámbito de los ecosistemas forestales, así como la dinámica dentro de estos ecosistemas producto de su manipulación (Linsley J. , 1998; Herrera, 1995).

La Hidrología Forestal se engloba principalmente dentro de la hidrología superficial y está muy relacionada con la Hidrología subterránea y se complementa directamente con otras ciencias como: la Meteorología y Climatología, sobre todo en los aspectos que afectan el balance entre precipitación y evapotranspiración de una región. También se vincula a la Edafología y Geología, en lo que respecta a los procesos de infiltración, percolación, escorrentía superficial, etc., así como la Botánica, Fisiología y Ecología Vegetal y otras ciencias afines, así como, Silvicultura y Ordenamiento de cuencas (Linsley R. J., 1988; Martínez, 1998)



Tomado de <http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/img/ciclohid.jpg>

**Figura 1. Ciclo hidrológico**

Las fases principales del ciclo hidrológico son:

- Evaporación del suelo, plantas y océanos.
- Formación y desplazamientos de nubes y niebla.
- Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc.
- Escorrentía superficial, sobre el suelo.
- Infiltración, en el perfil del suelo.
- Percolación a estratos más profundos.
- Flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos).
- Formación de corrientes superficiales, como ríos y arroyos.
- Descarga en lagos, océanos y mares.
- Evaporación....y repetición del ciclo.

### 3.4 Ecohidrología

Ante la disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos en una escala global, la comunidad científica internacional ha hecho hincapié en la necesidad de nuevas soluciones. El desarrollo de esta ciencia se ha gestado partiendo de dudas fundamentales, tal como ¿Por qué los métodos actuales de gestión de recursos hídricos no proporcionan resultados satisfactorios? En este sentido resulta evidente que la actividad humana ha afectado gravemente los principales componentes regulatorios del ciclo del agua - la biota - especialmente durante los últimos dos siglos. Asimismo, la gestión del agua ha estado dominada por un enfoque mecánico-hidráulico, cuando en realidad, el ciclo del agua a escala de cuencas fluviales es el resultado de la evolución biogeoquímica (Zalewski, 2000; Janauer, 2000).

La ecohidrología, es el estudio de las interrelaciones funcionales entre la hidrología (ciclo hidrológico) y la biota (ecología) a escala de un sistema, generalmente la cuenca. Este se constituye en un nuevo enfoque para lograr la sostenibilidad y gestión más adecuada del agua. Se basa en tres principios: a) Integrar y comprender las interrelaciones del agua y la biota a escala de cuenca; b) entender que evolutivamente se ha establecido una resistencia de los organismos vivos al estrés, sobre todo hídrico y climático, a partir de las cuales pierden su capacidad de resiliencia; y c) uso de propiedades de los ecosistemas como instrumentos de gestión (medición de eficacia de gestión medida por la diversidad biológica, la calidad del agua y cantidad) (Van Dijk, 2003; Zalewski, 2000).

Uno de los principios fundamentales del desarrollo sostenible es que los ecosistemas presenten homeostasis (Zalewski, 2000), es decir la propiedad de regulación y estabilidad interna del un sistema. La homeostasis en un sistema (planta - ciclo hidrológico) es importante para la supervivencia del humano, debido al estado de sobreexplotación y degradación de la estructura biótica, los cuales en muchos casos han perdido su capacidad de resiliencia.

El ecosistema global es la resultado de la evolución biogeoquímica, por lo tanto, la comprensión procesos biológicos en muchas escalas en el medio ambiente abiótico es la clave para lograr la sostenibilidad ante el aumento exponencial de la población humana. Esta comprensión es fundamental para el control y la restauración ecológica y de la propuesta de procesos que mejoren el ecosistema en sus propiedades de resistencia y resiliencia.

En este contexto, la degradación de los ecosistemas de agua dulce, y por tanto de los recursos hídricos, tiene dos facetas: la contaminación, y la interrupción de los ciclos del agua y nutrientes. La contaminación puede ser sustancialmente eliminada con la utilización de tecnología adecuada. La degradación del agua es mucho más compleja, ya que se alteran dramáticamente los ciclos de nutrientes establecidos evolutivamente, por lo general relacionadas con la destrucción de la estructura biótica dentro de la cuenca y dentro el sistema de agua dulce. Mejorar la comprensión a escalas de la cuenca a los procesos moleculares, crea la base necesaria para el control de y la regulación de la dinámica de nutrientes y agua, en última instancia la mejora de la resistencia o la resiliencia de los ecosistemas acuáticos al impacto humano. Por lo tanto, mejorar el conocimiento integral entre hidrología y ecología ha sido fundamental a la utilización de propiedades de los ecosistemas como herramientas de gestión para la mejora de los recursos hídricos y el mantenimiento de la biodiversidad (Janauer, 2000) (Zalewski, 2000).

El planteamiento de hipótesis/objetivos de trabajo de los estudios de ecohidrología ayudan a aclarar aún más el concepto y aplicaciones de esta, relativamente nueva ciencia. A continuación se presentan una adaptación de la propuesta de Zalewski para este fin (Zalewski, 2000; Van Dijk, 2003; Janauer, 2000):

1. Lograr la comprensión profunda del régimen hidrológico [disponibilidad de agua] y la distribución de la biota en sistemas de corrientes de agua.
2. El enfoque ecohidrológico puede ser una herramienta hacia la utilización sostenible de los recursos hídricos por la mejora de la resistencia, elasticidad y capacidad de almacenamiento temporal de corrientes fluviales.
3. Estimar la vulnerabilidad de los ríos, embalses, estuarios, etc. que dependen del patrón estacional del ciclo hidrológico y procesos bióticos, los cuales pueden ser modificados [o adaptados] por la influencia de la sociedad.
4. Definir cargas y flujos de nutrientes de sistemas acuáticos, los cuales dependen en gran medida de las perturbaciones inducidas por el hombre y de los sistemas bióticos.
5. Definir la intensidad y la duración de las inundaciones, las cuales pueden ser modificadas por características biológicas y manejo de las áreas de riveras de río, que a su vez son modificados por el régimen hidrológico.
6. Utilización de información ecológica obtenida a escalas menores inferir procesos hidrológicos a escalas mayores.
7. Comprender las interacciones planta-ciclo hidrológico para mejorar la capacidad predictiva del régimen hidrológico como una base para la gestión rentable de los recursos hídricos y paisajes.
8. Optimización de la estructura de las zonas de ecotono, como zonas ribereñas de amortiguación, los humedales, o las llanuras de inundación como una herramienta importante para la reducción de la transferencia de nutrientes desde el cuenca del río aguas abajo y otros beneficiarios
9. Los índices correspondientes a la planificación predictiva y gestión de los recursos hídricos debe basarse en los datos locales e inferencias hidrológicas de gran escala procesos.

### **3.5 La cuenca hidrográfica.**

Se denomina Cuenca o Vertiente a una zona de la superficie terrestre en la cual el agua procedente de la precipitación caída sobre ella, se dirige hacia un mismo punto de salida (Martínez, 1998; Custodio & LLamas, 2001). Es un territorio en el que las aguas escurren a través de una red de cauces, y confluyen en un mismo punto (lago, corriente, acuífero), formando una unidad autónoma o diferenciada de otras. Es un territorio conformado como una unidad, física, natural, básica de la regulación del agua, donde el agua de lluvia es captada y desalojada o depositada en un almacenamiento natural por un sistema de drenaje definido por la topografía, iniciando en el parte aguas; adicionalmente, admite articular procesos de gestión que permiten alcanzar el desarrollo sustentable (Monslave, 2008; Linsley R. J., 1988).

Es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Constituye una unidad hidrológica descrita como una unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales (FAO, 1992).

### **3.6 Recarga hídrica.**

Lerner, la define como el proceso donde el flujo de agua desciende en el suelo, hasta alcanzar el nivel freático, incrementando el agua almacenada. Es decir, es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz. Esta puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas) (Custodio & LLamas, 2001).

La recarga puede ser natural cuando se produce por infiltración de la precipitación pluvial o de un curso de agua (ríos y lagos) o inducida debido a las actividades del hombre, como riego y urbanización. También se divide según el tipo de estimación en: recarga actual que es el volumen de agua que alcanza el nivel freático; y recarga potencial que es el volumen de agua, que puede tomar diferentes destinos como evapotranspiración, cambio de humedad en la zona insaturada del suelo, descarga a cursos de agua y alcanzar reservorios de agua subterránea (Custodio & LLamas, 2001).

La capacidad de infiltración de los suelos desempeña un papel fundamental en los procesos de regulación y escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, lluvias de iguales intensidades, pueden producir caudales diferentes su papel es fundamental también en el estudio de la recarga de acuíferos. Existen muchos factores que controlan la infiltración en un área determinada, por lo que su estimación confiable es bastante difícil y es imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan. Los principales factores que afectan la infiltración en una cuenca pueden agruparse en los siguientes grupos: Características físicas del suelo que incluye textura, estructura y condición del suelo (compactación y contenido de humedad). Suelos con texturas gruesas, poco grado de estructuración y compactación y con un bajo contenido de humedad, tienen una mayor capacidad de infiltración que los suelos con características diferentes. Los otros grupos a considerar son: La vegetación, características de la lluvia, pendiente del terreno, estratificación, la temperatura del agua y suelo y el estado físico-químico del mismo (Custodio & LLamas, 2001).

#### **3.6.1 Acuíferos**

Según Custodio y LLamas, es la capa o formación geológica donde el agua circula y se almacena, y que puede ser utilizada por el hombre en cantidades económicamente significativas (Custodio & LLamas, 2001). Lesser, agrega que esta agua, en la mayoría de casos sólo puede ser aprovechada a través de pozos.

De acuerdo a Herrera, los diferentes acuíferos conocidos según el tipo de flujo, la presión del agua, la extensión y continuidad de saturación, son:

Por el tipo de flujo: acuíferos en medios porosos (flujo en medios porosos) y acuíferos en medios fracturados o consolidados (flujo fisural). En base a la presión del agua y relaciones de conductividad hidráulica del acuífero (capa sobreyacente): acuífero libre o freático (no tienen capa confinante sobreyacente), acuífero semilibre (se presentan capas o lentes confinantes en algunas partes), acuífero semiconfinado (tiene un acuitardo como capa sobreyacente), y acuífero confinado (tiene dos capas confinantes, superior e inferior).

Y según la extensión y continuidad de saturación, se mencionan: acuífero colgado y acuífero regional o principal (Herrera, 1995).

### 3.6.2 Zona de recarga natural.

De acuerdo a Lesser, son las áreas ubicadas en topografías elevadas y en suelos permeables, que facilitan la infiltración y descenso del agua hacia los reservorios de agua subterránea (acuíferos). Y esta infiltración puede producirse no sólo por las aguas de lluvia, sino también por las aguas que circulan a través de los arroyos o corrientes. (Lesser, 1994).

### 3.6.3 Descarga natural.

Según Custodio & Llamas, 2001, es el volumen de agua que en un determinado tiempo sale de la zona de almacenamiento a través de los manantiales cuando la zona saturada queda cerca de la superficie terrestre.. Lesser, indica que la descarga natural de los acuíferos, además de realizarse por los manantiales, se efectúa por las corrientes del río (efluente). (Custodio & Llamas, 2001)

### 3.6.4 Manantiales.

Vargas (Citado por Custodio y Llamas, 2001), indica que el manantial es una fuente natural de agua, que surge a la superficie del terreno, en donde el nivel de saturación del agua corta la superficie topográfica. Los manantiales son los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben las zonas de almacenamiento de agua y representan al no utilizar bombeo, ahorro de energía y recursos económicos. (Custodio & Llamas, 2001).

## 3.7 El bosque y el agua.

El microclima que crea el bosque en relación al suelo raso es: menos luminoso, con reducción de la luminosidad hasta un 90 %; menos caluroso, con disminución de unos 4°C en la temperatura media anual; menos ventoso, con la reducción de la velocidad del viento hasta a la cuarta parte; más húmedo, con un aumento en el orden del 10 %. Este microclima hace que algunos factores ecológicos no actúen como limitantes y en consecuencia, contribuye sustancialmente a la estabilidad del sistema y propiciar la infiltración de agua en el suelo (Martinez, 1998).

Para conocer el impacto del bosque en la captación y regulación hidrológica es recomendable analizarlo por medio del balance hidrológico a nivel de cuenca. El balance hidrológico de una cuenca en un tiempo determinado está dado por el principio de conservación de masa o ecuación de continuidad:

$$\text{Entrada} - \text{salida} = ds/dt \text{ (velocidad de almacenamiento)}$$

En un período largo el tiempo  $ds$  tiende a cero, por lo tanto,  $\text{Entradas} = \text{Salidas}$ , es decir:

$$P \text{ (precipitación)} = I \text{ (infiltración)} + E \text{ (escorrentía)} + ET \text{ (evapotranspiración)}$$

En cuanto a la precipitación el ecosistema boscoso puede llegar a influir en el origen de la misma, causa intercepción (y posterior evaporación) de la lluvia antes de llegar al suelo. Al bosque se le atribuyen funciones de importante captación en algunos ecosistemas de las denominadas precipitaciones ocultas, de rocío, escarcha y precipitaciones horizontales. Asimismo, se ha evidenciado que el bosque influye en la infiltración del agua en el suelo aumentándola. El bosque otorga al suelo una mayor permeabilidad, especialmente por modificar las propiedades físicas de la parte superficial (Bruijnzeel, 1990; Custodio & Llamas, 2001).

El papel fundamental que desempeñan los bosques sobre la escorrentía es la de modificar su forma en el agua superficial y disminuir la cantidad de agua que accede a los cauces, disminuyendo drásticamente las aportaciones superficiales y aumentando las subterráneas. Este es el aporte más importante de un bosque a la “producción hídrica” de una cuenca dada y sobre todo es más evidente e importante en aquellas áreas de aptitud preferente forestal, es decir, que presenten altas pendientes, poca profundidad, o en general, alta susceptibilidad a la erosión química o física. De acuerdo a muchas referencias la evapotranspiración constituye una de las principales salidas de agua del sistema. En nuestro medio se estima que alcanza del 40 al 60 % de las precipitaciones totales anuales. En este sentido el bosque se convierte en el mayor consumidor de agua en el ecosistema (García, 2007; Bruijnzeel, 1990; Martínez, 1998) .

Finalmente, es destacable la importancia del bosque sobre la calidad del agua que genera, la cual, está definida por sus características químicas, físicas y biológicas. Con la presencia de un ecosistema forestal natural, se puede prever la virtual inexistencia de sedimentos y materiales biológicos dañinos al hombre o al ecosistema. Asimismo, el bosque contribuye al mantener un equilibrio químico, bajas temperaturas y altos contenidos de oxígeno. En este sentido se puede concluir que es muy importante el papel del bosque para proporcionar alta calidad de los recursos hídricos a nivel de cuenca (Custodio & Llamas, 2001).

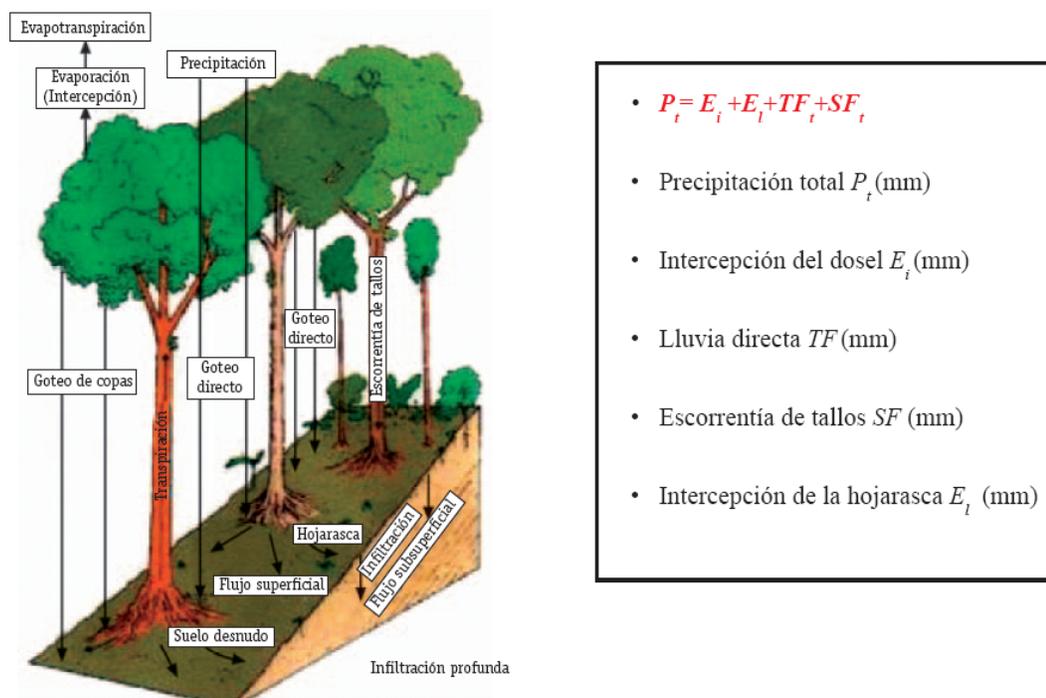


Figura 2. Hidrología forestal (tomado de Bruijnzeel, 1999).

### 3.8 Bosque nuboso. Adaptado de (Bruijnzeel S. , 1999)

Con la elevación altitudinal en las montañas húmedas del trópico, se aprecian cambios de apariencia y estructura. Al principio, estos cambios son graduales. Los árboles altos a menudo de las tierras bajas presentan varios estratos verticales (altura del dosel principal 25 a 45 m, con emergentes de hasta 60 m).

En el siguiente piso altitudinal se encuentra el bosque montano bajo. Este presenta una altura media del dosel de hasta 35 m de la parte inferior de la zona de montaña y árboles emergentes de hasta 45 m, bosque montano bajo todavía puede ser muy impresionante. Sin embargo, únicamente presenta dos en lugar de tres diferentes estratos verticales, la estructura del bosque montano bajo es más simple que la de los bosques de tierras bajas. Además, la gran cantidad de lianas trepadoras que eran tan abundantes en los bosques de tierras bajas han desaparecido y dan lugar a epífitas en ramas y tallos de los árboles (orquídeas, helechos, bromelias) se vuelven más numerosos al aumentar la elevación (Whitmore, 1998).

El cambio de los bosques de tierras bajas a bosques montanos, aparentemente, es controlado en gran medida por la temperatura. Esto se deduce a partir de observaciones en las cuales normalmente la elevación en la temperatura mínima media desciende por debajo de 18 °C. En este umbral muchas especies de árboles de tierras bajas son desplazados por un conjunto florísticamente diferente en condiciones de montaña (Kitayama, 1992).

En grandes montañas continentales cercanas al ecuador, por lo general esta transición se produce a una altitud de 1200 - 1500 msnm, pero puede ocurrir a alturas mucho menores en las pequeñas montañas periféricas en isla y lejos del ecuador.

Al aumentar la altitud sobre el nivel del mar, los árboles se vuelven gradualmente más pequeños y también se evidencia la presencia mucho mayor de musgos "(cambio de 10% al 25-50% de musgo cubriendo los tallos). Por lo general se presenta un cambio muy claro, el dosel del bosque de relativamente alto (15-35 m de estatura) en bosque montano bajo a mucho más bajo (2-20 m) en bosque montano alto, además se evidencia la presencia de mucho más musgos (70-80% de cobertura briófitas) en este último (y Frahm Gradstein, 1991). Aunque en este punto los dos tipos de bosques no están separados por un umbral térmico, no puede haber duda de que la transición de montano bajo a alto coinciden las condiciones del nivel de condensación de las nubes, es decir, donde estas se vuelven más persistente (Grubb & Whitmore, 1966).

En grandes montañas en las regiones ecuatoriales del Océano este fenómeno ocurre típicamente en elevaciones de 2000 - 3000 m, sin embargo también es frecuente observar una formación incipiente de nubes a 1200 m sobre el nivel del mar, es decir, aproximadamente en el extremo inferior del piso montano inferior. En pequeñas montañas de islas, sin embargo, el cambio de inferior a bosques montanos superiores se puede producir una altura mucho más baja (a menos de 500 m sobre el nivel del mar) (Van Steenis, 1972). Los musgos también comienzan a cubrir las rocas y los troncos caídos sobre la superficie del suelo en la zona de bosque montano alto.

Con la elevación cada vez mayor y la exposición a la niebla y el viento es posible observar la apariencia de los árboles cada vez más retorcida, además los bambúes a menudo reemplazan a las palmas como especies dominantes sotobosque (Kappelle, 1995). La misteriosa impresión de esta maraña, humedad, niebla el brillo en el sol de la mañana, ha dado lugar a nombres de este bosque como 'enano' o bosque de hadas, el en cual la forma dominante de plantas leñosas es más empedregada, a este bosque técnicamente también se la denomina bosque montano superior (Stadtmüller, 1987).

Un tercer cambio importante se presenta en la composición y la estructura de la vegetación. Asimismo la temperatura máxima promedio se torna inferior a 10 °C. Cuando esto sucede la parte del bosque enano superior da paso a bosques montanos todavía más pequeño de estatura (1,5 - 9 m) y con especies diferentes, este ecosistema es denominado bosques subalpinos (Kitayama, 1992). Este tipo de bosque se caracteriza no sólo por su baja estatura y aspecto rugoso, sino también por las hojas aún más diminutas, y una comparativa ausencia de epífitas. Los musgos suelen permanecer en abundancia, sin embargo, la incidencia de nubes sigue siendo una característica primordial (Frahm & Gradstein, 1991). Estos se observan generalmente en altitudes entre los 2800 y 3200 m. Como tal, este tipo de bosque se encuentra sólo en las montañas más altas, sobre todo en América Latina y Papua Nueva Guinea, donde podrá ampliarse hasta cerca de 3900 m (Whitmore, 1998).

Se desprende de las descripciones anteriores que la mayoría de bosques montano bajo y montano alto y subalpinos, están sujetos a diversos grados de incidencia de las nubes. Como se indicó anteriormente, definiciones, los nombres y la clasificación de los complejos de vegetación respectivos son múltiples, como así como la superposición y, a veces, contradictorios (Stadtmüller, 1987). Bruijnzeel y Hamilton (2000) proponen distinguir los tipos de bosques, de acuerdo a la presencia del musgos, en una gradiente ascendente de altitud: (i) bosque montano bajo (bosque alto poco afectada por nubes bajas, pero rica en epífitas), (ii) límite inferior del bosque mesófilo de montaña, (iii) bosque montano alto nublado, y (iv) bosque nublado subalpino. De este modo, la definición ampliamente adoptada de los bosques nublados es la siguiente: "Bosques que son frecuentemente cubiertos por nubes o niebla" (Stadtmüller, 1987; Hamilton, y Juvik Scatena, 1995) en esta se incluye a la vez que se reconoce la importante influencia de la temperatura y la humedad sobre la zonificación del bosque montano.

La formación de nubes está determinada por el contenido de humedad y temperatura de la atmósfera. Naturalmente, cuanto más húmedo el aire, más pronto se condensará al ser enfriado durante la elevación. Con el aumento de la distancia al mar el aire tiende a ser más seco, en tal sentido, se necesitará más tiempo para enfriar a su punto de condensación la base de la nube que se asocia a este fenómeno será mayor. Del mismo modo, para un contenido de humedad dado, el punto de condensación se alcanza más rápidamente para el aire frío que para el aire caliente. Así, a mayor distancia del ecuador, la temperatura media, y por tanto la altitud a la que se produce la condensación, será menor (Nullet y Juvik, 1994).

Superpuesto a lo anterior la humedad atmosférica mundial y gradientes altitudinales o continentales de temperatura son el efecto local derivado de las temperaturas de la superficie del mar y las corrientes de humedad correspondientes, el tamaño de una montaña y su orientación y la exposición a los vientos dominantes, así como factores topográficos locales (Stadtmüller, 1987). Expertos internacionales coinciden en que las temperaturas de la superficie del mar influyen en la temperatura de la sobrecarga del aire y así el "punto de partida" para enfriamiento.

La enorme masa de grandes montañas expuestas a intensa radiación solar durante períodos despejados eleva la temperatura del aire que lo cubre, permitiendo así a las plantas de bosques de tierras bajas amplíen su rango de distribución altitudinal. Si bien esto puede ser cierto para mazisos grandes no es una explicación probable para las montañas de tamaño intermedio en el que este efecto también se observa. En cambio, la contracción de las zonas de vegetación en muchas pequeñas montañas de la costa debe atribuirse a la elevada humedad del aire oceánico promoviendo la formación de nubes a (muy) baja altitud y no a una tasa de temperatura más pronunciada asociados con pequeñas montañas. Se ha especulado con otra explicación a este fenómeno, la cual proviene de la observación de que el efecto es más pronunciado en las zonas con alta precipitación y por lo tanto de alta humedad atmosférica (Van Steenis, 1972; Bruijnzeel et al., 1993). Si bien la base de la nube de las islas pequeñas se observa a menudo en una

elevación de 600 a 800 m, los bosques nubosos enanos se presentan en las laderas costeras expuestas a las lluvias elevadas y nubosidad persistente impulsada por el viento. Ejemplos de la zona ecuatorial son el monte cerca de la Payung extremo occidental de Java y Finkel Monte en la isla de Kosrae (Micronesia), donde están los bosques enanos encuentran tan bajas como 400 a 500 m (Hommel, 1987; Merlin y Juvik, 1995). Un caso aún más extremo proviene de la isla de Gau en el archipiélago de Fiji, donde la combinación de alta precipitaciones y fuertes vientos ha provocado la aparición de un bosque enano nublado viento podado a una altitud de sólo 300 a 600 m sobre el nivel del mar (Watling y Gillison, 1995). Los ejemplos anteriores ilustran la importancia de la exposición de un sitio dado.

En general, los límites del bosque cubierto de musgo de cualquier tipo de (alta montaña, subalpinos, o bosque nublado enano a baja altitud) de sotavento se encuentran muy por encima de las de barlovento. En casos extremos, como en los Andes colombianos, la diferencia de altura puede ser hasta 600 m (Stadtmüller, 1987). Además, los bosques de sotavento tienden a ser más desarrollados que sus homólogos más expuestos a barlovento. En el Bosque Nuboso de Monteverde, norte de Costa Rica, los árboles de "bosque nuboso de sotavento son 25 a 30 m de altura frente a 15 a 20 m de los bosques nubosos cercanos barlovento, los cuales son florísticamente similares. Por otra parte, hacia las crestas expuestas de las laderas de barlovento la altura de la vegetación disminuye aún más a los 3 a 10 m a lo largo de un gradiente altitudinal de sólo 30 a 50 m (Lawton y secadora, 1980).

Los suelos de los bosques montanos nubosos altos y enanos son típicamente muy húmedos y, en casos extremos, persistentemente cerca de la saturación. Como resultado, la descomposición de materia orgánica es lenta y capas arables se turba y ácido (Bruijnzeel y Proctor, 1995). Trabajos en las Montañas Azules de Jamaica sugiere que el crecimiento lento del bosque nublado de montaña más alto es debido a niveles tóxicos de aluminio en los suelos que, a su vez, se ve afectada la absorción de nutrientes por los árboles y una serie de procesos ecológicos forestales otros (véase Hafkenscheid de 2000, para más detalles).

En el otro extremo de la escala, árboles de bosque montano nuboso muy altos (hasta 50 m) se encuentran bosques de roble a gran altitud (hasta 3000 m) en el interior de macizos de montaña de América Latina (Kappelle, 1995) y Papua Nueva Guinea (Hyndman y Menzies, 1990) más que probablemente reflejan una combinación afortunada de aire ligeramente más caliente y más seco (debido a la elevación de la masa del 'efecto', distancia del mar y la protección topográfica), así como la presencia de suelos con buen drenaje, en el que las condiciones tóxicas descritas Hafkenscheid (2000) observadas en ambientes más no se desarrollan.

Respecto a aspectos climáticos, hasta ahora, la mayor atención se ha centrado en los gradientes climáticos y otros factores que regulan la elevación de la base de la nube. Otro de los fenómenos climatológicos, que influye en la perfil vertical de temperatura del aire y el nivel superior de formación de las nubes, es el llamado "Inversión vientos alisios". Como parte de un patrón de circulación atmosférica a gran escala, se eleva el aire caliente a gran altura en la zona ecuatorial, que fluye hacia los polos y hacia el este a los niveles máximos de la atmósfera y descendiendo en una ancha faja exterior en los trópicos y subtropico, desde donde regresa a la línea ecuatorial. Este hundimiento alcanza su máxima expresión en los centros oceánicos subtropicales de alta presión y en los márgenes orientales de las cuencas oceánicas. Cuando el aire desciende y se calienta de nuevo, se forma una inversión térmica que separa la capa húmeda del aire en la superficie (que se enfría mientras se levanta). En el Océano Pacífico, la inversión se encuentra a sólo unos cientos de metros sobre el nivel del mar, por ejemplo frente a las costas del sur de California, llegando a cerca de 2000 m, cerca de Hawai y disipándose en la zona ecuatorial Pacífico occidental (Nullet y Juvik, 1994).

### 3.9 Servicios ambientales. Adaptado de (Postel & Thomphson, 2005).

Debido a que las cuencas hidrográficas conectan y abarcan ecosistemas terrestres, de agua dulce, se dan lugar una gran variedad de fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico, derivados de los cuales la sociedad puede acceder a suministro y purificación de agua potable, la provisión de hábitat que salvaguarda la pesca y la diversidad biológica, el secuestro de carbono que ayuda a mitigar el cambio climático, y el sitio para desarrollar recreación y el turismo. En el lenguaje de la economía ecológica, las cuencas son activos naturales que proporcionan un flujo de bienes y servicios a la sociedad. Sin embargo en los mercados comerciales, el valor de estos servicios por sólo es internalizado parcialmente. El hecho de no incorporar adecuadamente el valor de los recursos naturales y servicios que se derivan de las cuencas hidrográficas, lo cual repercute en un uso y manejo de tierras de cuencas inadecuado y, a su vez, produce la reducción de los beneficios netos que las sociedades obtienen. Cambios de uso del suelo de los bosques las tierras de cultivo, por ejemplo, y las tierras de cultivo a lo urbano -asentamientos- disminuye la capacidad de una cuenca a realizar su labor ecológica.

Bienes y servicios prestados los ecosistemas en una cuenca hidrográfica sana

- Suministro de agua para fines agrícolas, industriales y usos urbanos domésticos
- Filtrado de agua / purificación • Regulación del caudal • Control de inundaciones
- La erosión y control de la sedimentación
- Pesca
- Madera y otros productos forestales
- Recreación / Turismo
- Hábitat para la preservación de la biodiversidad
- Estética disfrute
- La estabilización del clima
- Actividades culturales, religiosas, los valores de inspiración

En gran parte del mundo, la degradación y la modificación de las cuencas hidrográficas ya ha progresado en gran medida. Un análisis global de 106 cuencas encontró que en casi un tercio de ellos, más de mitad de la superficie de la tierra se había convertido a la agricultura o el uso urbano-industrial. En Europa, 13 cuencas han perdido en por lo menos 90% de su cubierta vegetal original. Yangtsé de China y cuencas de los ríos Amarillo han perdido el 85% y 78% de su la cubierta forestal, respectivamente. En la cuenca del Indo, más de 90% de las tierras forestales han sido convertidas a otros usos, al igual que prácticamente todas las tierras forestales del Senegal y Lago Chad en las cuencas del África subsahariana (Revenge et al. 1998).

La capacidad de las cuencas en buen estado de conservación, para regular el flujo del agua y purificar el agua potable es uno de sus servicios más tangibles y valiosos. La pérdida progresiva de estos servicios deriva en riesgos de daños a la salud humana mediante el consumo de agua de baja calidad, el aumento de los costos del agua, en particular, y la menor productividad de los cultivos y la producción hidroeléctrica causa la disminución o mala regulación de los flujos durante la estación seca.

El cambio de uso de suelo en tierras críticas en cuencas naturales es notorio, muchos países industrializados han recurrido a cada vez más tratamiento tecnológico sofisticados procesos para eliminar patógenos y otros contaminantes del agua potable en bruto fuentes de menor calidad. En Dinamarca y Alemania, por ejemplo, el costo promedio de agua potable es de tres veces mayor que en Australia y los Estados Unidos, y cuatro veces mayor que en el sur de África. Aunque otros factores juegan un papel en estas diferencias, la pérdida de funciones de la

cuenca natural desempeña una parte importante. Para la sociedad es un enorme reto satisfacer las necesidades de agua de la creciente población de áreas urbanas y rurales, en tal sentido las cuencas reguladas son los activos naturales que paulatinamente aumentan de valor.

La falta de información confiable, tanto científica como económica, sobre los vínculos entre los usos del suelo en una cuenca hidrográfica y sus correspondientes servicios hidrológicos que las cuencas hidrográficas proporcionan complica la tarea de diseñar instrumentos y/o mecanismos institucionales adecuados para la protección de cuencas hidrográficas. Sin embargo, la combinación de diversidad de esfuerzos a nivel global, actualmente ofrecen ideas y lecciones valiosas (Postel & Thomphson, 2005).

### **3.10 Importancia de la RBSM, conocimiento actual, adaptado de (Dix, 1997).**

La Sierra de las Minas forma una cadena montañosa de 15-30 km de ancho que se extiende desde el Lago de Izabal hacia el oeste por 130 km (Mapa 25). Cubre 4374 km<sup>2</sup> en los departamentos de Izabal, Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz y Alta Verapaz. Esta cadena montañosa se limita al sur por el río Motagua y al norte por el río Polochic, que fluyen en los valles formados por las fallas geológicas correspondientes del mismo nombre. La mayoría de los 62 arroyos permanentes que nacen en la Sierra de las Minas drenan ya sea directamente en el Polochic o Motagua. En el norte, la Sierra desciende abruptamente hasta el valle del Polochic. Una cresta ininterrumpida por encima de 2100 msnm se extiende desde cerca de Chilascó hacia el Cerro Raxon (3.015 msnm y punto más alto de la Sierra) continua por 65 km al este hasta la Montaña El Imposible (2610 m). A partir de este sitio se presenta hacia el este una caída gradual hacia el Lago de Izabal y el Río Motagua.

El terreno y pendientes en la vertiente sur es menos pronunciada y los bosques más accesibles. Al oeste, la sierra está limitada por los valles de Salamá y San Jerónimo, de origen ígneo. Hacia el norte, formaciones de rocas paleozoicas, incluyen esquistos y gneises, Al sur hay evidencia de metamorfismo en grado terciario de anfibolitas y mármoles. Además se encuentran cinturones de serpentina a lo largo de la margen norte-occidental y la parte sur de la cordillera (Weyl, 1980).

Los suelos son poco profundos por lo general, a menudo lateríticos, 25-50 cm de profundidad y consisten en arcillas aluviales y margas. Sesenta y cinco por ciento se encuentran en laderas muy susceptibles a la erosión. El Valle del Polochic contiene ricos suelos de aluvi3n. La Sierra de las Minas está fuertemente influenciada por los vientos alisios del noreste provenientes del Mar Caribe. Las precipitaciones varían entre más de 4000 mm en las cimas de las montañas y 2000 mm en las laderas que dan Polochic a menos de 500 mm en el oeste del valle del Motagua en torno a Zacapa (Vora, 1994).

En general las precipitaciones son estacionales, especialmente en las laderas del sur, con una disminución marcada de enero a abril. Las temperaturas varían considerablemente; se carece de información, especialmente para las elevaciones más altas. En el árido valle del Motagua, la temperatura media promedio de 24 ° C, oscilando entre 11,5 ° y 41 ° C, a elevaciones intermedias la temperatura puede oscilar entre 5 ° y 25 ° C, y en el 1750 msnm más heladas débiles de forma regular experimentó entre diciembre y marzo. Las laderas más altas de la sierra son casi deshabitadas, mientras que el Motagua y los valles Polochic son poblaciones étnicamente distintas. Hacia el sur en el valle del Motagua la población es "ladinos" (mestizos), con numerosos pequeños pueblos y aldeas, entre ellas Río Hondo con 15.000 habitantes. Los cultivos de subsistencia son el denominador común, tal como el maíz, los frijoles y el repollo, junto con los tomates, melones, tabaco y pepino en los cultivos comerciales. El café a media altitud y fincas de cardamomo se puede encontrar, junto con una alta densidad de ganado y la extracción de madera, sobre todo pinos de postes eléctricos. La caza es un pasatiempo popular.

Las laderas del Polochic están habitadas por los Q'eqchí al norte y Poqomchi y Achí hacia el oeste. Estas laderas bajas y valles están dedicados a las grandes explotaciones con ganado, caña de azúcar y el arroz como fuente principal de ingresos, y el café y el cardamomo por encima de c. 600 m. Las laderas superiores abruptamente son invadidas por familias indígenas desplazadas de las elevaciones más bajas. Esta es una amenaza significativa para la Reserva de la Biosfera, que sólo puede ser mitigado por el énfasis en el uso sostenible de los recursos.

Dos tipos de vegetación de la sierra son especialmente significativas en la diversidad de especies, especies endémicas y la singularidad de Mesoamérica: parte inferior de matorrales espinosos y elevación del bosque nublado. El monte espinoso representa una de las áreas más secas de América Central, dominada por cactus y especies de Acacia, y es mucho más amenazada por la industria, la ganadería y los cultivos de regadío. Sólo 200-300 km<sup>2</sup> de esta formación se encuentra en buen estado de conservación. Las comunidades locales han expresado su interés en dejar de lado extensiones para la conservación. La mayor parte de la formación ya se ha alterado en mayor o menor medida. Las especies más abundantes son *Cephalocereus maxonii*, *guatemalensis* *Nyctocereus*, *Opuntia* spp., *Pereskia*, *Acacia* spp. y *Guaiaacum sanctum*.

El bosque nublado, en la zona de montano bajo la lluvia-bosque (sistema de Holdridge), cubre a c. 1300 kilómetros<sup>2</sup> más del 65% es, probablemente, los bosques primarios. Esto puede representar la mayor medida continua de bosque nublado en Mesoamérica. Los límites inferiores de elevación de 1.500 m en las laderas del norte, 1100 m en el borde sur-este y 1900-1950 m en los aspectos sur de la cordillera. La composición de especies varía dependiendo en la altura. Las elevaciones más altas (2700 m en adelante) tienen bosques con *Pinus ayacahuite*, *Abies guatemalensis* (foto), *Quercus* spp., *Taxus globosa*, *Alnus*, etc De 2000-2700 m predominan los bosques de frondosas, con importantes árboles de dosel *Quercus* spp., *Lauraceae* (*Persea donnell-smithii*, *P. sessilis* *P. schiedeana*), *Podocarpus oleifolius*, *Magnolia guatemalensis*, *costaricensis* Alfaroa, *hippocastrum* Billia y *Brunellia mexicana*.

Asociaciones de bosque nuboso, también ocurren en elevaciones más bajas en el bosque lluvioso premontano y bosque húmedo premontano hasta 1000 m sobre el Lago de Izabal y el Polochic laderas de orientación. La mayoría de estas asociaciones son todavía poco conocidas, pero parecen haber muchas especies interesantes que merecen más estudio. Por ejemplo la palma *Colpothrinax cookii*. Hay varias especies de orquídeas de todo los géneros de América del Sur, como *Paphinia* y *Kegeliella*. Los bosques de coníferas, que incluyen 13 especies, son importantes las reservas de germoplasma y madera.

Actualmente se está intentando incorporar estos bosques en sistemas sostenibles de aprovechamiento, sobre todo los de mediana y menor altitud, es decir, los bosques húmedos montanos dominados por *Pinus patula* subsp. *tecunumanii* y *P. oocarpa*. Las especies asociadas incluyen *Quercus* spp., *Liquidambar*, *skutchii* *Acer* y *Tillandsia usneoides*. En las elevaciones más bajas, en los bosques húmedos premontanos se encuentran dispersas extensiones de *Pinus caribea*, en asociación con *Curatella americana* y *Quercus* spp. Destacan afloramientos de piedra caliza. *Juniperus comitana* y *Cupressus lusitanica* se encuentran como relictos en rodales dispersos en 1700-1900 m, y los bosques nubosos contienen *Abies guatemalensis*, *Taxus globosa*, *Podocarpus oleifolius* y *Pinus ayacahuite*.

En las laderas del sur en 1600-1900 m, una asociación muy interesante incluye varias especies de palma. Al sur y al oeste, límite inferior del bosque húmedo montano ocupa pequeñas extensiones caracterizadas por la presencia de *Quercus* spp., *Pinus oocarpa*, *Alnus jorullensis*, *Prunus barbata* y *P. brachybotra*. En las laderas secas del sur de la sierra hasta alrededor de 900 m, extensiones de hoja caduca de bosque tropical seco en bosque seco premontano. Las

especies incluyen *Quercus* spp., *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Ceiba aesculifolia*, *Leucaena guatemalensis*, *vitifolium Cochlospermum*, *Gliricidia sepium* y *ellipticum Pseudobombax*.

La flora de la Sierra de las Minas está representada en la Flora de Guatemala (Standley, Steyermark y Williams 1946-1977). Este trabajo recopila ampliamente la diversidad florística en el lado de la sierra del Motagua en Zacapa y El Progreso. Sin embargo, debido a su inaccesibilidad, la flora de la cuenca del Polochic es poco conocida, y hay zonas a ambos lados donde no ha habido casi ninguna exploración. Las orquídeas son probablemente el más conocido: 230 especies en 25 géneros (Ames y Correll 1952-1953; Correll, 1965; Dix y Dix 1990); 30% de las especies conocidas de Guatemala, se presentan en la Sierra de las Minas (Dix y Dix, en prep.). Entre ellas se encuentran especies endémicas (por ejemplo, *Epidendrum sobraloides*) y otros conocidos de Guatemala sólo en esta región.

La Sierra de las Minas, con cerca de 2000 especies registradas es rica tanto en especies endémicas - por lo menos 70 - y de especies en el límite norte o del sur de su área de distribución. Como elementos representativos de las regiones templadas del Norte de América, se encuentran: *Acer skutchii*, *Liquidambar styraciflua* y *Taxus globosa*. Elementos del Sur incluyen las especies: *Podocarpus*. Además de las especies endémicas de la sierra, el 35% de las reportadas en Flora de Guatemala, que se considera endémica en Guatemala todavía se pueden encontrar en la sierra. Muchas de estas especies han desaparecido de otras localidades de Guatemala.

Plantas útiles. En general, el potencial de recursos para la región es alta, pero la mayoría de especies son subutilizadas. La extracción de madera es una fuente importante de ingresos, especialmente en la vertiente sur. Las especies más explotadas son *Pinus oocarpa*, *P. patula* subsp. *tecunumanii* y *P. caribea*, utilizado especialmente para postes, traviesas de ferrocarril y muebles. La mayoría de los postes de electricidad producida en Guatemala provienen de esta región. Hay un gran potencial para el desarrollo de plantaciones de coníferas en las laderas deforestadas en todos los de la sierra. La diversidad de coníferas podría dar lugar a una industria sostenible de semillas de la cosecha. En la cuenca del Polochic y las faldas orientales *Cedrela odorata*, *Dalbergia palo de rosa*, y *Vochysia* spp. (San Juan) se han cosechado en el pasado, pero la información relativa a los fondos disponibles no existe.

Las raíces adventicias de varias especies de helechos de árboles (*Dicksonia*, *Cyathea*, *Alsophila*) se cosechan para producir macetas o la fibra se utiliza como sustrato para el cultivo de plantas ornamentales. El bambú se utiliza en cestería. Las plantas medicinales son abundantes. Estas incluyen especies de *Ocimum*., *Crescentia alata*, varios *Rubiaceae* (por ejemplo, *Borreria ocymoides*, *Randia armata*, *Hamelia patens*), *Dorstenia contrajerua*, *Neurolaena* spp. y muchas *Solanaceae*. Varias especies de solanáceas y cucurbitáceas representan recursos potenciales de germoplasma de plantas alimenticias, incluidas las variedades locales de tomate. Con los estudios correspondientes, se produce un desarrollo potencial para la producción y venta de plantas ornamentales como begonias, palmas, orquídeas, bromelias y peperomias, y plantas medicinales, incluidas las especies rendimiento anticonceptivos y medicamentos contra la malaria.

Los valores sociales y ambientales. La Sierra de las Minas es un importante generador de precipitaciones orográficas de los alrededores del Polochic y Motagua valles, dando lugar a 62 corrientes de agua permanentes. En el norte, los agricultores dependen de estas lluvias para el café, el cardamomo y la producción de arroz y la ganadería. Hacia el sur, esta es la precipitación sólo llegar a la parte norte-oriental del árido Valle del Motagua. tabaco, así como las necesidades básicas de la población local, los cultivos agrícolas (por ejemplo, el melón, uvas,

frutas cítricas, tomates) dependen de la irrigación proporcionada por los pequeños ríos que fluyen de la sierra. La pequeña industria, también depende de un suministro constante de agua, incluye refrescos, fertilizantes y plantas de reciclaje de papel, asimismo, la energía hidroeléctrica que se genera en la estación de Río Hondo. Sin embargo, el flujo de agua se ha reducido más del 40% durante los últimos 10 años y la capa freática ha descendido, probablemente debido a la pérdida de la vegetación.

La fauna de la sierra es muy diversa. La región presenta más de 800 especies de aves. Significativamente, los bosques nublados da refugio a la mayor población remanente del ave nacional de Guatemala, el quetzal (*Pharomacrus mocinne*). Además, la Sierra de las Minas se encuentra en el Norte de América Central, en el sitio conocido como Área de Aves Endémicas (EBA A14), que incluye una serie de cadenas montañosas en el sur de México (Chiapas, por ejemplo), Guatemala, El Salvador, Honduras y el noroeste de Nicaragua. En esta región se reportan 21 especies de aves y una gran parte se encuentran en la Sierra de las Minas. El enigmático y amenazado Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*) fue encontrado recientemente en esta sierra (Howell y Webb 1992).

Otros animales incluyen el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado matacán (*Mazama americana*), los pecaríes (*Tayassu pecari*), jabalí (*Tayassu tajacu*), el puma (*Felis concolor*), los monos aulladores (*Alouatta*), y muchos pequeños roedores y murciélagos. Los mamíferos pequeños no han sido cuidadosamente estudiados, sino un incisivo estudio comenzó en 1992. Reptiles y anfibios de la diversidad es alta, con más de 60% de las especies conocidas de Guatemala presentes en la sierra (Campbell, 1982). Schuster (1992) describió los insectos endémicos (*Passalidae*) de la región y considera que la zona puede tener alta diversidad de fauna.

Valores paisajísticos son importantes y podrían constituir la base para una industria turística sostenible. El contraste en una unidad de 3-4 horas entre matorrales espinosos áridas del valle del Motagua es dominada por cactus y acacias y los picos de niebla de los bosques de nubes cargadas de epífitas es impresionante. Otras atracciones turísticas que podrían ser gestionados de manera sostenible incluyen la comercialización de textiles y artesanías indígenas.

Además en la RBSM se encuentran tres sitios arqueológicos precolombinos, Río Zarquito del período Clásico (Maya y chortí), y Tinajas y Pueblo Viejo - del período post-clásico (Maya y Q'eqchí). San Agustín Acasaguastlán representa una de las primeras misiones coloniales.

Evaluación económica. Los recursos hídricos son el activo más valioso de la región. La sierra proporciona agua para el riego en el seco valle del Motagua, de los melones de crecimiento, tabaco, tomates, uvas y otros cultivos. La estación hidroeléctrica Río Hondo produce 2% de la electricidad de Guatemala. Los principales valores económicos directos de los bosques para obtener madera y leña, que suele ser el único recurso energético para la cocina doméstica. Algunos ingresos se derivan de la cosecha de bromelias y árboles de helecho. El café y el cardamomo son importantes productos cultivados. La conservación de los bosques de alta elevación es una prioridad en primer lugar porque tanto los recursos de agua y la incipiente industria del turismo dependen de ellos. Aumento de la erosión y la disminución de las precipitaciones con un 40% la pérdida del flujo de agua, se han documentado ya (Fundación Defensores de la Naturaleza 1992).

La RBSM está zonificada, destacando su área núcleo de 1057 km<sup>2</sup>, que contiene 81% de los bosques de neblina existentes; utilización sostenible de zona (346 km<sup>2</sup>); zona experimental de recuperación de los bosques (42 km<sup>2</sup>), y zona de amortiguamiento (920 km<sup>2</sup>).

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Fortalecer la gestión de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas (RBSM) mediante la integración y generación de información ecohidrológica y climática estratégica.

### **4.2 Objetivos Específicos.**

- Dirigir, supervisar e interpretar la sistematización de la información documental y digital existente sobre los recursos hídricos y recursos naturales asociados en la RBSM, con énfasis en cuencas prioritarias para el Fondo del Agua.
- Actualizar el programa de investigación ecohidrológica y climática de la RBSM, de tal manera que apoye la generación de conocimiento científico relevante para su aplicación en el manejo de la RBSM; y se constituya en una agenda base de Defensores y un instrumento de gestión financiera.
- Formular un proyecto de instrumentalización y consolidación de una red de monitoreo hidrológico y climático de la RBSM (para que Defensores lo gestione ante entidades donantes o socios potenciales).

## **5 Consideraciones metodológicas**

Este documento de recopilación de información está desarrollado a partir de información secundaria. Cabe mencionar que esta información es fragmentada desde el punto de vista geográfico, enfoque, escala y metodologías de trabajo. Sin embargo si existe información de referencia para establecer la importancia de la RBSM desde el punto de vista hidrológico y ecológico.

Los métodos utilizados privilegiaron la recopilación y análisis de información consistente. Asimismo se generó información para complementar los vacíos de información existentes y para llegar a un entendimiento profundo de las interacciones entre los subsistemas natural, social y económico. Solamente de esta manera se podrán plantear alternativas pertinentes para contribuir significativamente a cumplir los objetivos de creación de la RBSM, privilegiando el desarrollo humano de los habitantes locales y conservación, de manera integral, del patrimonio natural de los Guatemaltecos.

## **6 Metodología.**

A continuación se describe muy brevemente la metodología empleada, cabe recalcar que la elaboración de este documento obedece a la recopilación de fuentes secundarias.

### **6.1 Descripción de la vegetación y endemismo florístico de la RBSM**

Para el análisis de la información ecológica se tomó como referente los datos existentes de vegetación, ya que es la que cuenta con mayor respaldo científico. En este sentido se consultaron los trabajos reportados en los herbarios de Guatemala. Se procedió a realizar un listado tomando como referencia las observaciones de la Flora de Guatemala (Standley & Steyermark, 1964), la cual fue la base para todos los estudios realizados.

### **6.2 Descripción del clima**

Los registros climáticos encontrados fueron analizados para establecer la consistencia de la información proporcionada; los registros climáticos son limitados. Los datos con mayor consistencia duración de muestreo se encuentran en la parte sur de la zona en estudio, aquí se pueden mencionar las estaciones de Morazán, San Lorenzo, Pasabien y Los Albores; además se encuentra la estación de La Fragua, pero se encuentra muy distante del área de estudio y no es representativa de la misma. Otras estaciones fueron encontradas con registros recientes de información, pero sin la información como para poder calcular datos climáticos que permitan establecer el clima del lugar, sin embargo, se incluyeron en el análisis por tener información complementaria de lugares poco monitoreados, este es el caso de la estación de Chanrrayo ubicada en el río Hato, la estación las Delicias ubicada en la cuenca del mismo río. En tal sentido se recopiló la información de las estaciones y se sometieron a un análisis de datos para obtener la clasificación climática por el método Thornwhite (ver anexos para más detalle).

### **6.3 Descripción de los recursos hídricos y recursos naturales asociados.**

Para el análisis de los recursos hídricos se procedió a la elaboración de balances hídricos de suelos para cada una de las cuencas abarcadas en este estudio San Jerónimo, Teculután, Pasabien y Pueblo Viejo. La metodología empleada es la publicada por Schosinsky y ampliamente divulgada por INAB y es de amplio uso en el ambiente de hidrología de Guatemala. Para mayor información se encontrará la metodología detallada en anexos. Luego de la obtención de la disponibilidad se procedió a definir variables relacionadas con los recursos hídricos, tales como dinámica forestal y erosión

### **6.4 Análisis integrado de activos y flujos de los recursos hídricos en las cuencas bajo análisis.**

Para el análisis integrado de la información se procedió a agruparla en marcos analíticos en donde se destacan los flujos entre el sistema natural y el sistema socioeconómico. Así mismo se integraron indicadores hidrológicos y del estado de los sistemas de cuencas. Esta información fue fundamental para la definición posterior de los servicios hidrológicos de la RBSM y finalmente para la elaboración de consideraciones finales en donde se discute la información y se definen conclusiones sobre la importancia ecológica, hidrológica y socioeconómica de la RBSM basado en estos aspectos. Posteriormente también se discute sobre las amenazas que estos recursos presentan ante el cambio climático.

## 7 Resultados

La importancia del estudio de la vegetación radica en este es el componente del ecosistema más fácilmente reconocible y que se emplea con frecuencia para delimitar unidades o entidades ecológicas homogéneas. Los estudios de la vegetación se centran en la clasificación de los tipos de vegetación y su cartografía, es decir se usa la vegetación para identificar y definir los límites de los sistemas ecológicos y zonas uniformes de una región. Las comunidades vegetales y los grupos ecológicos son el resultado de la acción conjunta e integrada de los factores del ambiente y, en tal sentido, actúa como indicadora. Cuanto más investigaciones se realicen sobre las asociaciones entre tipo de vegetación y hábitat, más confiable será la capacidad predictiva. Dado que la vegetación es muy sensible a los cambios de la huella energética, las perturbaciones en el ecosistema pueden ser detectadas y vigiladas por los cambios de la fisonomía, la composición florística y las relaciones numéricas dentro y entre las comunidades (Daubenmire, 1988). En tal sentido a continuación se describe el estado actual del estudio de la vegetación en la RBSM. Cabe mencionar que es este es el aspecto biológico que cuenta con mayor publicación de trabajos científicos.

### 7.1.1 Descripción de la vegetación y endemismo florístico de la RBSM.

En la RBSM se han realizado estudios florísticos, edáficos y geológicos, en los cuales se ha evidenciado claramente que la singularidad del flora de la RBSM. Esto se debe principalmente a los cambios en composición florística y estructura de la biomasa vegetal y de comunidades ecológicas son coherentemente explicados por gran variabilidad de microclimas, dados por gradientes topográficos (desde 260 msnm hasta más de 3,000 msnm, con diversidad de pendientes y exposiciones), gradientes climáticos regionales (la ladera norte muy expuesta a humedad proveniente del océano atlántico y al sur un clima muy seco con un gran déficit hídrico). Además, menos evidente en apariencia pero muy significativa en términos concretos, es la influencia de la geología y la infinidad de unidades litológicas (de material parental diferenciado) existentes en la RBSM. Existen referencias (Rosito, 1999; Medinilla, 1999) que en pequeñas áreas de estudio, alrededor de 30 Km<sup>2</sup> existen muy contrastantes unidades litológicas, las cuales generan comunidades ecológicas muy diferenciadas desde el punto de vista florístico y estructural. Rosito (1999) encontró cinco unidades litológicas muy contrastantes, entre las que destacan, granito (roca plutónica muy antigua, de consistencia muy dura e impermeable localizada en partes altas con presencia de afloramientos superficiales), esquisto micáceo (roca metamórfica muy suave e intemperizada, con gran capacidad de almacenamiento de agua y textura arenosa), serpentinita (roca de origen máfico con suelos muy profundos mayores a 5 metros y estructura arcillosa). Muy cerca de esta unidad de estudio además se encontraron rocas sedimentarias tales como rocas calizas y afloramientos de mármol.

En este sentido, además del factor climático se ha determinado que la RBSM cuenta con un factor distintivo a muchos bosques nubosos del neotropico y a nivel mundial, el cual es la intensa actividad geológica de esta región. Por lo tanto la geología de la Sierra de las Minas, por ser muy antigua (alrededor de más de 135 millones de años) y dinámica (Dengo, 1968), ha incidido en la formación de factores muy singulares y detonadores de altos niveles de especiación y endemismo, así como de altos niveles diversidad en composición florística en la RBSM. Los factores más importantes son los siguientes (Rosito, 1999):

- Aislamiento geográfico por la presencia de barreras naturales, las dos fallas más importantes de Guatemala y Centroamérica continentales, Motagua y Polochic (Dengo, 1968).

- Conformación de diversidad de climas por fuertes gradientes altitudinales, múltiples exposiciones, distintas fisiografías, formación de corrientes de humedad y efecto de barlovento y sotavento etc,
- Asociado a lo anterior se origina la influencia de la flora de zonas de vida muy contrastantes, por un lado las del valle del Polochic y río dulce (bosque tropical de tierras bajas) y por el otro las del valle del Motagua (bosque seco y muy seco).
- Material parental relativamente muy antiguo siendo las rocas plutónicas como el Granito, y las metamórficas como el Esquisto y el Gneis conformantes de los núcleos geológicos más antiguos de Centroamérica (al menos 65 millones de años).
- Diversidad de unidades litológicas e intensa actividad geológica. Muestra de lo anterior es:
  - el origen y características contrastantes del material parental, por un lado el Granito litosférico, Peridotita serpentizada y serpentinita originada de dorsales oceánicos, roca caliza, otras rocas sedimentarias como el mármol, etc
  - el proceso de metamorfismo regional (desarrollo de series progresivas de metamorfismo, situadas axialmente a afloramientos de rocas plutónicas), que origina las unidades litológicas de rocas metamórficas diferenciadas, tales como Esquisto micáceo, Gneis, Cuarzita, Filita, Pizarra, etc. y;
  - ubicación geológicamente excepcional de Guatemala en una “zona conflictiva”, al coincidir tres placas (Cocos, Caribe y Norteamericana).
- Exposición a diversidad de factores biofísicos y de factores climáticos formadores de suelos, tales como corrientes de humedad y diversidad de patrones de precipitación. En este sentido, también destaca la existencia de valles intercolinares, como la parte alta de río naranjo (parte alta del río Matanzas) ubicado entre los cerros Pinalón y Guaxabjá, allí se puede observar uno de los bosques nubladados con árboles emergentes más altos del mundo (Bruijnzeel 2008 com. pers)
- Además, a nivel general, la reconexión entre América del Norte y América del Sur origina migraciones recíprocas de taxa andinos (como *Drymis*) hacia al Norte y de taxa cordilleranos (como *Juglans*) hacia el Sur. (44). La RBSM es el límite hacia el sur de taxa originados en la región templada y hacia el norte de taxa originarios en la región andina (Rosito, 1999).

La Flora de Guatemala reporta alrededor de 7,115 especies de plantas de las cuales hasta el momento en la Sierra de las Minas se han logrado documentar en herbarios y estudios recientes 132 Familias de plantas con flores, 18 Familias de helechos, 3 Familias de Pinófitas, las cuales totalizan 913 especies. Este total representa el 13% de la Flora de Guatemala. Los herbarios de Guatemala tienen colectadas plantas de la Sierra de Las Minas que no han sido reportadas en documentos públicos, por lo tanto, aunque el número de especies y familias debería de ser mayor, no se incluyen en esta recopilación de información debido a que no se ha publicado su existencia. Cabe mencionar que este reporte de especies es bajo la realización de estudios fragmentados y únicamente cubriendo un área aproximada de 50,000 ha, lo cual puede considerarse una representación aunque significativa es baja considerando que la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas cuenta con 242,642 hectáreas.

Hasta el momento, 29 son las familias de la Flora de Guatemala que están representadas en la Sierra de las Minas con un 50% o más de las especies reportadas para Guatemala. De estas 16 familias pertenecen al bosque muy húmedo montano (bajo y alto) y las restantes 13 al monte espinoso. A continuación se describe la familia y su ubicación predominante, zona de vida, entre paréntesis: Winteraceae (Bmh-M), Hernandiaceae (me), Chloranthaceae (Bmh-M), Cecropiaceae (Bmh-M), Bixaceae (me), Moringaceae (me), Bruneliaceae (Bmh-M), Cunoniaceae (Bmh-M), krameriaceae (me), Hippocastanaceae (Bmh-M), Julianaceae (me), Zygophyllaceae (me), Dipsaceae (me), Podocarpaceae (Bmh-M), Taxaceae (Bmh-M), Magnoliaceae (Bmh-M),

Turneraceae (me), Styracaceae (Bmh-M), Portulacaceae (me), Saurauiaceae (Bmh-M), Monotropaceae (Bmh-M), Grossulariaceae (Bmh-M), Aquifoliaceae (Bmh-M), Vochysiaceae (me), Trigoniaceae (me), Staphylaceae (Bmh-M), Burseraceae (me), Typhaceae (me) y Pinaceae (Bmh-M). Estas familias están bien representadas por dos razones principales: a) muchas de ellas están integradas por pocas especies, b) los estudios florísticos con mayor intensidad de muestreo se han hecho en las dos formaciones vegetales anteriores. Hay muchas familias que están integradas por más de 100 especies, por lo cual no aparecen en esta lista.

Aparte de la revisión hecha por Standley & Steyermark (1964), como una obra clásica nacional, en la Sierra de las Minas se han reportado 10 estudios de Flora desde 1993 hasta 2010. Los cuales se listan a continuación:

- Estrada, Carlos. 1999. Distribución altitudinal de las comunidades forestales en la parte media de la subcuenca Río Raxón Tzunum (1200-2200 msnm), Reserva de biosfera Sierra de las Minas. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Facultad de Ciencias y Humanidades. Departamento de Ciencias Agrícolas e Ingeniería Forestal (Estrada, 1999).
- González, Oscar. 1999. Estudio cualitativo de la composición forestal remanente entre 400 y 1200 msnm, de la subcuenca Río Raxón, Tzunum, Reserva de biosfera Sierra de las Minas, Panzos, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Facultad de Ciencias y Humanidades. Departamento de Ciencias Agrícolas e Ingeniería Forestal (Gonzales, 1999).
- Marcos, Celia. 1999. Censo de Especies del género *Quercus* y su distribución geográfica en dos cuencas de la reserva de la biosfera Sierra de las Minas. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Facultad de Ciencias y Humanidades. Departamento de ciencias agrícolas y forestales (Marcos, 1999).
- Medinilla, Oscar. 1999. Estudio Florístico de los Bosques Con Dominancia de Especies del Género *Pinus*, en la microcuenca del Río Colorado, Río Hondo, Zacapa. Tesis, Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 135 p (Medinilla, 1999).
- Méndez, Claudio; Coronado Enrique. 1993. Evaluación Ecológica Rápida de la Reserva de la Biósfera "Sierra de las Minas". Centro de Estudios Conservacionistas, Centro de datos para la Consercación (CECON, CDC), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. 57 páginas.
- Rosito, Juan. 1999. Estudio florístico de la comunidad del Cipresillo (*Taxus globosa* Schlecht.), en los cerros Pinalón, Guaxabajá y Mululjá, Sierra de las Minas. Tesis, Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 103 p.
- Standley, P; Steyermark, J. 1964. Flora of Guatemala. E.E. U.U. Natural History Museum. Fieldiana Botany. V. 24. (Standley & Steyermark, 1964)
- Succhini, Aura Elena. 2002. Endemismo florístico en el norte de la reserva de la biosfera Sierra de las Minas. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Centro de Estudios Conservacionistas. Universidad de San Carlos de Guatemala. Proyecto No. 63. CONCYT. Año 2002. Informe final.
- Toledo, Erik. 1997. Fitodistribución de epífitas del género *Tillandsia* L. (Bromeliaceae: Tillandsioideae) en la Cuenca del Río Jones, Sierra de las Minas. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 54 páginas. (Toledo, 1997)
- Vargas, Jorge. 1999. Caracterización de las comunidades vegetales asociadas a las familias Lophosoriaceae, Dicksoniaceae y Cyatheaceae, en el bosque nublado de la microcuenca Río El Naranjo, Sierra de las Minas. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 110 p (Vargas, 2001).
- Véliz Pérez, M. E., Cobar, A. J., Ramírez, F. J., y García Vettorazzi, M. J. 2003. *La diversidad florística del Monte Espinoso de Guatemala*, Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI, Proyecto DIGUSAC 2.55 58 p (Veliz, Cobar, Ramírez, & García, 2003).

Cabe destacar que Standley & Steyermark, en la Flora de Guatemala, hacen referencia a la Sierra de las Minas en 205 ocasiones, mencionando que en ellas hay 9 especies endémicas exclusivas del macizo montañoso y 32 especies endémicas de Guatemala presentes en la

Sierra, lo cual asume un total de 41 especies endémicas. A este listado habría que adicionar las muestras originales de una gran cantidad de especies.

Por otro lado, los estudios florísticos hechos en la Sierra entre 1993-2003, muestran que el inventario de las especies vegetales para distintos sitios asciende a más de 900 especies. Teniendo como referencia a la Flora de Guatemala, la revisión de este listado muestra que 15 son las especies endémicas exclusivas para la Sierra de las Minas y 30 las especies endémicas de Guatemala presentes en dicho lugar, lo cual hace un total de 45 especies. Cuando se hace el traslape de las especies endémicas reportadas en la Flora de Guatemala y las especies encontradas en los estudios florísticos entre 1993-2003, es evidente que aún hay 29 especies endémicas reportadas por Standley & Steyermark que no han sido encontradas, lo cual hace que el endemismo ascienda a 74 especies. Además habría que tomar en cuenta que existen especies las cuales Standley & Steyermark hacen referencia que únicamente son conocidas sus especímenes tipo, con estas especies se llega a un número de 105 especies. La lista se muestra en el cuadro siguiente:

**Cuadro 1. Listado de especies reportadas como endémicas para la Sierra de las Minas y Guatemala o solo conocidas en la RBSM.**

No.	Especie	Familia	Distribución restringida	Colectada nuevamente	Otros
1	<i>Acer Skutchii</i> Rehder	Aceraceae	Endemica de Guatemala	Medinilla, 1999	600-2,600 meters; endemic
2	<i>Agave pachycentra</i> Trel.	<b>Agavaceae</b>	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
3	<i>Ilex quercetorum</i> I. M. Johnston	Aquifoliaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist, mixed or oak forest, 1,500-2,000 meters; endemic
4	<i>Ilex gracilipes</i> I.M. Johnston	Aquifoliaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 2001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
5	<i>Anthurium subcordatum</i> Schott	Araceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet forest, 1100-2500 meters; endemic
6	<i>Oreopanax steyermarkii</i> A. C. Smith.	Araliaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet forest; 1,400-2,500 meters; endemic
7	<i>Geonoma Seleri</i> Burret	Arecaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, 1300-2300 meters, or sometimes lower; endemic
8	<i>Chamaedorea digitata</i> Standl. & Steyermark	Arecaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, 1400-2600 meters; endemic
9	<i>Chamaedorea lehmannii</i> Burret	Arecaceae	Endemica de Guatemala	NA	Dense, moist or wet, mountain forest, 1400-2600 meters; endemic
10	<i>Eupatorium hypodictyon</i> Rob.	Asteraceae	Endemica de Guatemala	NA	At 900-2,100 m. or perhaps even higher; endemic
11	<i>Eupatorium montigenum</i> Standl. & Steyermark.	Asteraceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist mountain forest, 2,000-3,000 m.; endemic
12	<i>Eupatorium ovillum</i> Standl. & Steyermark.	Asteraceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet thickets or mixed forest, 2,400-3,200 m.; endemic
13	<i>Mahonia Johnstonii</i> Standl. & Steyermark.	Berberidaceae	Endemica de Guatemala	NA	Dry, brushy, often rocky hillsides, 1,300-1,650 meters; endemic
14	<i>Tillandsia xerographica</i> Rohw.	Bromeliaceae	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003; Toledo, 1997.	Monte espinoso
15	<i>Tillandsia ponderosa</i> L. B. Smith	Bromeliaceae	Endemica de Guatemala	Toledo, 1997.	Epiphytic in cloud forests, 2000-2900 meters; endemic
16	<i>Marshallocereus eichlamii</i> (Britt. & Rose) Arias	Cactaceae	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso

17	<i>Nopalea lutea</i> Rose	Cactaceae	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
18	<i>Microtropis ilicina</i> Standl. & Steyerl.	Celastraceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed mountain forest, 1,600-2,800 meters; endemic
19	<i>Euonymus enantiophylla</i> (Donn.Smith) Lundell	Celastraceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González,2001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
20	<i>Microtropis ilicina</i> Standl. & Steyerl.	Celastraceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
21	<i>Microtropis guatemalensis</i> Sprague	Celastraceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González,2001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
22	<i>Tradescantia Standleyi</i> Steyerl. in Standl. & Steyerl.	Commelinaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Moist or wet forest, often on exposed rocks, 1,000-2,100 meters; endemic
23	<i>Weinmannia Tuerckheimii</i> Engler.	Cunoniaceae	Endemica de Guatemala	NA	Wet mixed forest, 1,450-3,000 meters; endemic
24	<i>Weinmannia tuerckheimii</i> Engler	Cunoniaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González,2001 Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
25	<i>Alsophila salvinii</i> Hook	Cyatheaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González,2001 Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
26	<i>Cavendishia guatemalensis</i> Loes.	Ericaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
27	<i>Galactia discolor</i> Donn. Smith.	Fabaceae	Endemica de Guatemala	NA	Exposed rocky mountain slopes, often in pine-oak forest, 1,200-2,200 meters; endemic
28	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> Donn. Sm.	Fabaceae	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
29	<i>Quercus flagellifera</i> Trelease.	Fagaceae	Endemica de Guatemala	Marcos, 1999.	Moist or wet, usually mixed, mountain forest, 1,250-2,500 meters; endemic.
30	<i>Quercus pacayana</i> Muller.	Fagaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, 1,800-2,600 meters; endemic.
31	<i>Phoebe salvinii</i> (Mez.) Lundell.	Lauraceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
32	<i>Beaucarnea guatemalensis</i> Rose.	Liliaceae	Endemica de Guatemala	NA	On dry rocky hillsides, 700-1,600 meters endemic.
33	<i>Struthanthus oliganthus</i> Standl.et Steyerl.	Loranthaceae	Endemica de Guatemala	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
34	<i>Mascagnia excelsa</i> Standl. & Steyerl.	Malpighiaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
35	<i>Dorstenia Contrajerva</i> var. <i>tenuiloba</i> (Blake) Standl. & Steyerl.	Moraceae	Endemica de Guatemala	NA	600-1,000 meters.
36	<i>Epidendrum Schweinfurthianum</i> Correll,	Orchidaceae	Endemica de Guatemala	NA	2,100-2,400 meters. Apparently endemic to Guatemala.
37	<i>Epidendrum sobralioides</i> Ames & Correll.	Orchidaceae	Endemica de Guatemala	NA	2,000-2,600 meters. Apparently endemic to Guatemala.
38	<i>Goodyera major</i> Ames & Correll.	Orchidaceae	Endemica de Guatemala	NA	2,500 meters. Apparently endemic to Guatemala.
39	<i>Piper brujoense</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, 1,700-2,500 meters; endemic
40	<i>Peperomia condormiens</i> Trelease in Yuncker.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet forest, sometimes in forest of pine and Liquidambar, 1,500-2,400 meters, usually epiphytic; endemic.
41	<i>Peperomia hondoana</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	NA	On shaded rocks or rather dry bluffs, 400-1,800 meters; endemic.
42	<i>Peperomia limana</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Terrestrial or epiphytic in moist or wet, mixed or pine, mountain forest, 1,800-2,800 meters; endemic.

43	<i>Peperomia tacticana</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	NA	Terrestrial or epiphytic in moist or wet, mixed, mountain forest, 1,500-2,300 meters; endemic.
44	<i>Piper tecutlanum</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, sometimes on white-sand slopes, 1,500-2,500 meters; endemic.
45	<i>Peperomia cobana</i> C. DC. Y Donn Smith.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
46	<i>Peperomia frigidula</i> Trelease & Standl.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
47	<i>Peperomia peltata</i> C. DC.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
48	<i>Peperomia tuerckheimii</i> C. DC.	Piperaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
49	<i>Guamatela Tuerckheimii</i> Donn. Smith.	Rosaceae	Endemica de Guatemala	NA	Moist or wet, mixed, mountain forest, 1,750-2,400 meters, endemic.
50	<i>Prunus barbata</i> Koehne.	Rosaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 2001 Vargas, 1999.	1,300 meters-2,500 meters; endemic.
51	<i>Prunus rhamnoides</i> Koehne	Rosaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 2001 Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
52	<i>Psychotria pachecoana</i> Standl. & Steyerem.	Rubiaceae	Endemica de Guatemala	NA	Damp mixed forest or wet thickets, 1,400-2,500 m.; endemic.
53	<i>Psychotria orogenes</i> L. Wms.	Rubiaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
54	<i>Uroskinnera spectabilis</i> Lindl.	Scrophulariaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
55	<i>Symplocos hartwegii</i> A. DC.	Symplocaceae	Endemica de Guatemala	Rosito, 1999; González, 2001 Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
56	<i>Pilea ecbolophylla</i> Donn. Sm.	Urticaceae	Endemica de Guatemala	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
57	<i>Henrya guatemalensis</i> (Robins. & Bartl.) Happ.	Acanthaceae	Localidad tipo	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
58	<i>Dicliptera guttata</i> Standl. & Leonard	Acanthaceae	Localidad tipo	NA	Sierra de las Minas, along Rillito del Volcan de Monos, Volcan de Monos, 1,150-2,100 m.
59	<i>Verbesina minarum</i> Standl. & Steyerem.	Asteraceae	Localidad tipo	NA	Damp mountain forest, 2,000-3,000 m.; El Progreso; Zacapa (type from Rio Repollal, upper slopes to summit of mountain, Sierra de las Minas, Steyermark 42489). Mexico (Chiapas).
60	<i>Hieracium gronovii</i> L.	Asteraceae	Localidad tipo	NA	(type from Sierra de las Minas, Zacapa, Steyermark 29722).
61	<i>Verbesina eperetma</i> Blake.	Asteraceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type collection, Sierra de Las Minas, trail between Santa Rosalia de Marmol and Vegas, Zacapa.
62	<i>Mikania concinna</i> Standl. & Steyerem.	Asteraceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, Sierra de las Minas, climbing over mossy banks, middle and upper, southern slopes of volcan Gemelos, about 3,000 m.
63	<i>Buddleia euryphylla</i> Standl. & Steyerem.	Buddleiaceae	Localidad tipo	Méndez, 1993	Forested ravines or hillsides, 2,000-3,000 m.; known only from the type locality, Sierra de las Minas, on Montana Piamonte, El Progreso.
64	<i>Tripogandra disgrega</i> f. <i>glandulosa</i> Standl. & Steyerem.	Commelinaceae	Localidad tipo	NA	Moist or wet thickets or forest, 1,000-1,800 meters; known only from Guatemala; Zacapa (type from Sierra de las Minas, along trail between Rio Hondo and summit of mountain at Finca Alejandria).
65	<i>Befaria guatemalensis</i> Camp	Ericaceae	Localidad tipo	NA	Pine forest, 1,000-2,400 meters; Zacapa (type from Sierra de las Minas. Mexico; Hon.

66	<i>Phyllanthus minarum</i> Standl. & Steyerem.	Euphorbiaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, El Progreso, Sierra de las Minas, hills between Finca Piamonte and slopes southeast of the finca, 2,400-2,500 meters.
67	<i>Euphorbia pantomalaca</i> Standl. & Steyerem.	Euphorbiaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Dept. Baja Verapaz, Sierra de las Minas, opposite El Rancho (Dept. El Progreso).
68	<i>Tapirira macrophylla</i> Lundell	Euphorbiaceae	Localidad tipo	NA	Moist mixed forest, sometimes along streams, 1,200 meters or less; Zacapa (Volcan de Monos, Sierra de las Minas. Type from mountain pine ridge, San Agustin, British Honduras.
69	<i>Persea sessilis</i> Standl. & Steyerem.	Lauraceae	Localidad tipo	Méndez, 1993	Moist mixed mountain forest, 2,100-2,400 meters; known only from the type, Zacapa, Sierra de las Minas, along Rio Repollal to summit of mountain.
70	<i>Agave minarum</i> Trelease	Liliaceae	Localidad tipo	NA	El Rancho, the type from Sierra de las Minas, 600 meters; Zacapa; at about 200 meters; perhaps also at Jutiapa, 900 meters, in dry thickets.
71	<i>Phoradendron Treleaseanum</i> Standl. & Steyerem.	Loranthaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Dept. Baja Verapaz, Sierra de las Minas opposite El Rancho (El Progreso), 700 meters.
72	<i>Cuphea arista</i> Hemsl.	Lythraceae	Localidad tipo	NA	Type from the Motagua Valley, Salvin & Godman, probably from Sierra de las Minas. British Honduras.
73	<i>Oxalis minarum</i> Standl. & Steyerem.	Oxalidaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, Rio Hondo and summit of mountain at Finca Alejandria, 1,000-1,500 meters.
74	<i>Peperomia minarum</i> Standl. & Steyerem.	Piperaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, El Progreso, Sierra de las Minas, along trail between Finca Piamonte and Cimiento.
75	<i>Piper zacapanum</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, cloud forest in ravine bordering Quebrada Alejandria, summit of Sierra de las Minas, 2,500 meters.
76	<i>Piper planadosense</i> Trelease & Standley.	Piperaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, Sierra de las Minas, cloud forest on summit, vicinity of Finca Planados, 2,500 meters.
77	<i>Piper minarum</i> Standl. & Steyerem.	Piperaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, Sierra de las Minas, slopes of Monte Virgen, 2,200-2,400 meters.
78	<i>Lasiacis linearis</i> Swallen.	Poaceae	Localidad tipo	NA	Pine-covered canyon bordering Rio Lima, Sierra de las Minas, below Finca Alejandria, Dept. Zacapa, 2,000 meters. Known only from the type.
79	<i>Hoffmannia tuerckheimii</i> Donn.-Sm.	Rubiaceae	Localidad tipo	NA	Type from Sierra de las Minas, El Progreso, Montana Canahui, between Finca San Miguel and summit of ountain, 1,600-2,300 m.
80	<i>Hoffmannia sessilifolia</i> L. Wms.	Rubiaceae	Localidad tipo	NA	Wet cloud forest at about 1,600 m., Baja Verapaz (Sierra de las Minas), type from above Purulha.
81	<i>Rondeletia cordovana</i> Standl. & Steyerem.	Rubiaceae	Localidad tipo	NA	Type from cloud forest in ravine bordering Quebrada Alejandria, summit of Sierra de las Minas, vicinity of Finca Alejandria, Zacapa, 2,500 m.
82	<i>Hoffmannia quadrifolia</i> Standl. & Steyerem	Rubiaceae	Localidad tipo	NA	Known only from the type, Zacapa, Sierra de las Minas, around the summit of Monte Virgen, about 2,400 m.
83	<i>Athenaea viscosa</i> (Schrader) Fern.	Solanaceae	Localidad tipo	NA	(type from below Finca Alejandria, Sierra de las Minas, Zacapa. In pine forested canyons, 2,000 m.; Zacapa. Mexico.
84	<i>Commelina Standleyi</i> Steyermark in Standl. & Steyerem.	Commelinaceae	Endemica S.M.	NA	On rather dry slopes in pine forest, 1,000-2,000 meters; endemic; Zacapa (Sierra de las Minas; type collected along trail between Rio Hondo and summit of mountain at Finca Alejandria.

85	<i>Vaccinium minarum</i> Standl. & Steyerem.	Ericaceae	Endemica S.M.	Rosito, 1999; González,2001 Vargas, 1999.	At 2,000-3,200 meters; endemic; Zacapa (type from middle and upper slopes of Volcan Gemelos, Sierra de las Minas; also collected between Loma Pichaco and Cerro de los Monos) .
86	<i>Galactia sparsiflora</i> Standl. & Steyerem.	Fabaceae	Endemica S.M.	NA	Chiefly in pine forest, 2,000-3,000 meters; endemic; El Progreso (type collected in forest east of Finca Piamonte, Sierra de las Minas.
87	<i>Phyllonoma cacuminis</i> Standl. & Steyerem.	Grossulariaceae	Endemica S.M.	Medinilla Oscar,1999.	Wet mixed forest, 2,000-2,600 meters; endemic; Zacapa (Sierra de las Minas) type from Quebrada Alejandria, summit of Sierra de las Minas, 2,500 meters.
88	<i>Conostegia hirtella</i> (Sw.) Urban	Melastomataceae	Endemica S.M.	CECON, 2002	Bosque muy húmedo subtropical cálido, Pazós, Alta Verapaz
89	<i>Piper punctulatum</i> Standl. & Steyerem.	Piperaceae	Endemica S.M.	NA	1,500-2,600 meters; endemic, (type from Sierra de las Minas, between Finca Piamonte and top of Montana Piamonte; Zacapa (Sierra de las Minas).
90	<i>Serjania lateritia</i> Radlk.	Sapindaceae	Endemica S.M.	NA	Dry brushy slopes, 1,200-1,600 meters. Endemic; Baja Verapaz (type from Santa Rosa; Zacapa (Sierra de las Minas).
91	<i>Bourreria</i> sp.	Boraginaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
92	<i>Bursera steyermarkii</i> Standl.	Burseraceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
93	<i>Escontria lepidantha</i> (Eichlam)Buxb.	Cactaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
94	<i>Mammillaria voburnensis</i> Britt. & Rose var <i>eichlamii</i>	Cactaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
95	<i>Myrtillocactus eichlamii</i> Britt. et Rose	Cactaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
96	<i>Tradescantia velutina</i> Kunth et Bouché	Commelinaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
97	<i>Erythroxyton fiscalense</i> Standl.	Erythroxylaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
98	<i>Abutilon tridens</i> Standl. & Steyerem.	Malvaceae	Endemica S.M	NA	Moist ravines or forest, 1,500-2,500 meters; endemic; El Progreso (type from hills between Finca Piamonte and the slopes southeast, along a small creek; Zacapa (Sierra de las Minas, Rio Sitio Nuevo and Rio Repollal).
99	<i>Leucaena collinsii</i> subsp. <i>zacapa</i> C. E. Hughes	Mimosaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
100	<i>Mimosa zacapana</i> Standl. et Steyerem.	Mimosaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
101	<i>Macromitrium altituberculosum</i> Bartr.,	Musgo	Endemica S.M	NA	Dept. Zacapa: Sierra de las Minas, oak-pine woods along the upper reaches of Rio Sitio Nuevo, between Santa Rosalia and first waterfall, alt. 1,200-1,500 m., on rock. Endemic.
102	<i>Pireeella falcifolia</i> Bartr.	Musgo	Endemica S.M	NA	Dept. Zacapa: Cloud forest in ravine bordering Quebrada Alejandria, summit of Sierra de las Minas, vicinity of Finca Alejandria, alt. 2,500 m.
103	<i>Podopterus guatemalensis</i> Blake	Polygonaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso
104	<i>Psychotria chrysocalymma</i> L.	Rubiaceae	Endemica S.M	Rosito, 1999; González,2001; Vargas, 1999.	bosque muy húmedo montano bajo y montano
105	<i>Serjania lobulata</i> Standl & Steyeremar	Sapindaceae	Endemica S.M	Véliz et. Al. 2003.	Monte espinoso

Entre las especies endémicas que no han sido encontradas por los estudios actuales, vale la pena mencionar que existen 7 especies exclusivas de la Sierra de las Minas. Dichas especies son:

1. *Serjania lateritia* Radlk. (Sapindaceae)
2. *Piper punctulatum* Standl. & Steyer. (Piperaceae)
3. *Galactia sparsiflora* Standl. & Steyer. (Fabaceae)
4. *Commelina Standleyi* Steyermark in Standl. & Steyer. (Commelinaceae)
5. *Pireeella falcifolia* Bartr. (Musgo)
6. *Macromitrium altituberculosum* Bartr. (Musgo)
7. *Abutilon tridens* Standl. & Steyer. (Malvaceae)

Ahora bien, las restantes 22 especies reportadas para la Sierra de las Minas pero que no se han encontrado en los estudios florísticos actuales son las siguientes:

1. *Ilex quercetorum* I. M. Johnston (Aquifoliaceae)
2. *Anthurium subcordatum* Schott (Araceae)
3. *Oreopanax steyermarkii* A. C. Smith.
4. *Geonoma Seleri* Burret. (Areaceae)
5. *Chamaedorea digitata* Standl. & Steyer. (Arecaceae)
6. *Chamaedorea lehmannii* Burret. (Areaceae)
7. *Eupatorium hypodictyon* Rob. (Asteraceae)
8. *Eupatorium montigenum* Standl. & Steyer. (Asteraceae)
9. *Eupatorium ovillum* Standl. & Steyer. (Asteraceae)
10. *Mahonia Johnstonii* Standl. & Steyer. (Berberidaceae)
11. *Galactia discolor* Donn. Smith. (Fabaceae)
12. *Beaucarnea guatemalensis* Rose. (Liliaceae)
13. *Dorstenia Contrajerva* var. *tenuiloba* (Blake) Standl. & Steyer. (Moraceae)
14. *Epidendrum Schweinfurthianum* Correll (Orchidaceae)
15. *Epidendrum sobralioides* Ames & Correll. (Orchidaceae)
16. *Goodyera major* Ames & Correll. (Orchidaceae)
17. *Piper brujoense* Trelease & Standley. (Piperaceae)
18. *Piper tecutlanum* Trelease & Standley. (Piperaceae)
19. *Peperomia condormiens* Trelease. in Yuncker. (Piperaceae)
20. *Peperomia tacticana* Trelease & Standley. (Piperaceae)
21. *Guamatela Tuerckheimii* Donn. Smith. (Rosaceae)
22. *Psychotria pachecoana* Standl. & Steyer. (Rubiaceae)

Entre los comentarios de Standley & Steyermark en la Flora de Guatemala, para la Sierra de las Minas se hace referencia a sitios que han sido de importancia botánica ya que en ellos se han colectado los especímenes para varias especies nuevas (especímenes tipo). Estos comentarios muestran el interés de los autores de la Flora de Guatemala por dos áreas en especial: a. El lado Este de la Sierra, lo cual abarca El Rancho, El Cimiento, Los Albores, Finca Santa Luisa, en el departamento de El Progreso; Chilascó, Purulhá, en el departamento de Baja Verapaz; y Río Hondo, Zacapa.

Las fincas privadas que frecuentemente se mencionan para la Sierra de las Minas son Finca Alejandría, Río Lima, Río Sitio Nuevo, Río El Repollal y Santa Rosalía Marmol, todos en Río Hondo, lo cual cubrió de cierta forma la parte central de la Sierra. Es probable que en la Finca Alejandría hicieran campamento y se desplazaron al área del Cerro los Monos y toda la cuenca del Río Hondo.

Otra área importante para hacer campamento fue la Finca Piamonte, El Cimiento, El Volcán Santa Luisa, en la parte Oeste de la Sierra, sitios que pertenecen a los departamentos de Baja Verapaz y El Progreso. Es bien evidente que Standley & Steyermark que no se ha muestreado adecuadamente el norte de RBSM, ya que no se observan comentarios de la misma, ya que el acceso es mucho más complicado, lo cual se mantiene hasta el día de hoy.

En los estudios florísticos actuales ha sucedido el mismo fenómeno. De los 10 estudios registrados desde 1993-2003, seis se han hecho ingresando en el lado Sur de la Sierra, específicamente en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso y Río Hondo, Zacapa; otros dos se han hecho ingresando por el lado Norte de la Sierra, en Panzós, Alta Verapaz, sin embargo se puede mencionar que estos no fueron estudios exhaustivos ya que, a pesar de los resultados esperados para esta región geográfica, el número de especies es muy bajo y, a pesar de ser dos áreas de estudio, desde el punto de vista altitudinal, muy diferentes; comparten muchas especies. Los restantes 2 fueron hechos en expediciones de poco tiempo en diferentes sitios de la Sierra.

Es importante destacar que las necesidades actuales de conservación para la diversidad de Flora y Fauna son de índole diferente a la colecta masiva de especímenes para hacer listas de referencia. Ahora las instituciones de conservación necesitan tener conocimiento de especies endémicas, especies amenazadas y en peligro, necesitan saber con claridad qué tanta diversidad florística están protegiendo, y además dónde se encuentra. Todo esto implica la necesidad de incorporar métodos de muestreo estadístico que cumplan con los requisitos para obtener información ecológica y fitogeográfica que proporcione respuestas a las preguntas de conservación, es decir, “cuanto”, “cuando”, “como”, “donde” y “porqué” de la diversidad que se está conservando (Kappelle & Brown, 2000)

Para ello, ubicarse en unos pocos sitios para inferir acerca de toda la vegetación ya no es suficiente. Es necesario ahora formalizar el muestreo de la vegetación, es decir, utilizar un método con la intensidad y el tiempo suficiente, que abarque toda la Sierra como una unidad y no por pedazos como era antes. Además esto implica que el tiempo de muestreo ya no será de un año o unos meses, sino más bien, el muestreo deberá ocupar el tiempo necesario para estudiar la Sierra como unidad, lo cual se puede ocupar varias personas en 3-4 años. Las ventajas de este único esfuerzo, es que el resultado final se convertirá en la base de comparación de todos los estudios posteriores. Esto quiere decir lo siguiente:

A partir de un estudio botánico con un diseño de muestreo adecuado se obtendrá la lista exhaustiva de toda la Flora de la Sierra de las Minas, la cual permitirá conocer con mucha más exactitud la cantidad de diversidad que se está conservando. Con las listas que tenemos de los estudios anteriores, no podemos inferir que se están conservando alrededor de 900 especies vegetales y 74 especies endémicas en los 2,426 km<sup>2</sup> que abarca la Reserva, ya que los muestreos solamente han abarcado entre 500-700 km<sup>2</sup> en área total de muestreo. Por lo tanto es obvio que la cantidad de especies que están siendo conservadas es mucho mayor.

En las listas de los trabajos florísticos, el único trabajo que tuvo dos años de muestreo fue el de Véliz, et. Al. El cual dio como resultado una lista de 598 especies, de las cuales 17 son endémicas. Muchas de estas especies endémicas, principalmente las Cactáceas no estaban consideradas como endémicas en la lista Standley & Steyermark para la Sierra de las Minas. Esto es un indicador que para conocer la cantidad de especies endémicas y la cantidad de especies vegetales que están siendo conservadas está en función directa de la intensidad y el área de muestreo. Caso similar es el de la parte Norte de la Sierra donde Succhini (2002), se concentró en obtener muestras de plantas endémicas en la parte Norte ya que no se habían hecho estudios de este tipo para este lado. Antes de que su equipo de trabajo hiciera las

exploraciones en Santiaguilá, Telemán, Alta Verapaz, habían sido reportadas 3 especies endémicas en la parte Norte, pero el proyecto encontró 17, de las cuales 10 pertenecen a esta localidad, y como menciona la autora se hizo solamente una visita a cada sitio, lo que muestra la posibilidad de encontrar más especies endémicas con muestreos más intensos en tiempo y esfuerzo.

Concluyentemente se puede afirmar que hasta el momento no existen datos suficientes para establecer todas las comunidades o tipos de vegetación dentro de la RBSM y región geográfica, por lo tanto es desconocido detalles específicos de especies vegetales y que patrones de distribución presentan. Sin embargo si existen indicadores del alto valor de la RBSM como patrimonio natural, entre los cuales destacan los siguientes:

- La existencia de estudios documentados, realizados con métodos de cierto rigor científico, cubren un área equivalente al 20% de la RBSM y se han realizado muchas veces priorizando algún grupo, por ejemplo árboles y arbustos y/o helechos. Existen claramente sitios sin muestreo florístico, siendo importante recalcar que estos son sitios presentan condiciones, climáticas, edáficas y geológicas singulares, los cuales son factores de especiación y endemismo. A pesar de lo anterior se han logrado documentar para la Sierra de las Minas el 13% de las especies reportadas en la obra clásica de la “Flora de Guatemala”.
- Existen reportes de especies endémicas o únicamente colectadas en la RBSM (especímenes tipo), que suman 105, es decir se tiene una tasa de endemismo del 10%. Se puede afirmar que de cada 100 especies de flora reportadas para la Sierra 8 son endémicas de la RBSM o Guatemala y entre 3 y 4 únicamente han sido colectada en este sitio. Este dato a pesar de no poder ser totalmente concluyente es un indicador de que la RBSM se constituye en un sitio de altísimo valor florístico y ecológico para Guatemala y Mesoamérica. Cabe mencionar que el endemismo es claramente alto para el bosque seco y para el bosque nuboso especialmente a partir de 1500 msnm hacia mayores altitudes.
- La realización de muestreos intensivos han aumentado el número de especies endémicas para la Sierra de las Minas, tal como lo mostró Veliz (2003). Asimismo este tipo de estudios han aumentado considerablemente rangos de distribución geográfica de especies reportadas para otros sitios (Rosito, 1999; Vargas, 2001; Medinilla, 1999). Además han reportado especies no reportadas en la “Flora de Guatemala”, es decir con altas probabilidades de ser nuevas para la ciencia (Rosito, 1999; Veliz, Cobar, Ramírez, & García, 2003).

Finalmente cabe destacar el papel crítico que evidencian tener los bosques de galería o de rivera de ríos, debido a la gran diversidad de especies que se puede inferir, además de servir como refugio y sitios de alimentación de la fauna (Paiz, 1997).

Además, de acuerdo a Gentry, 1992) La especialización intensa de microhábitat de epífitas explica en parte de su endemismo excepcionalmente alta en el bosque nuboso. Si bien las especies de árboles la diversidad en general, disminuye con la altitud, epífita la biomasa crece dramáticamente en el bosque nublado, a menudo acompañado por un aumento de la especialización y la índices extremadamente altos de endemismo. De hecho, los bosques nublados a lo largo de la base de la Andes del Norte y de América Central se constituyen en el centro de distribución de familias epífitas y herbáceas, en contraste con el centro de los árboles que están en la Amazonia. La naturaleza fragmentada del ecosistema bosque nuboso también juega un importante papel en los altos niveles de endemismo, con

algunas plantas endémicas de las islas o países específicos o incluso los picos de montaña. Se estima que el endemismo puede ocurrir en los bosques nubosos tan pequeñas como de 5 a 10 km<sup>2</sup>. En los bosques nuboso Suramericano, se cuenta con estimaciones de endemismo local de 10-24%, lo que sugiere, que tal vez un modo evolutivo completamente diferente está en funcionamiento en estas áreas. Si pretendemos conservar una amplia gama de especies de plantas, parece obvio que el bosque de niebla es un buen lugar para empezar. Los animales también muestran altas tasas endémicas en el del bosque nublado. Treinta por ciento de las aves endémicas del Perú, los mamíferos y los anuros se encuentran principalmente en el bosque nublado. Una encuesta a gran escala, global de aves de rango restringido encontró que más del 20% de las aves de rango restringido.

### **7.1.2 Integridad ecológica y conservación de la RBSM**

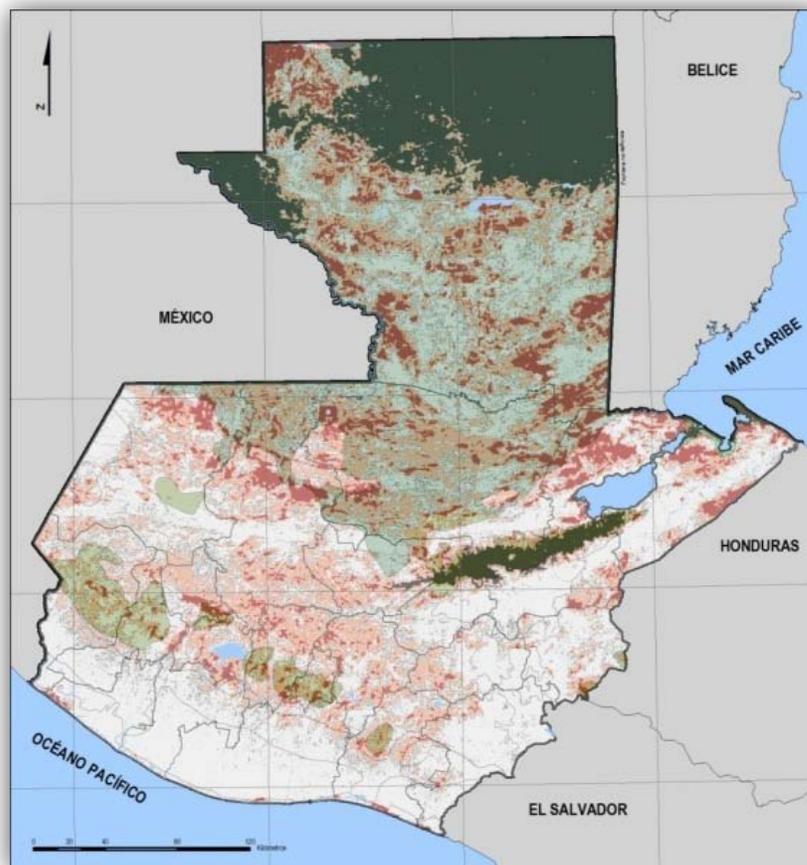
Para definir la importancia de la RBSM es importante contextualizar el estado de conservación del patrimonio nacional. Además de los trabajos tratados anteriormente de Dix y Defensores de la naturaleza que describen de manera general a la RBSM como una de los principales sitios de biodiversidad en Guatemala y Centroamérica. A continuación se profundiza en algunos aspectos de la importancia relativa a nivel nacional y regional.

A partir de los análisis de superficie y representatividad territorial de las ecorregiones propuestas por Dinerstein (Dinerstein, 1995) realizado para Guatemala, así como el análisis de su cobertura forestal, específicamente densidad forestal y fragmentación forestal se llegó a determinar que para el año 2003 el 75% de las ecorregiones de Guatemala, es decir 9 de las 12 ecorregiones adecuadamente representadas en el país, no cuentan con las condiciones biofísicas mínimas de integridad ecológica para garantizar la que se cumplan todos los procesos y funciones biológicos, así como la prestación de servicios ecosistémicos propios de los mismos. De estas no cuentan con un mínimo de representatividad mayor al 10% de cobertura natural del la ecorregión. La ubicación de las mismas corresponde a la vertiente del Pacífico, siendo estas: Bosque Seco de Centroamérica, Bosques húmedos de la Sierra Madre de Chiapas y Manglar del norte seco de la costa del Pacífico.

Adicional a las anteriores, desde el punto de vista de densidad forestal, además de las anteriores, no llegan al 10% de superficie territorial con bosque denso, es decir con densidad mayor al 80%, las ecorregiones de Bosque de Pino-Encino de Centroamérica, Arbustal espinoso del valle del Motagua Bosque seco de la depresión de Chiapas, Manglares de Tehuntepec - El Manchón, Bosques montanos de Chiapas. Este es un indicador de que el bosque que presentan estas ecorregiones es muy degradado mas corresponde a bosque de borde o muy atomizado. La ecorregión Bosques húmedos del Atlántico de Centroamérica, por sus características y estructura ecológica, necesita fragmentos mayores a 50,000 ha para ser garantizar que se cumplan todos sus procesos ecológicos (IARNA, 2009). Sin embargo esta ecorregión no presenta fragmentos de este tamaño.

En tal sentido únicamente tres ecorregiones de Guatemala si presentan valores de integridad ecológica (mínima), los cuales son: Bosque húmedo de Petén Veracruz (específicamente Reserva de la Biosfera Maya), Bosque montano de Centroamérica (específicamente, Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas) y Manglar de la costa de Belice. De tal manera que Guatemala cuenta únicamente con tres fragmentos forestales que cumplen los requisitos anteriores, estos fragmentos se muestran en la figura siguiente en color verde oscuro (fragmentos mayores a 50,000 ha y con alta densidad forestal, superior al 80% de cobertura) y, además, en colores rojo fuerte bosques de densidad media y rojo claro cobertura forestal con densidad baja. Como se puede observar la RBSM es uno de los únicos tres fragmentos que se pueden denominar como

“viables”, y está catalogado en la categoría de tamaño entre 50,000 y 150,000 ha. Cabe destacar que estos fragmentos no superan el 10% de la superficie del territorio nacional (IARNA, 2009).



**Figura 3. Distribución de los tres fragmentos forestales a nivel nacional que presentan valores (mínimos) de integridad ecológica. Fuente (IARNA, 2009)**

Lo anteriormente expuesto denota un trabajo de conservación en la RBSM que es crítico la preservación del patrimonio natural de Guatemala y mesoamérica. La RBSM representa mucho más que el 10% de las especies de flora reportadas para Guatemala, incluso se puede estimar que puede llegar a valores cercanos al 20%. Considerando la proximidad a otras ecorregiones importantes de Guatemala, la RBSM es crítica para mantener la cadenas alimenticias, refugio de fauna (especialmente dispersores), y procesos físicos y biológicos de más del 30% de las especies de flora de Guatemala, incluyendo Bocas del Polochic.

El estado de conservación de la RBSM y contar al mismo tiempo con bajas tasas de deforestación es un hecho que no es común en Guatemala. Estudios de dinámica forestal para Guatemala evidencian una deforestación de 1.4% anual, la cual es una de las tasas más altas del mundo a nivel de país. Para el área núcleo de la RBSM la tasa de deforestación, como se puede apreciar en el cuadro siguiente es de 0.3% anual, esta es una tasa significativamente inferior al promedio nacional e incluso inferior a tasas nacionales a nivel internacional. Adicionalmente a lo anterior se ha evidenciado que en Guatemala los principales sitios de deforestación se encuentran precisamente en donde hay bosque, especialmente sur y este de Petén y norte de Quiché y Huehuetenango e Izabal. La RBSM y algunas Áreas Protegidas de la RBM son una excepción a la anterior tendencia. Incluso, como se pude apreciar en el siguiente

cuadro, la zona núcleo de la RBSM presenta tasas de deforestación relativamente bajas comparadas con otras áreas protegidas con categoría de conservación I y II.

**Cuadro 2. Deforestación en áreas protegidas de categorías de conservación I y II en Guatemala.**

Área protegida	Área total (ha)	Área con bosque (%)		Pérdida neta 1991-2001 (ha)	Pérdida neta anual (ha)	Pérdida neta con respecto al total (%)	Tasa de deforestación de AP %	% del AP respecto del total de AP cat I y II
		1991	2001					
Reserva Biosfera Sierra de las Minas	131,890	87.7	85.1	3,446	344.6	9	0.3	11.8
Reserva de Biosfera Montañas Mayas Chiquibul	61,686	87.3	68.8	11,439	1,143.90	29	2.12	5.5
Parque Nacional Laguna del Tigre	289,865	78.6	75.3	9,617	961.7	24	0.42	26
Parque Nacional Sierra del Lacandón	200,371	86.2	81.7	9,016	901.6	23	0.52	17.9
Reserva Biológica San Román	18,742	96.1	85.2	2,053	205.3	5	1.14	1.7
Biotopo Protegido Laguna del Tigre - Río Escondido	47,532	73.9	71.6	1,087	108.7	3	0.31	4.3
Reserva de Biosfera Visis Cabá	34,311	73.2	70.2	1,024	102.4	2	0.41	3.1
32 áreas restantes categorías I y II	332,368	94	93.3	2,344	234.4	6	0.08	29.8
Total (39 áreas)	1,116,764	86	82.5	40,027	4,002.70	100	0.42	100

Fuente: (IARNA, 2009).

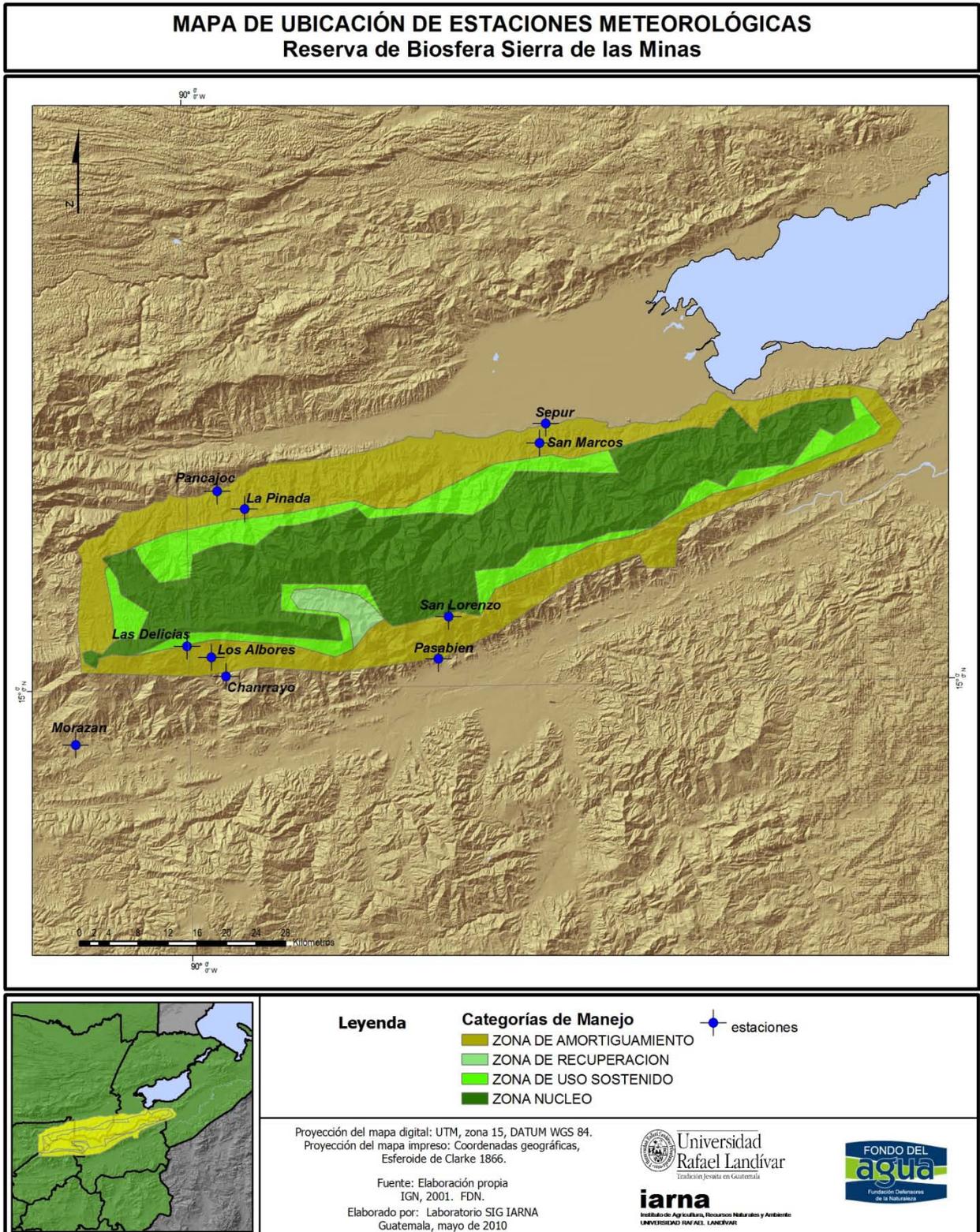
## 7.2 Descripción de aspectos relevantes del clima

Los registros climáticos encontrados fueron analizados para establecer la consistencia de la información proporcionada; los registros climáticos son limitados, los registros históricos más grandes se encuentran en la parte sur de la zona en estudio, aquí se pueden mencionar las estaciones de Morazán, San Lorenzo, Pasabien y Los Albores; además se encuentra la estación de La Fragua, pero se encuentra muy distante del área de estudio y no es representativa de la misma. Otras estaciones fueron encontradas con registros recientes de información, pero sin la información como para poder calcular datos climáticos que permitan establecer el clima del lugar, sin embargo, se incluyeron en el análisis por tener información complementaria de lugares poco monitoreados, este es el caso de la estación de Chanrayo ubicada en el río Hato, la estación las Delicias ubicada en la cuenca del mismo río. Las estaciones se encuentran a una altura máxima de 1600 m por lo que la parte alta del lado sur de la Sierra de las Minas se encuentran sin monitoreo.

El monitoreo climático de la zona norte del área de estudio es casi nulo, considerando para el análisis únicamente estaciones con registros históricos sólidos que permitan establecer comportamientos promedios o normales de esta zona; se cuenta con una estación automatizada en Chilascó, más cercano a las Bocas del Polochic, solo se encuentran estaciones privadas, de las cuales se obtuvo información de la estación de Pancajoc, La Pinada, Sepur y San Marcos; estas estaciones permiten en lo mínimo establecer gradientes de comportamiento de las variables climáticas pero escasamente se encuentran por encima de los 800 m de altitud, por lo que el comportamiento de la parte media y alta de la Sierra de las Minas en su lado norte se encuentra sin monitoreo.

La información obtenida se ordenó y se analizó, determinando los valores medios mensuales para cada una de las estaciones, se determinó la evapotranspiración por el método de Hargreaves y se estableció un balance inicial del comportamiento de las variables de

precipitación y evapotranspiración, la localización de las estaciones climáticas se puede observar en la siguiente figura, y el resumen de la información climática de observa en el siguiente cuadro:



**Figura 4. Ubicación de estaciones meteorológicas en la reserva de la Biosfera Sierra de las Minas**

**Cuadro 3. Resumen de la información climática de la región de la RBSM**

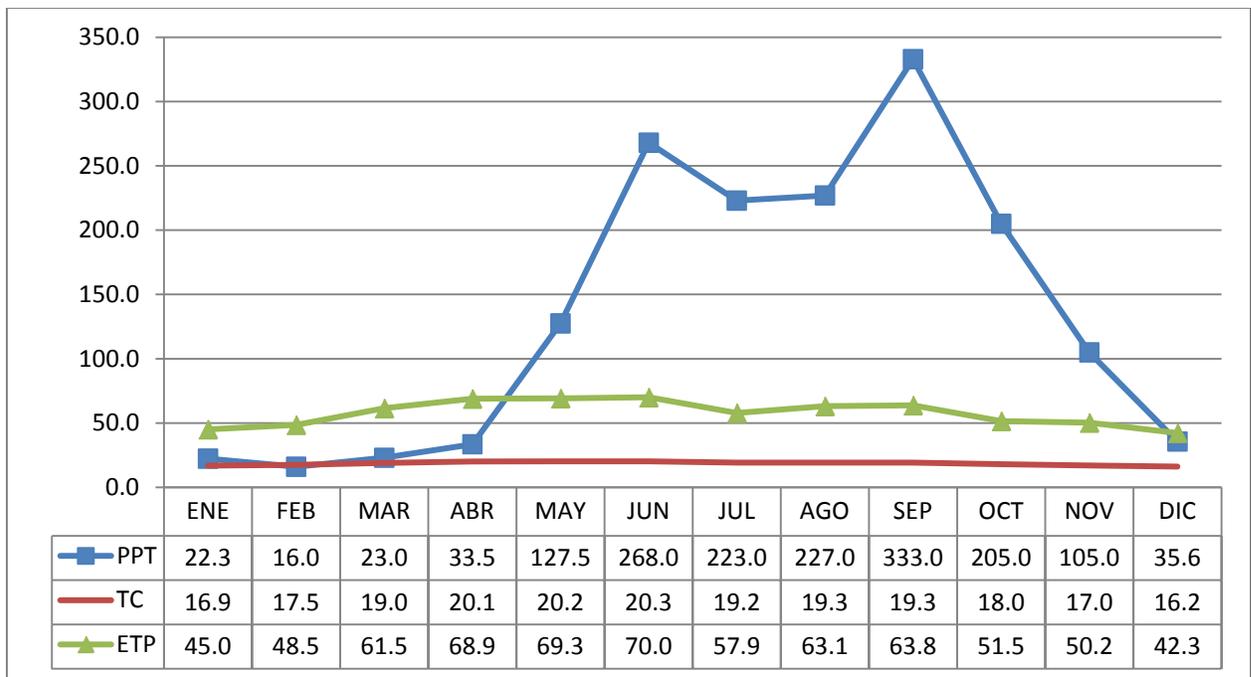
ESTACION	Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Morazán 370 m	PPT	4.4	3.4	12.0	36.5	87.6	144.9	91.6	103.0	167.1	99.8	38.4	10.5	799.1
	TC	26.0	27.4	29.1	30.9	30.3	28.6	28.6	28.7	27.7	27.4	26.4	25.9	28.1
	ETP	113.1	118.4	152.9	166.5	176.3	164.9	169.7	165.9	147.7	138.2	114.7	108.6	1736.9
	PPT-ETP	-108.7	-115.0	-140.9	-130.0	-88.7	-20.1	-78.1	-62.9	19.4	-38.4	-76.3	-98.2	-937.8
Pasabién 260m	PPT	1.9	0.7	6.8	31.0	85.6	199.2	83.2	138.9	163.0	97.3	24.0	6.6	838.3
	TC	28.3	26.2	28.2	31.8	31.9	31.1	30.0	30.6	30.5	29.5	28.3	27.4	29.5
	ETP	107.0	120.9	152.6	190.7	189.2	170.9	150.3	151.7	151.2	133.7	112.4	97.2	1727.8
	PPT-ETP	-105.1	-120.2	-145.8	-159.7	-103.6	28.3	-67.1	-12.8	11.8	-36.4	-88.4	-90.6	-889.6
Los Albores 1600 m	PPT	22.3	16.0	23.0	33.5	127.5	268.0	223.0	227.0	333.0	205.0	105.0	35.6	1618.9
	TC	16.9	17.5	19.0	20.1	20.2	20.3	19.2	19.3	19.3	18.0	17.0	16.2	18.6
	ETP	45.0	48.5	61.5	68.9	69.3	70.0	57.9	63.1	63.8	51.5	50.2	42.3	692.0
	PPT-ETP	-22.7	-32.5	-38.5	-35.4	58.3	198.0	165.1	163.9	269.2	153.5	54.8	-6.7	926.9
San Lorenzo 1650 m	PPT	7.0	18.0	24.0	43.0	179.0	288.0	219.0	189.0	351.0	198.0	67.0	16.0	1599.0
	TC	12.9	13.3	14.2	15.8	16.3	15.9	14.2	14.7	13.8	14.1	13.2	12.6	14.2
	ETP	42.3	44.1	49.8	56.4	58.4	56.7	53.8	56.5	53.2	53.2	49.1	45.5	619.0
	PPT-ETP	-35.3	-26.1	-25.8	-13.4	120.6	231.3	165.2	132.5	297.8	144.8	18.0	-29.5	980.0
Chilascó 1831 m	PPT	80.0	30.0	20.0	83.0	201.0	153.0	149.0	160.0	252.0	70.0	112.0	90.0	1400.0
Pancajoc 300 m	PPT	40.0	54.0	17.0	92.0	458.0	766.0	942.0	316.0	524.0	318.0	5.0	81.0	3613.0
	TC	21.3	22.8	21.9	21.4	20.8	19.8	21.0	21.1	21.6	21.0	22.1	21.4	21.4
	ETP	101.0	106.4	129.5	134.0	141.5	133.6	141.9	138.8	127.9	118.6	103.5	97.4	1474.1
	PPT-ETP	-61.0	-52.4	-112.5	-42.0	316.5	632.4	800.1	177.2	396.1	199.4	-98.5	-16.4	2138.9
La Pinada Pancajoc 800 m	PPT	45.0	81.0	20.0	77.0	20.0	1096.0	1076.0	384.0	702.0	407.0	12.0	111.0	4031.0
	TC	22.4	22.7	25.3	27.2	22.8	21.9	21.7	22.5	24.5	21.6	22.4	22.3	23.1
	ETP	103.8	106.1	140.5	153.8	148.8	141.0	144.4	143.8	137.3	120.5	104.3	99.7	1544.0
	PPT-ETP	-58.8	-25.1	-120.5	-76.8	-128.8	955.0	931.6	240.2	564.7	286.5	-92.3	11.3	2487.0
Las Delicias Hato 1600 m	PPT	68.0	21.0	4.0	15.0	44.0	287.0	518.0	301.0	354.0	320.0	18.0	25.0	1975.0
	TC	17.3	16.5	18.1	20.9	19.2	18.4	18.8	19.4	20.1	17.4	16.3	16.5	18.2
	ETP	90.7	89.9	117.1	132.3	135.6	128.6	133.8	132.8	123.1	107.6	88.5	85.3	1365.0
	PPT-ETP	-22.7	-68.9	-113.1	-117.3	-91.6	158.4	384.2	168.3	231.0	212.4	-70.5	-60.3	610.0
San Marcos Zarco 350 m	PPT	132.0	164.0	44.0	221.0	203.0	495.0	1018.0	322.0	539.0	512.0	13.0	227.0	3890.0
	TC	25.1	23.3	24.8	26.7	27.0	26.2	26.3	27.4	28.0	25.2	24.2	24.2	25.7
	ETP	110.8	107.7	138.9	152.1	164.2	156.3	161.3	161.3	148.7	131.5	109.0	104.4	1646.2
	PPT-ETP	21.2	56.3	-94.9	68.9	38.8	338.7	856.7	160.7	390.3	380.5	-96.0	122.6	2243.8
Sepur Zarco 100 m	PPT	115.0	0.0	41.0	137.0	147.0	328.0	948.0	210.0	560.0	458.0	16.0	142.0	3102.0
	TC	24.3	24.0	26.7	28.6	29.1	27.9	27.5	28.7	29.3	26.5	24.8	24.5	26.8
	ETP	108.8	109.5	145.1	158.6	171.9	162.4	165.7	166.0	152.9	135.5	110.5	105.2	1691.9
	PPT-ETP	6.3	-109.5	-104.1	-21.6	-24.9	165.6	782.3	44.1	407.1	322.6	-94.5	36.8	1410.1

PPT                                   Precipitación mm/mes  
 TC                                    Temperatura en grados Celsius  
 ETP                                  Evapotranspiración mm/mes  
 PPT-ETP                           Balance mm/mes

Para cada una de las estaciones se estableció un climadiagrama que permita explicar el comportamiento de las variables climáticas en el tiempo, utilizando los datos de precipitación y evapotranspiración se realizó la grafica que muestra el comportamiento, resaltando los épocas de déficit y exceso de humedad. Luego utilizando la metodología de Thornthwaite se clasifico ese comportamiento dentro de los climas. A continuación se encuentra el análisis para las estaciones:

### 7.2.1 Estación Los Albores.

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de junio (268 mm) y septiembre (333 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación correspondiente a la “Canicula”, el comportamiento de la evapotranspiración no sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 1.5 y 2.3 mm. Los excesos se marcan en los meses de la época lluviosa desde mayo hasta noviembre.



**Figura 5. Climadiagrama de la estación Los albores.**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como esta humedad se manifiesta en la época lluviosa, para lo cual se utiliza el índice de aridez (Ia), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se estableció que la clasificación climática es la siguiente

#### Cuadro 4. Clasificación climática estación Los Albores

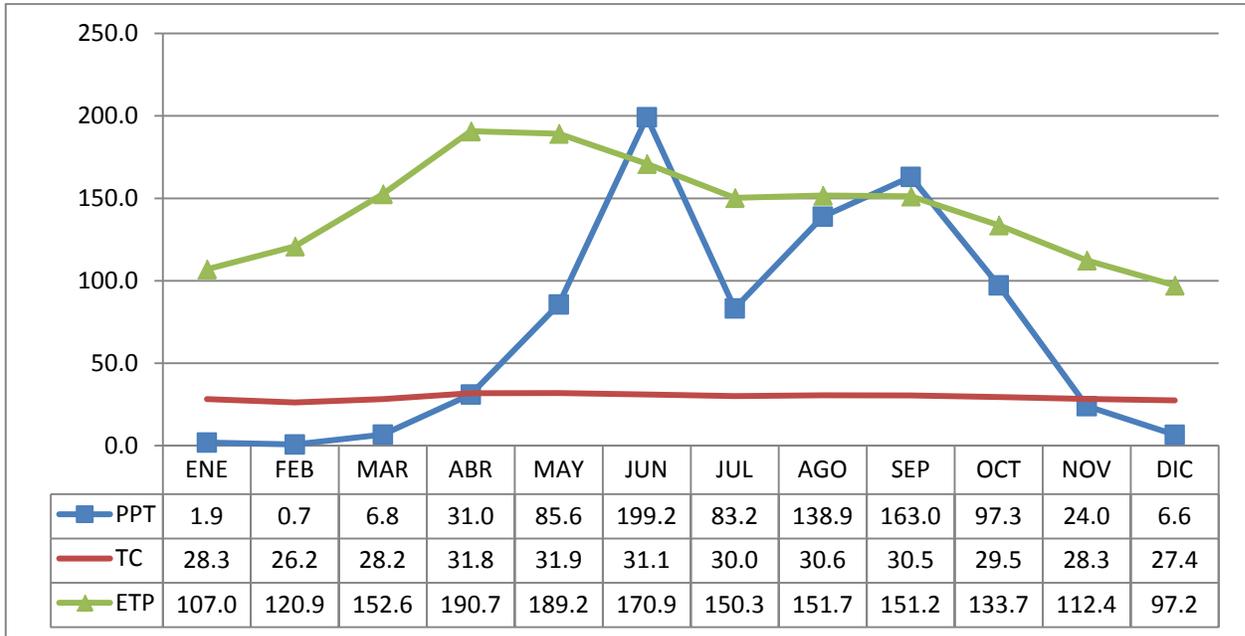
Regimen de Humedad	
Exceso	1062.7
Déficit	-135.9
ETP	692.02
Im	165.350134
Variación estacional de la Humedad	
la	-19.6323806
lh	153.570706
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	692.02
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	27.6003584

#### Clasificación climática: AsB'1a'

A	Super húmedo
s	Moderada deficiencia en verano
B'1	Meso térmica Semi fría
a'	Menos del 48 de ETP en verano

#### 7.2.2 Estación Pasabién

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de junio (199.2 mm) y septiembre (163 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación correspondiente a la "Canicula", el comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3 y 6.3 mm, siendo los meses de abril y mayo los de mayores demandas de agua. Los excesos se marcan ligeramente en los meses de junio y septiembre. La época lluviosa inicia en mayo y se prolonga hasta noviembre pero los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos.



**Figura 6. Climadiagrama de estación Pasbien**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima seco, por lo cual hay que establecer como si existe algún exceso de humedad significativo durante el año, para lo cual se utiliza el índice de humedad (Ih), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se estableció que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 5. Clasificación climática estación Pasbien**

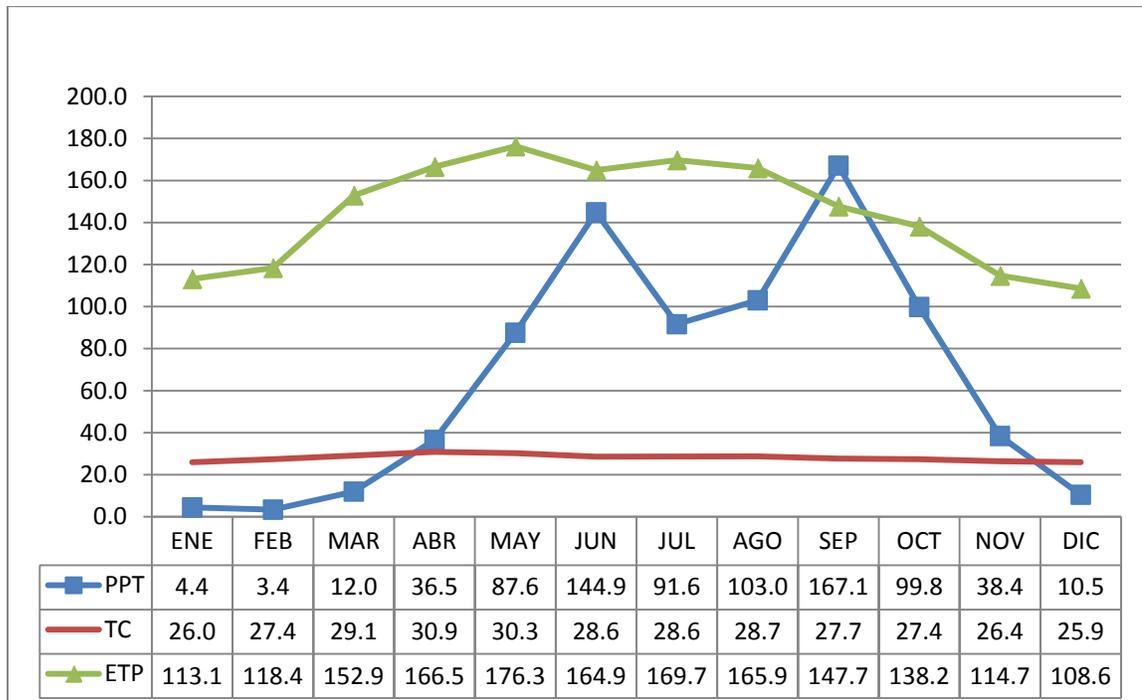
Regimen de Humedad	
Exceso	40.0
Déficit	929.6
ETP	1727.8
Im	-29.9642933
Variación estacional de la Humedad	
la	53.8033722
h	2.31773004
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1727.84
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	27.3700111

**Clasificación climática: DdA´a´**

D	Semiárido o seco
D	Nulo o pequeño exceso de agua
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48

### 7.2.3 Estación Morazán

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de junio (144.9 mm) y septiembre (167.1 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en los meses de julio y agosto correspondiente a la "Canicula", el comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3.5 y 5.5 mm, siendo los meses de abril y mayo los de mayores demandas de agua. Los excesos se marcan ligeramente en el mes de septiembre unicamente. La época lluviosa inicia en mayo y se prolonga hasta noviembre pero los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos.



**Figura 7. Climadiagrama de la estación Morazán**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima seco, por lo cual hay que establecer como si existe algún exceso de humedad significativo durante el año, para lo cual se utiliza el índice de humedad (Ih), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 6. Cuadro de clasificación climática de estación Mirazán**

Regimen de Humedad	
Exceso	0
Déficit	937.8
ETP	1736.9
Im	-32.3958489
Variación estacional de la Humedad	
la	53.9930815
lh	0
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1736.9
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	28.8157061

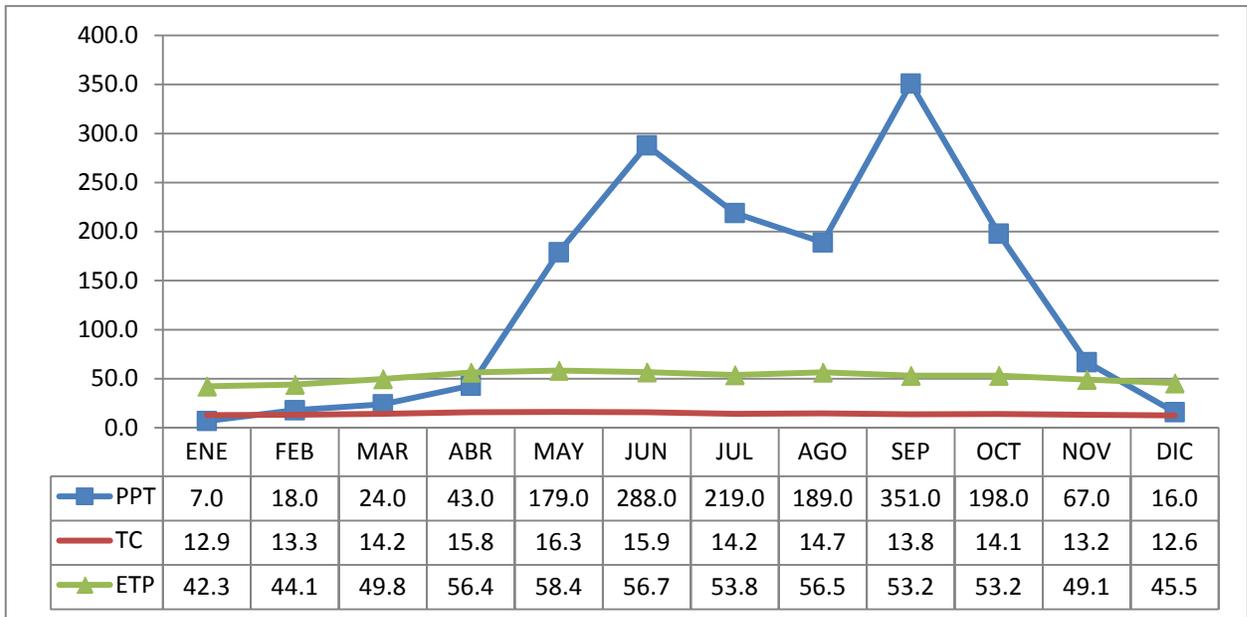
**Clasificación climática: DdA´a´**

D	Semiárido o seco
d	Nulo o pequeño exceso de agua
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48

Cabe destacar que la estación Morazán tiene igual clasificación climática que la estación Pasabién.

**7.2.4 Estación San Lorenzo**

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de junio (288 mm) y septiembre (351 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en los meses de julio y agosto correspondiente a la “Canícula”, el comportamiento de la evapotranspiración no sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 1.5 y 1.9 mm, siendo los meses de mayo y junio los de mayores demandas de agua. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 300 mm en el mes de septiembre. La época lluviosa inicia en mayo y se prolonga hasta noviembre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría positivos.



**Figura 8, Climadiagrama de la estación San Lorenzo**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad significativo durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez (Ia), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 7. Clasificación climática estación San Lorenzo.**

Regimen de Humedad	
Exceso	1110.2
Déficit	-130.1
ETP	618.966
Im	191.971061
Variación estacional de la Humedad	
Ia	-21.0231257
Ih	179.357186
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	618.966
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	26.974018

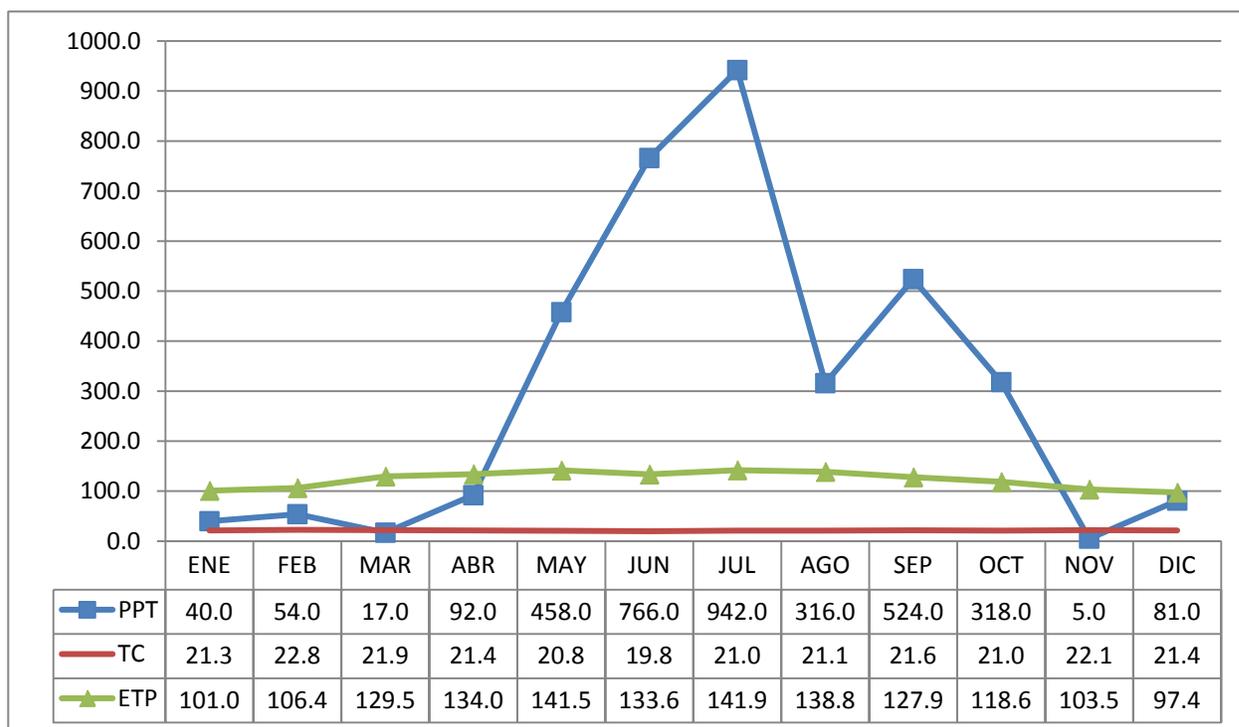
**Clasificación climática: AsB'1`a`**

A	Super húmedo
s	Moderada deficiencia en verano
B'1	Mesotermica Semi fría
a`	Menos del 48 de ETP en verano

Cabe destacar que la clasificación climática de la estación San Lorenzo es igual a la de la Estación Los Albores

### 7.2.5 Estación Pancajoc

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de julio (942 mm) y septiembre (524 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en el mes de agosto correspondiente a la “Canícula”, el comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3.3 y 4.7 mm. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 800 mm en el mes de julio. La época lluviosa inicia en mayo y se prolonga hasta noviembre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría positivos.



**Figura 9. Climadiagrama de la estación Pancajoc**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad significativo durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez (Ia), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

### Cuadro 8. Clasificación climática estación Pancajoc

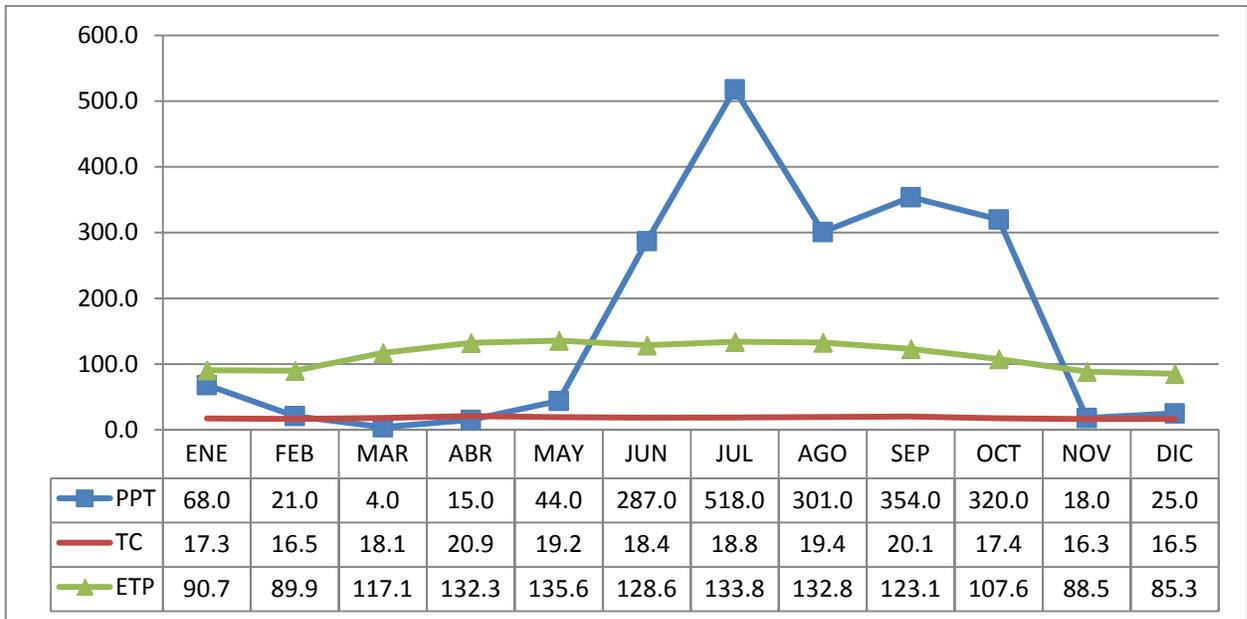
Regimen de Humedad	
Exceso	2521.7
Déficit	-382.8
ETP	1474.1
Im	186.648124
Variación estacional de la Humedad	
la	-25.9683875
lh	171.067092
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1474.1
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	28.1052846

#### Clasificación climática: AsB`1`a`

A	Super húmedo
s	Moderada deficiencia en verano
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48 de ETP en verano

#### 7.2.6 Estación Las Delicias Hato

El climadiagrama muestra un comportamiento bimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de julio (518 mm) y septiembre (353 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en el mes de agosto correspondiente a la “Canícula” es casi imperceptible, el comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3 y 4.5 mm. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 400 mm en los meses de julio. La época lluviosa inicia en mayo y se prolonga hasta octubre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos.



**Figura 10. Climadiagrama de la estación Las Delicias Hato**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez ( $I_a$ ), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 9. Cuadro de clasificación climática de la estación Las Delicias Hato**

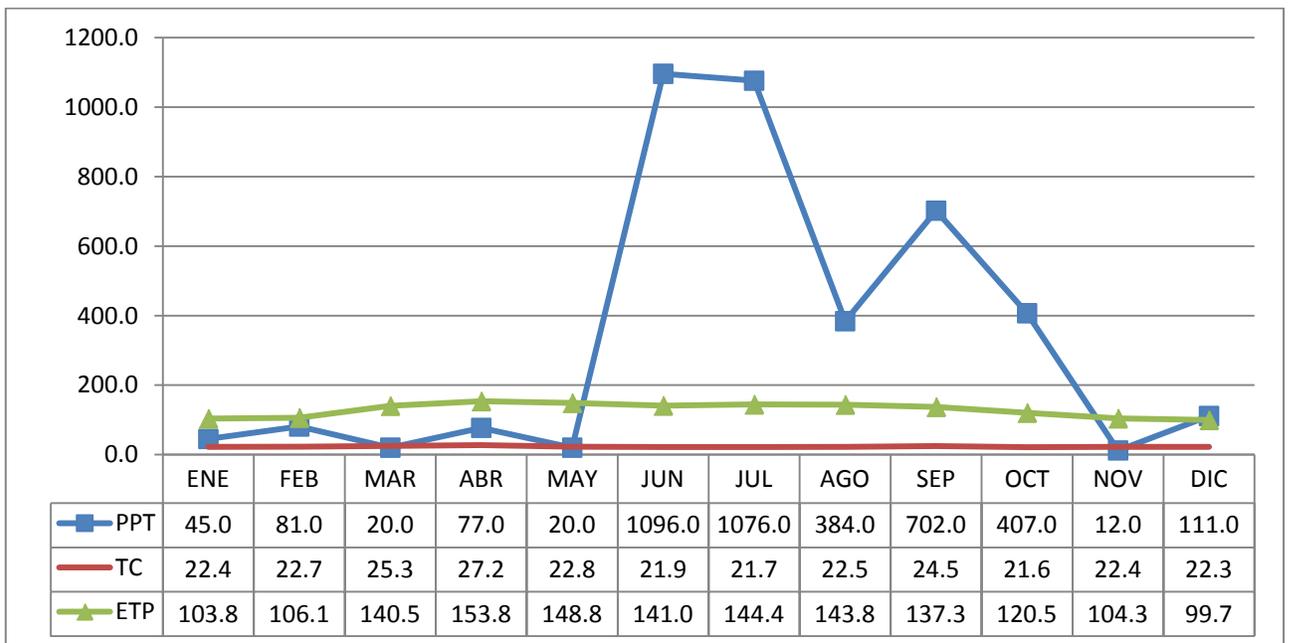
Regimen de Humedad	
Exceso	1154.2
Déficit	-544.2
ETP	1365.01
Im	108.472612
Variación estacional de la Humedad	
$I_a$	-39.865642
$I_h$	84.5532267
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1365.01
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	28.9499711

**Clasificación climática: As2A`a`**

A	Super húmedo
s2	Gran deficiencia en verano
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48 de ETP en verano

## 7.2.7 Estación La Pinada Pancajoc

El climadiagrama muestra un comportamiento polimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de junio (1096 mm), julio (1076 mm) y septiembre (702 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en el mes de agosto correspondiente a la “Canícula”. El comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3.3 y 5.1 mm. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 950 mm en los meses de junio y julio. La época lluviosa inicia en abril, sin embargo hay precipitaciones durante todo el año, pero se concentran en los meses de junio a octubre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos, pero los excesos son mucho mayores que los déficit que se presentan.



**Figura 11. Climadiagrama de estación La Pinada Pancajoc**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez (Ia), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 10. Cuadro de clasificación climática estación La Pinada Pancajoc.**

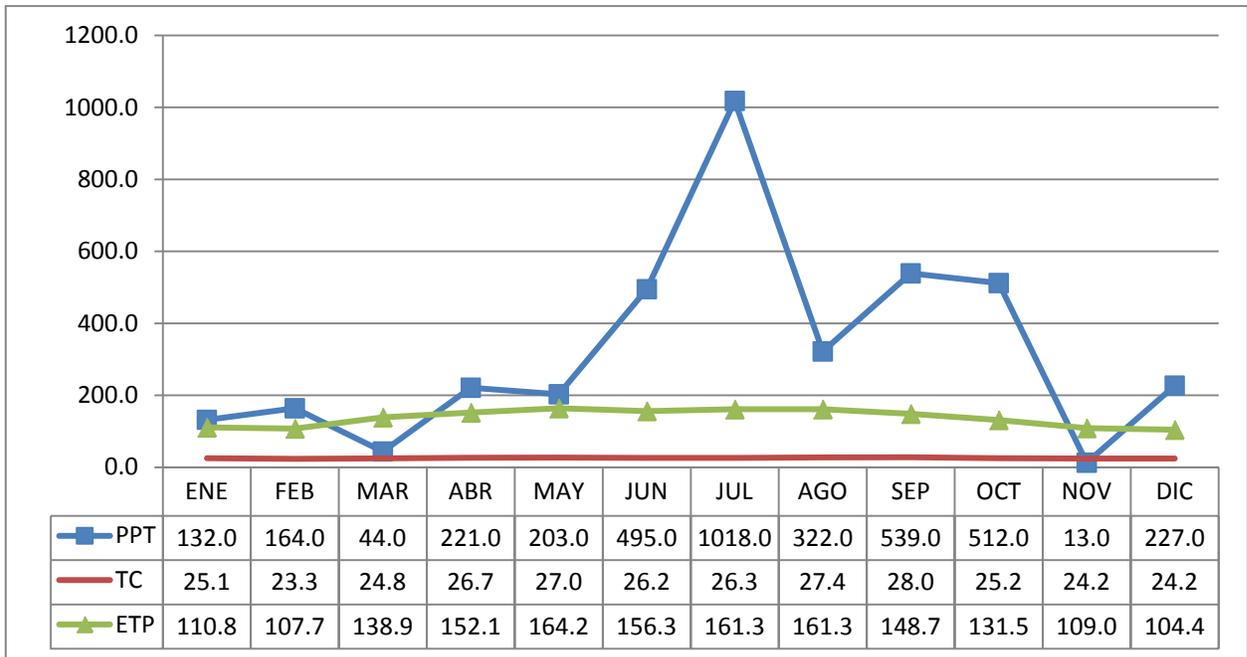
Regimen de Humedad	
Exceso	2989.3
Deficit	-502.3
ETP	1544
Im	213.126943
Variación estacional de la Humedad	
la	-32.5323834
lh	193.607513
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1544
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	27.7979275

**Clasificación climática: AsA`a`**

A	Super húmedo
s	Moderada deficiencia en verano
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48

**7.2.8 Estación San Marcos.**

El climadiagrama muestra un comportamiento polimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de julio (1018 mm), septiembre (539 mm) y octubre (512 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en el mes de agosto correspondiente a la “Canícula”. El comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3.6 y 5.3 mm. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 950 mm en el mes de julio. La época lluviosa inicia en abril, sin embargo hay precipitaciones durante todo el año, pero se concentran en los meses de junio a octubre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos, pero los excesos son mucho mayores que los déficits que se presentan.



**Figura 12. Climadiagrama de estación San Marcos, Zarco.**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez ( $I_a$ ), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 11. Clasificación climática estación San Marcos Zarco**

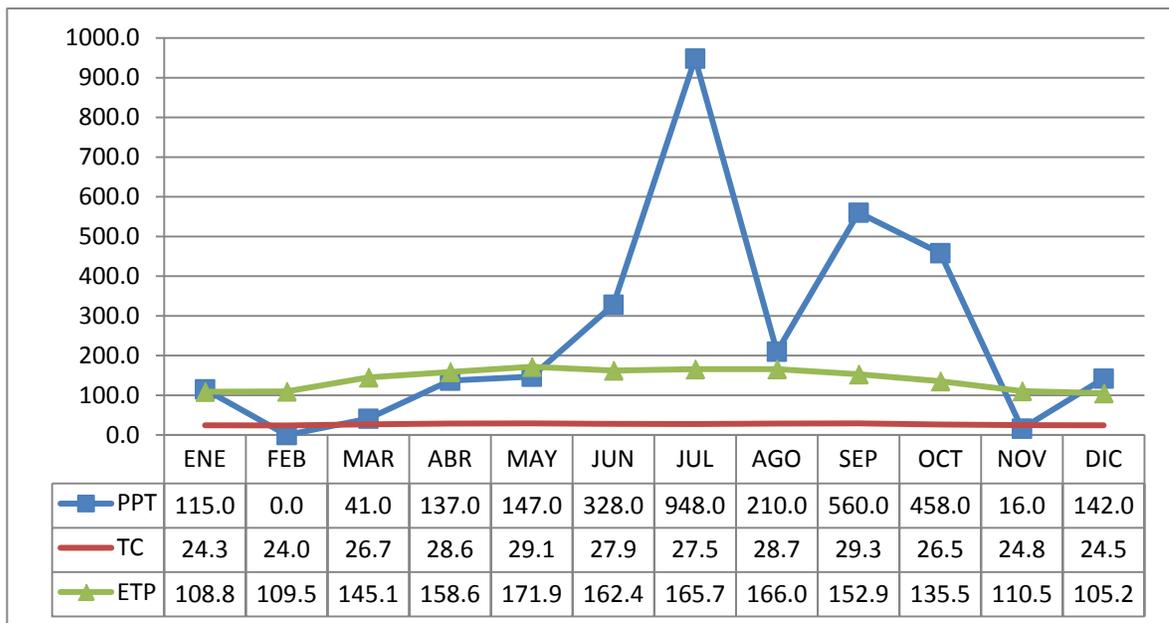
Regimen de Humedad	
Exceso	2434.7
Deficit	-190.9
ETP	1646.2
Im	154.854088
Variación estacional de la Humedad	
$I_a$	-11.5951889
$I_h$	147.896975
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1646.2
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	29.0912404

**Clasificación climática ArA`a`**

A	Súper húmedo
r	Nula o pequeña deficiencia de agua
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48 de ETP en verano

## 7.2.9 Estación Sepur Zarco

El climadiagrama muestra un comportamiento polimodal de la precipitación con sus puntos más altos en los meses de julio (948 mm), septiembre (560 mm) y octubre (458 mm), la presencia de un periodo intermedio en la época lluviosa con menor precipitación en el mes de agosto correspondiente a la “Canícula”. El comportamiento de la evapotranspiración sufre cambios significativos durante el año y tiene valores diarios entre 3.6 y 5.3 mm. Los excesos se marcan durante toda la época lluviosa, teniendo excedentes de aproximadamente 800 mm en el mes de julio. La época lluviosa inicia en abril, sin embargo hay precipitaciones durante todo el año, pero se concentran en los meses de junio a octubre, los balances mensuales de humedad son en su mayoría negativos, pero los excesos son mucho mayores que los déficits que se presentan.



**Figura 13. Climadiagrama estación Sepur, Zarco.**

En resumen los factores considerados en la clasificación se muestran en el siguiente cuadro. El régimen de humedad se determina utilizando una relación entre el exceso y el déficit y en este caso muestra las condiciones de un clima húmedo, por lo cual hay que establecer como si existe alguna variación significativa de humedad durante el año, para lo cual se utiliza el índice de aridez (Ia), la eficiencia térmica representada por la evapotranspiración y luego se determina como se concentra la evapotranspiración en los meses de verano. Luego del análisis se establece que la clasificación climática es la siguiente:

**Cuadro 12. Clasificación climática de la estación Sepur Zarco.**

Regimen de Humedad	
Exceso	1764.7
Deficit	-354.7
ETP	1691.94
Im	116.880504
Variación estacional de la Humedad	
la	-20.9629183
lh	104.302753
Indice de Eficiencia térmica	
Etp	1691.94
[ ] de eficiencia térmica	
[ ] Et	29.1954797

**Casificación climática: ArA`a`**

A	Super húmedo
r	Moderada deficiencia en verano
A´	Megatérmica o cálida
a´	Menos del 48 de ETP en verano

### 7.2.10 Comportamiento espacial de las variables climáticas

El análisis presentado anteriormente corresponde al clima observado en cada una de las estaciones climáticas encontradas en el área, estas representan puntos específicos relacionados a la ubicación de cada una de las estaciones analizadas de tal forma que para mostrar el comportamiento del clima en lugares aledaños a ellas, se debe de proyectar la información utilizando la metodología adecuada que permita reproducir el comportamiento de las variables, utilizando la información disponible.

En el caso de la Sierra de las Minas, el comportamiento de la precipitación tiene un componente orográfico, que domina la el área sur principalmente, de esta forma aunque existen otros tipos de precipitación (convectivas y orográficas), el factor dominante es el orográfico y por lo tanto el modelo teórico a analizar responde a este comportamiento. La temperatura tiene un comportamiento teórico que es inversamente proporcional a la altitud y como la evapotranspiración está relacionada a la temperatura, su comportamiento será similar.

Utilizando el criterio de la proximidad y la diferencia de altura entre las estaciones se procedió a encontrar gradientes de comportamiento de las diferentes variables climáticas de tal forma de encontrar la distribución espacial de la variable en función de la altura. A continuación se muestran los gradientes encontrados para las diferentes variables.

**Cuadro 13. Gradientes de variables climáticas entre las diferentes estaciones.**

Variable	Gradiente	Valor	Relación
Precipitación	Gradiente Morazan Chanrayo	373.6	mm/100 m
	Gradiente Morazan Albores	91.1	mm/100 m
	Gradiente Pasabien San Lorenzo	54.7	mm/100 m
	Gradiente Pancajoc Pinada	84	mm/100 m
	Gradiente Sepur San Marcos	315	mm/100 m
Temperatura	Gradiente Morazan Chanrayo	7.7	C/km
	Gradiente Pasabien San Lorenzo	11	C/km
	Gradiente Pancajoc Pinada	3.5	C/km
	Gradiente Sepur San Marcos	4.5	C/km
Evapotranspiracion	Gradiente Morazan Chanrayo	850	mm/1000 m
	Gradiente Pasabien San Lorenzo	798	mm/1000 m
	Gradiente Pancajoc Pinada	140	mm/1000 m
	Gradiente Sepur San Marcos	183	mm/1000 m

Basado en estos gradientes se procedió a dibujar las isolineas respectivas para cada una de las variables, los mapas respectivos se describen y muestran a continuación.

### 7.2.11 Isoyetas

El comportamiento de las isoyetas del área de estudio se divide en la zona sur y zona norte. Para la zona norte las precipitaciones inician dentro del área de estudio en los 3200 mm anuales y puede alcanzar los 4800 mm en la parte alta, es la zona mas lluviosa con alta influencia de la humedad del Oceano Atlántico, de donde proviene gran parte de la humedad que ahí precipita. La zona sur es menos húmeda y presenta precipitaciones desde los 800 mm en la parte baja en donde el clima es seco, en una franja que se extiende desde Morazan a lo largo del valle del Motagua. En tal sentido se encuentra en el área este de la zona un aumento de la precipitación, producto de las condiciones montañosas que superan los 3000 msnm, aquí la precipitación alcanza los 3200 mm.

### 7.2.12 Isotermas (Celsius)

Las isolineas de temperatura son similares en la Sierra de las Minas en la zona norte y sur, de tal forma que la temperatura más alta que se presenta en las partes más bajas es de 28 C, y la parte más alta tiene una temperatura promedio anual de 16 grados Celsius, tiene una disposición Oeste-Este. Los gradientes de temperatura utilizados son de 7.5 a 11 grados centígrados por kilometro en la primera parte del ascenso y luego los gradientes bajan hasta 3.5 grados Celsius por kilometro. El gradiente mas alto lo presenta el área localizada en el centro de la región sur.

### 7.2.13 Isopletas

El comportamiento de la evapotranspiración es inversamente proporcional a la altura, se tienen evapotranspiraciones que alcanzan los 5.5 mm diarios en promedio en la parte más baja de la Sierra de las Minas, conforme se asciende se disminuye la demanda climática reflejada en la evapotranspiración, hasta alcanzar valores cercanos a los 2 mm diarios es decir 600 mm anuales.

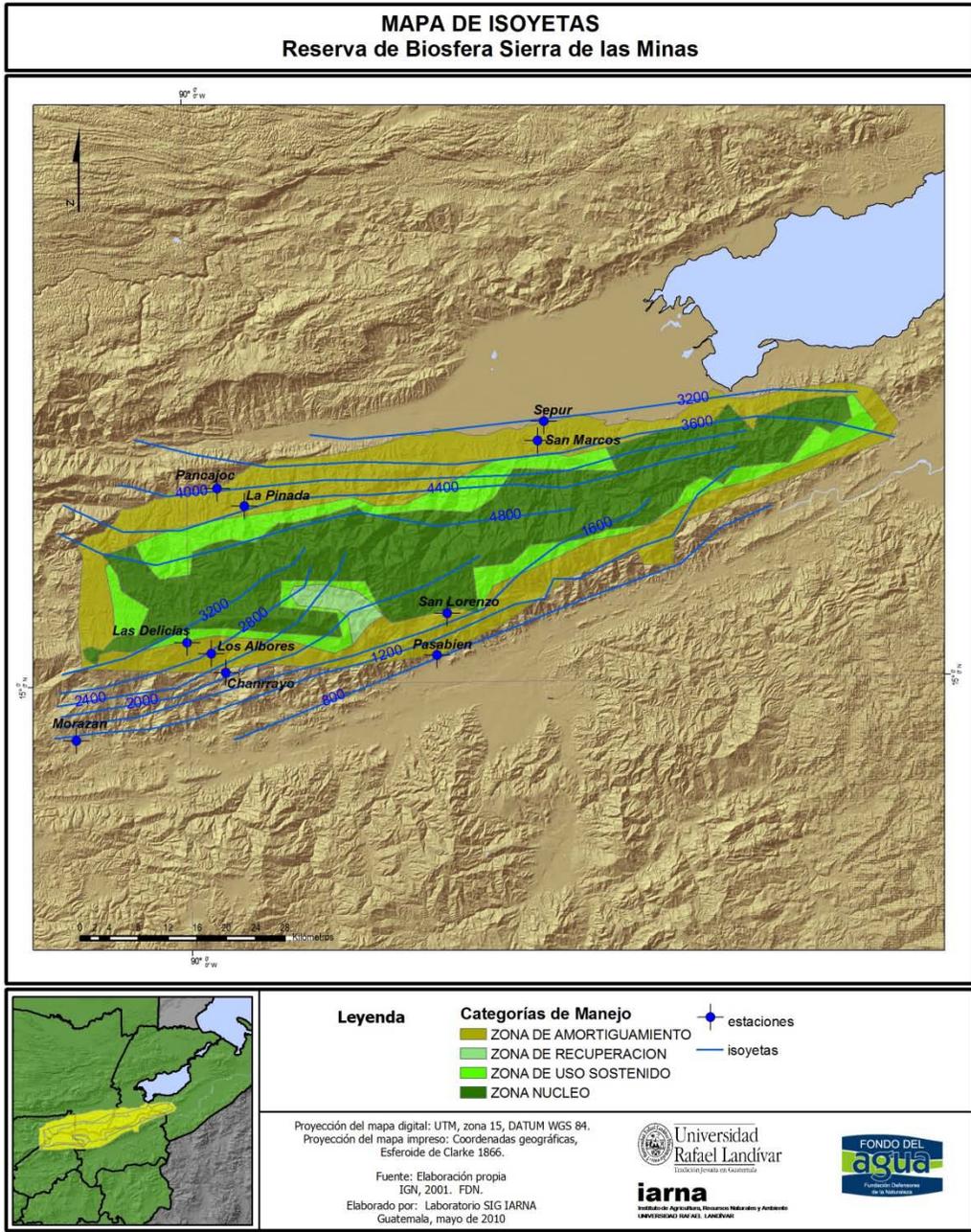


Figura 14. Isoyetas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas

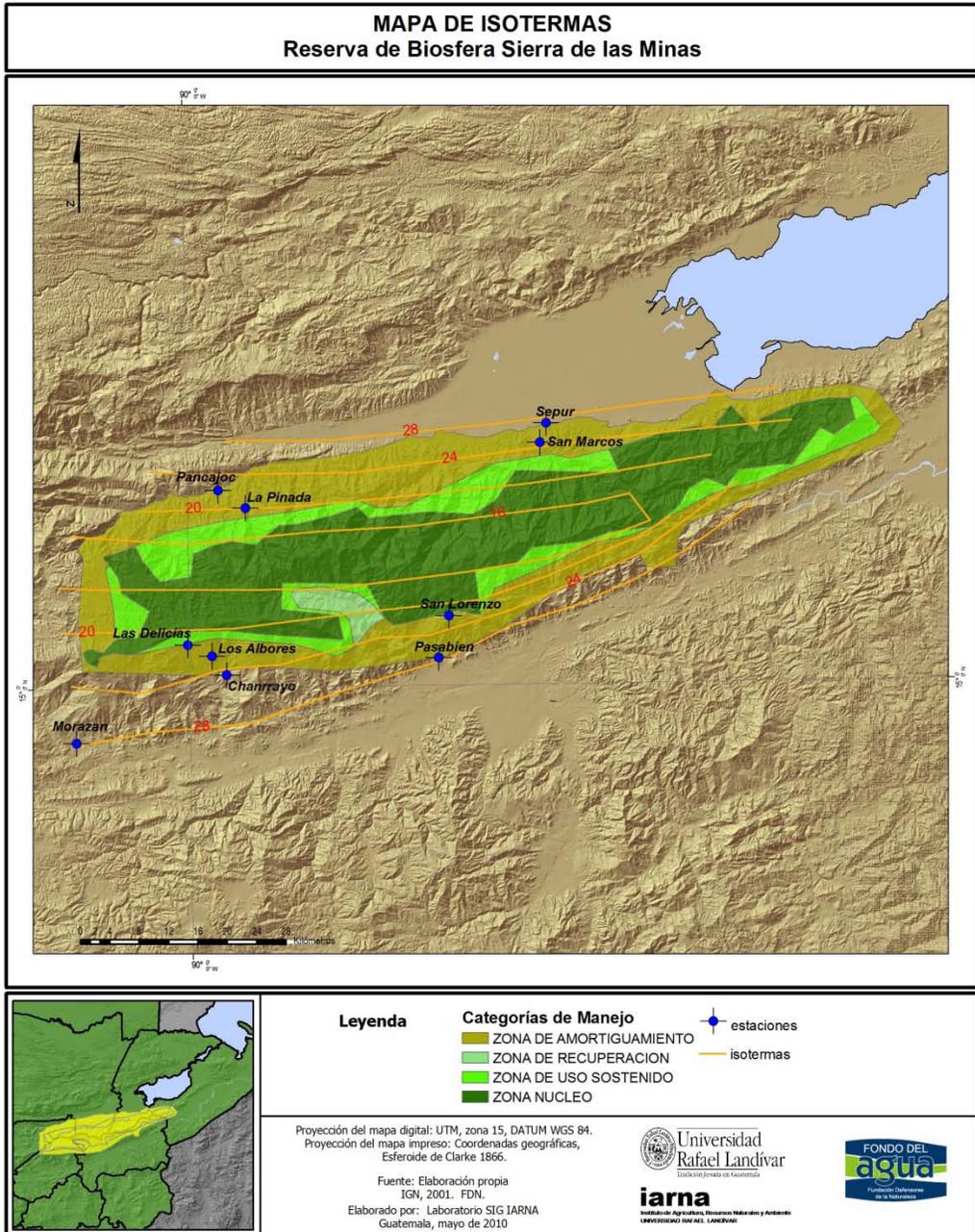


Figura 15. Isotermas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas

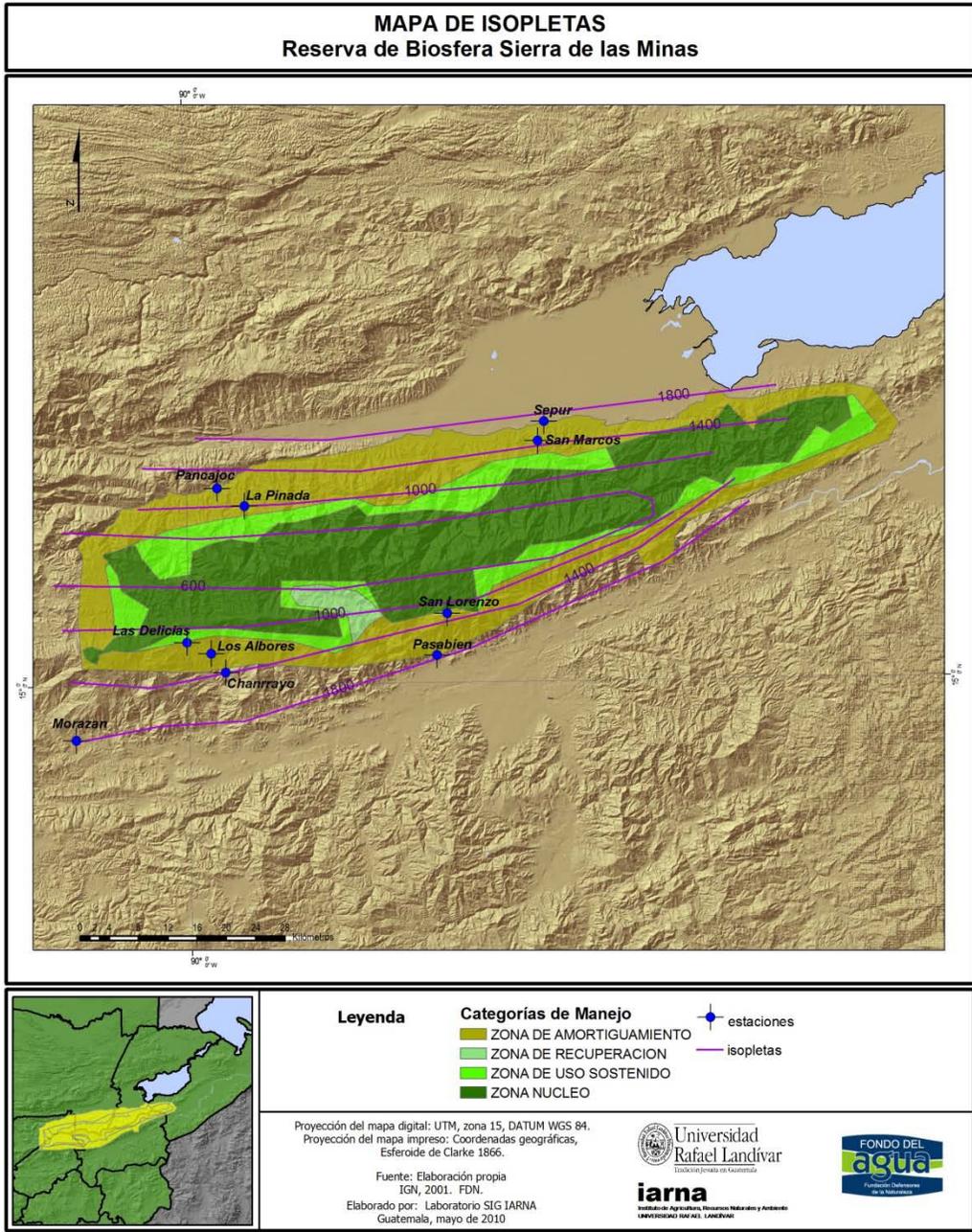


Figura 16. Isopletas de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas

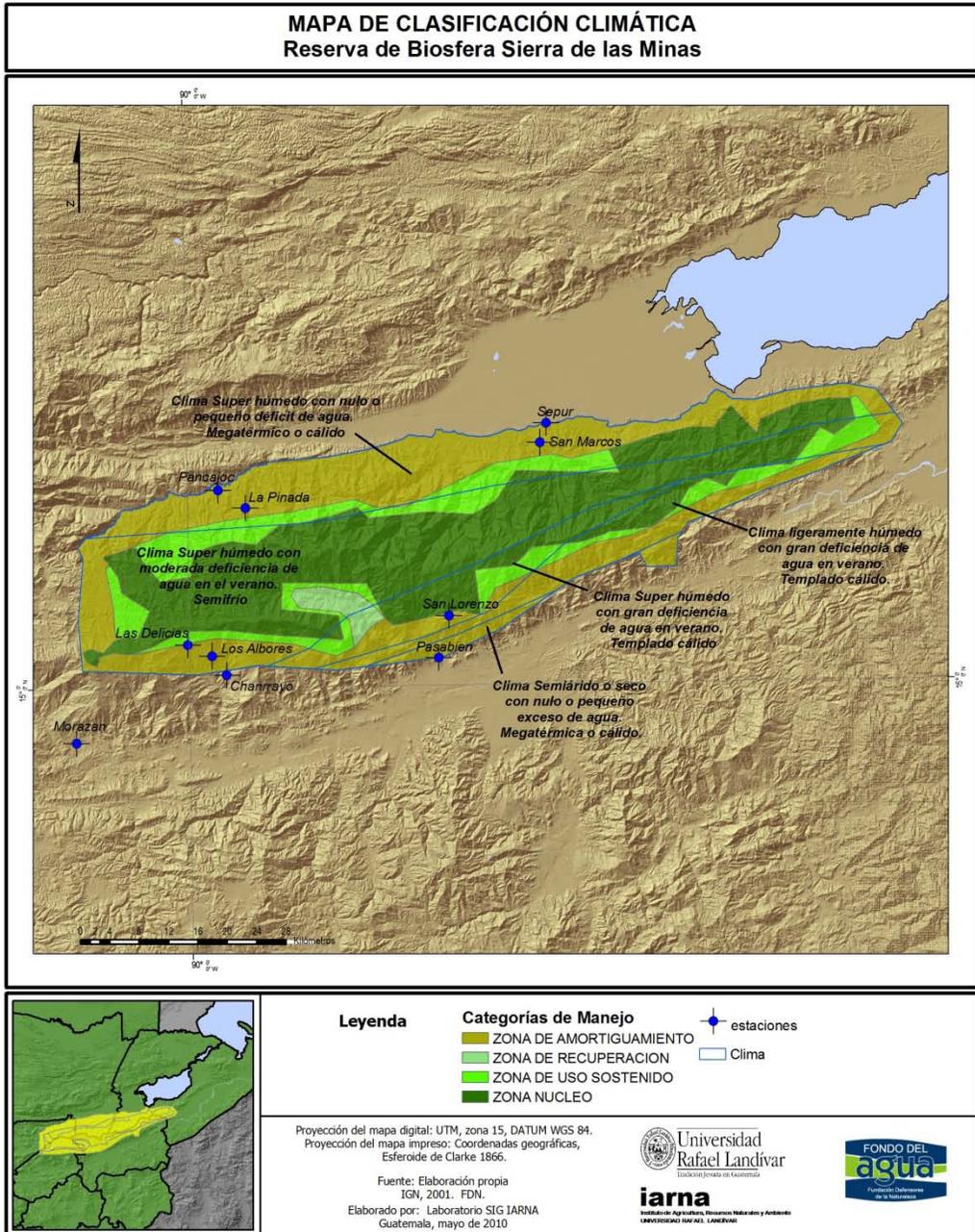


Figura 17. Clasificación climática de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas.

### **7.2.14 Mapa climático preliminar de la Sierra de las Minas**

El mapa climático preliminar muestra un clima seco o semiárido en la zona sur de la Sierra de las Minas, con nulos o escasos excesos de humedad y una temperatura cálida. Desde el punto de vista climático este es un indicador de su dependencia de otras regiones para el abastecimiento de agua por parte de actividades agrícolas y de las poblaciones. Esta tipo de clima coincide con el bosque seco y muy seco del valle del Moatagua

Al ir ascendiendo en sentido sur-norte, se encuentra un clima húmedo con deficiencias significativas en verano y cálido y a continuación, siguiendo el ascenso se encuentra un clima húmedo, pero siempre con deficiencias grandes. Estas dos clasificaciones de clima coinciden con la formación de pino-encino.

Luego en la parte más alta y descendiendo hacia el norte se encuentra un clima superhúmedo, con grandes excesos de humedad, con la diferencia que en la parte alta es semifrío con moderada deficiencia de agua en verano y más al norte se encuentra un clima cálido, superhúmedo, nulos déficits de agua. Estas clasificaciones climáticas coinciden con el bosque nuboso al mismo tiempo se hace evidente que estos son los sitios que mayor exposición a las corrientes de humedad y lluvia de la humedad proveniente del golfo de México y del mar Caribe. Además la connotación de que no tienen déficit hídrico en verano es un indicador de la importancia de estas áreas para la alimentación del flujo básico o caudales mínimos, sobre todo hacia el sur de la RBSM.

### **7.2.15 Datos climáticos relevantes respecto al papel hidrológico del bosque de la RBSM.**

El aporte de la precipitación horizontal proveniente del contacto de las copas de los árboles con las nubes es medida en precipitación neta, es decir la precipitación que llega al suelo del bosque, y se compara con la precipitación bruta, es decir la precipitación que miden los pluviómetros convencionales fuera del dosel del bosque. Los datos típicos de precipitación neta están determinados por los respectivos sistemas de bosque de montaña, los datos revisado por Bruijnzeel y Proctor (1995) fueron: (i) 67 - 81% (promedio 75%, n = 9) para el bosque montano bajo, el cual no se ve afectada tanto por las nubes, (ii) 80 - 101% (promedio 88%, n = 4) para el límite inferior del bosque mesófilo de montaña, y (iii) 81 - 179% (media del 112%, n = 10) para los bosque montanos superiores, por ejemplo, en sitios de bosque enano (Bruijnzeel S. , 1999).

Sin embargo existen referencias del bosque nuboso de la RBSM (Brown et al, 1996) en donde se reportan datos mas altos (from 112% to 109%). Asimismo se definió que la interceptación de nubes es un proceso altamente estacional que asume su mayor importancia durante la época seca. Como tal, un bosque nublado con una cifra global precipitación neta muy por debajo de 100% aún puede experimentar un valor mucho más alto en determinadas épocas del año. Un ejemplo de ello es la Sierra de las Minas, Guatemala, donde en la zona de bosque nublado montano bajo a 2200 m de escurrimiento promedio es de 81%. En la temporada de lluvias (agosto, septiembre) escurrimiento relativa baja a aproximadamente el 65%, pero durante la estación seca (enero-marzo) excede la precipitación incidente. A los 2400 m (zona de transición de bosque nublado montano superior) la interceptación de nubes, es importante durante todo

el año, pero de nuevo llega a su punto máximo durante la estación seca. La interceptación de la nube es aún más pronunciada en el 2750 m. En el período enero - marzo de 1996, escurrimiento superado las precipitaciones por 147 mm, con los valores máximos de exceso de alcanzar no menos del 40-50 mm en 3-4 días períodos. Más importante aún, las conclusiones de Guatemala subrayan la importancia de BMM para el flujo sostenido de la temporada seca (cf. Zadroga, 1981). Volveremos a este punto importante en la sección de BMM y el rendimiento de agua. Hay una necesidad de estudios adicionales, como el de Brown (Bruijnzeel S. , 1999).

En consecuencia la RBSM tiene datos excepcionales para la parte alta, sobre todo de capacidad del bosque de incrementar la precipitación neta incluso a más del 100% de la precipitación bruta, especialmente en la época seca. Esta característica le da aun mayor importancia al sistema monatañosos de la RBSM.

### 7.2.16 Aspectos relevantes de la calidad del Agua de la RBSM.

Respecto a la calidad del agua, además del análisis respectivo en cada cuenca de estudio detallado se pueden hacer observaciones generales, se presenta a continuación un breve análisis de la calidad del agua a nivel de la RBSM.

A nivel general (Figura 18), en las figuras siguientes se puede apreciar como la conductividad eléctrica aumenta considerablemente en los meses de estiaje. Esto se debe a que al no haber escorrentía superficial por efectos de precipitación, el agua subterránea es la que se presenta en mayor porcentaje y cuando llueve el efecto de dilución disminuye el contenido de elementos en el agua y por ende la conductividad eléctrica. Esto es un indicador del aporte subterráneo que existe del aporte del agua subterránea en estación seca. Esto es una evidencia del papel de regulación hidrológica que aporta la parte alta de las cuencas. Al mismo tiempo existe una gran diferenciación entre dos grupos, previos a poblados grandes y antes. Todas las muestras tomadas previamente a sitios densamente poblados presentan valores menores a 600 $\mu$ s/cm en abril y los obtenidos en sitios después de sitios poblados aumentan significativamente durante todo el año esto puede deberse al aumento de sólidos solubles debido a las descargas de agua servidas.

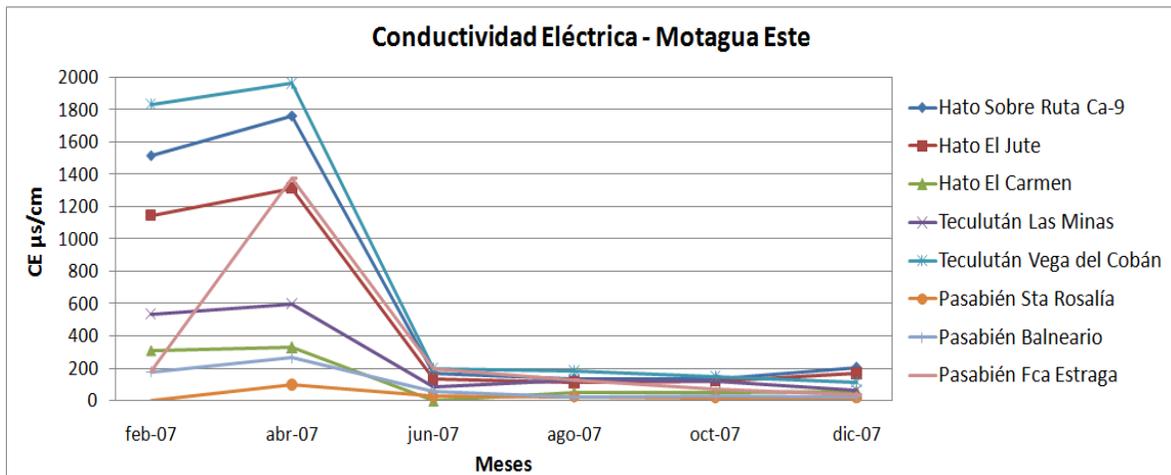
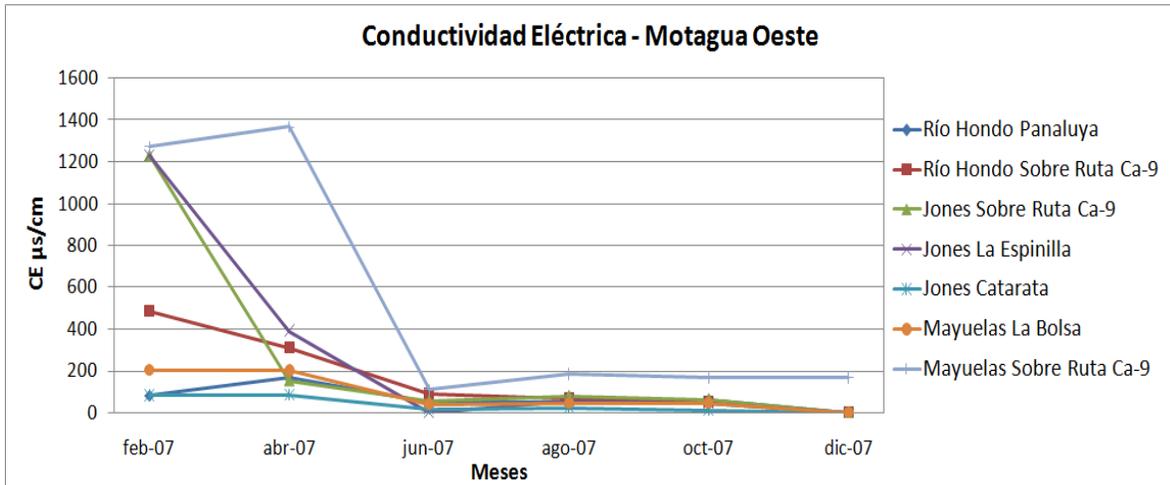


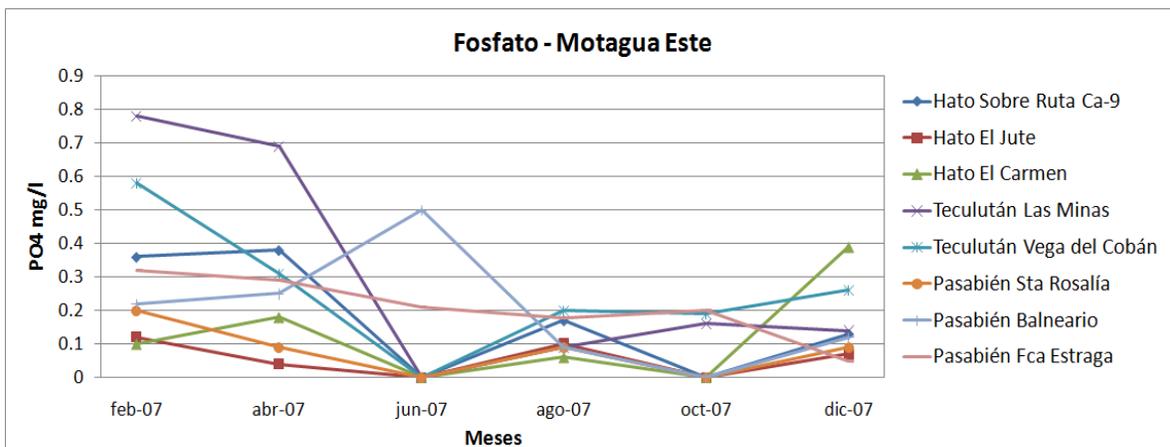
Figura 18. Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este).

Los resultados anteriores también nos indican que una de las mejores épocas para muestreo, ya que resaltan las características físicas del agua es en la época de estiaje. De acuerdo a las normas de COGUANOR el agua debe tener una conductividad eléctrica entre 100 y 750  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

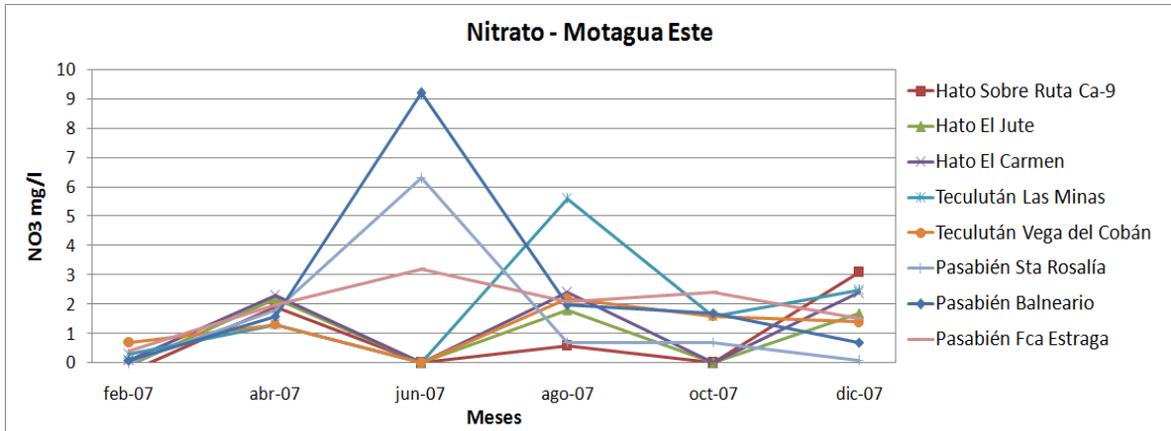


**Figura 19. Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (Oeste). Fuente: Fondo del Agua**

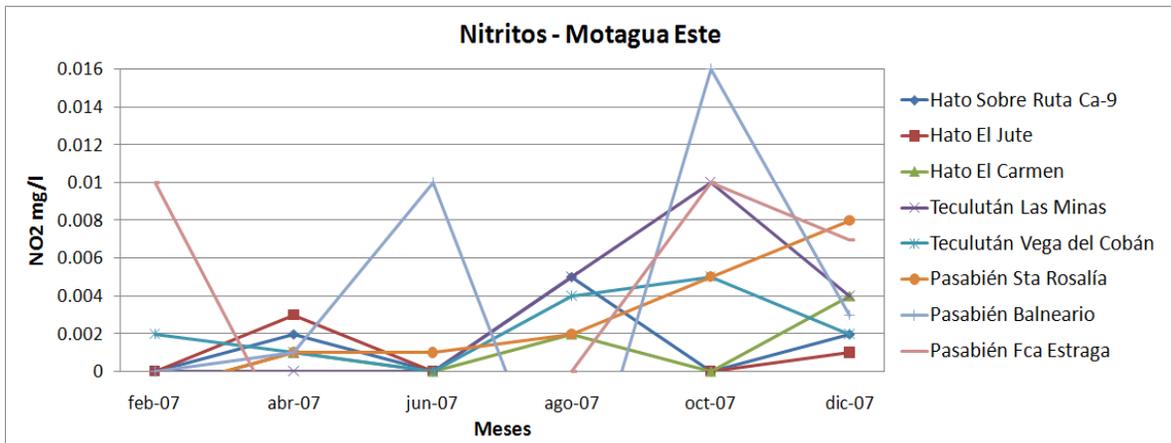
En las figuras anteriores resalta, al igual que en los comentarios anteriores, que la conductividad eléctrica como en los meses de estiaje se eleva la conductividad eléctrica, hay que recordar que al no haber escorrentía superficial por efectos de precipitación, el agua subterránea es la que se presenta en mayor porcentaje y cuando llueve el efecto de dilución disminuye el contenido de elementos en el agua y por ende la conductividad eléctrica.



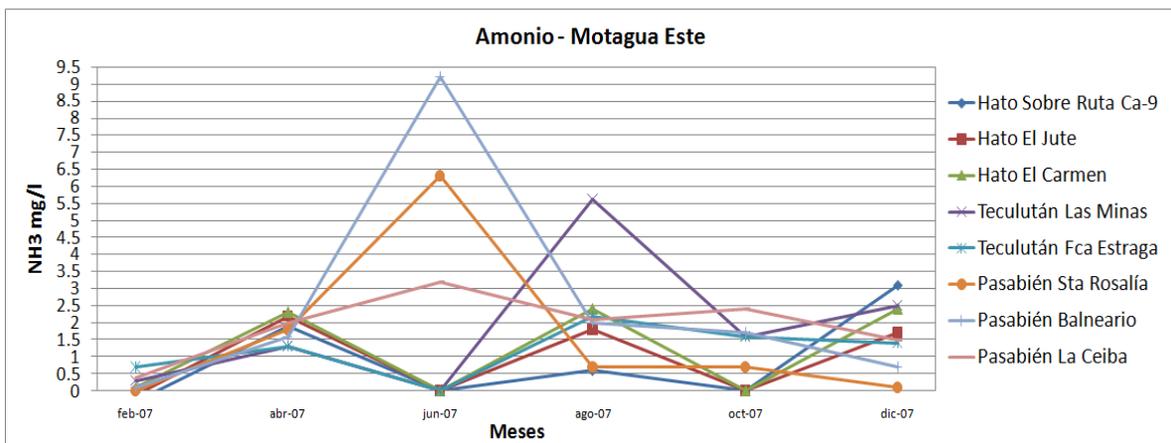
**Figura 20. Comportamiento de las mediciones de Fosfatos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua**



**Figura 21. Comportamiento de nitratos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua**

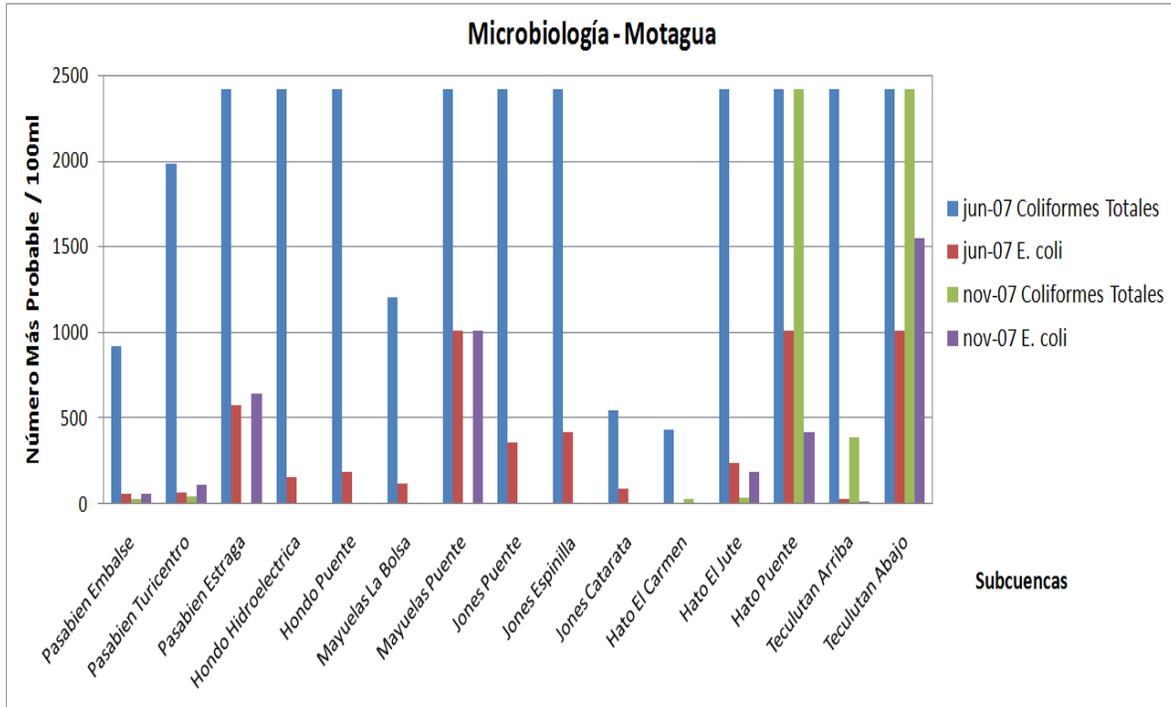


**Figura 22. Comportamiento de nitritos en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (Este). Fuente: Fondo del Agua**



**Figura 23. Comportamiento de amonio en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua**

Los datos de nitrógeno se comportan con sus valores más altos, en la estación lluviosa, especialmente, al inicio de la estación lluviosa. Un factor importante que puede estar influyendo es la fertilización química e incluso la acumulación de excretas de ganado que existen en partes alta media y baja de la cuenca, las cuales son arrastradas con las primeras lluvias.



**Figura 24. Comportamiento de amonio en cuencas de la RBSM que drenan al Motagua (este). Fuente: Fondo del Agua**

La microbiología muestra valores que exceden considerablemente los límites permisibles y admisibles de las normas de COGUANOR, en cuanto a los contenidos de Escherichia coli, ya que indica la contaminación con heces de animales de sangre caliente, donde las poblaciones vecinas tienen una gran responsabilidad. Las coliformes totales pueden provenir del suelo erosionado o de la materia orgánica que es transportada. De acuerdo a estos resultados solamente el El Carmen, El Hato es agua apta para consumo humano.

Los contenidos de oxígeno disuelto son buenos, por encima de los 80 mg/L es decir que no hay condiciones anoxicas que indique degradaciones severas, las pendientes y la cantidad de cantos rodados que hay en el lecho del río, combinado con las cataratas o saltos de agua de diferente magnitud contribuyen a la turbulencia y oxigenación del agua. La temperatura es normal de 17 a 26, clasificándose como mesotérmica.

Ph es alto en algunos puntos excede los 8, esto puede deberse a la meteorización de la roca que da como resultado liberación de calcio y magnesio, proveniente de calizas y mármol (aunque este último en menor grado por su arreglo estructural que lo hace menos meteorizable). Estos datos aunque un poco altos son aptos para consumo humano aunque pueden provocar en el largo plazo problemas renales y urinarios.

Los Fosfatos se presentan con los valores más altos en verano, por lo cual no puede atribuirse su fuente a la aplicación de fertilizantes, ya que no existe escorrentía sobre los

terrenos que causen ese transporte. La fuente más probable es la actividad antrópica ligada a los jabones y detergentes presentes en las aguas servidas domiciliarias. Es preciso ser cauteloso con los valores negativos que se reportan en los muestreos ya que estos en realidad son problemas de calibración de los equipos, ya que no deben existir valores negativos, pues su límite inferior es cero, o sea la ausencia total de esa característica. Esto es un indicador que la descalibración que eventualmente han sufrido los equipos de muestreo. Se recomienda la calibración constante del equipo utilizando soluciones patrón o calibradoras que permitan mantener el equipo dentro de los rangos adecuados de margen de error. Se deben de mantener evaluaciones constantes de la precisión del equipo de campo, contrastando estos resultados con los emanados en laboratorios con equipos adecuados (espectrofotómetros de absorción atómica) de alta precisión para evitar que los esfuerzos realizados en el trabajo de campo sean en vano.

Es importante mencionar que los esfuerzos realizados hasta ahora para la toma de datos de calidad de agua son respetables y muy importantes para establecer una referencia y/o línea base. Sin embargo es destacable que la exactitud de los equipos utilizados no es la mejor, ya que se utilizan equipos portátiles ofrecen fallas y consecuentemente arrojan datos que no 100% confiables. No hay evidencia de tendencias espaciales del comportamiento de las variables, incluso utilizando de referencia uno de los años con resultados con mayor coherencia. Es importante mencionar que los datos interanuales presentan una aparentemente menor coherencia.

Sin embargo los datos obtenidos hasta la fecha si evidencian claramente dos aspectos básicos. Primero, el agua de la RBSM es de altísima calidad para el consumo humano, agrícola e industrial, de acuerdo a los estándares de COGUANOR. Segundo, la actividad antrópica contamina, las fuentes superficiales de agua, incluso desde la parte alta y media de las diferentes cuencas monitoreadas. Esto se hace evidente, principalmente con los muestreos microbiológicos y su evaluación en base a COGUANOR. Cabe destacar que la presencia de oxígeno muestra que las aguas presentan alto potencial de ser tratadas. Es decir que con plantas de tratamiento es altamente factible y relativamente económico tratar las aguas tanto para consumo humano como para su descarga final (después de poblados).

### 7.3 Descripción sintética de aspectos relevantes de los recursos hídricos y recursos naturales asociados.

#### 7.3.1 Cuenca San Jerónimo

A continuación (Figuras 25, 26, 27, 28, 29 y 30) se presentan hallazgos relevantes de los recursos hídricos de la subcuenca San Jerónimo, de manera visual, posteriormente se discutirán de manera integrada con las demás subcuencas. Cabe mencionar que el punto de aforo de esta subcuenca se encuentra en hidroeléctrica San Isidro.

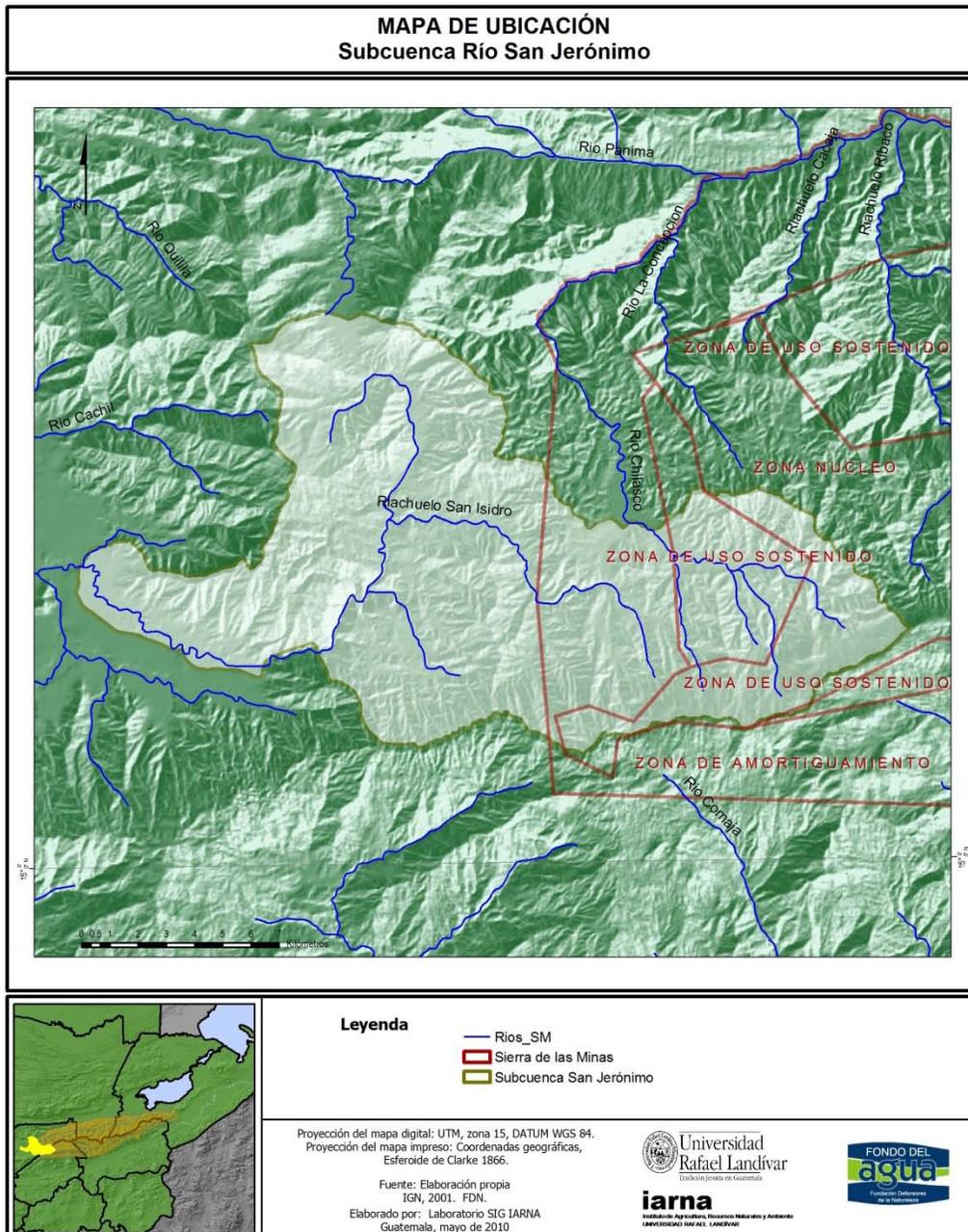


Figura 25. Ubicación de la Subcuenca San Jerónimo

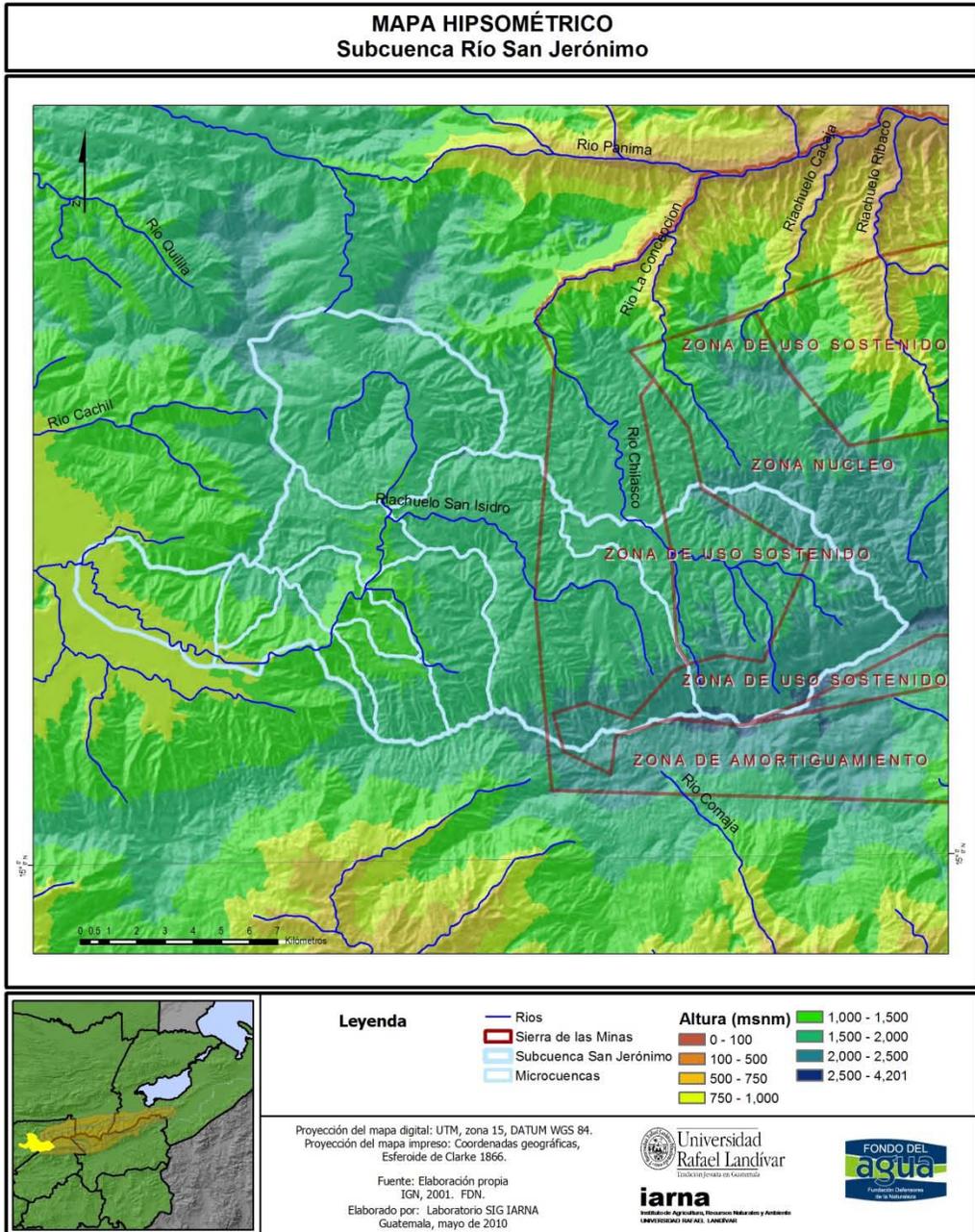
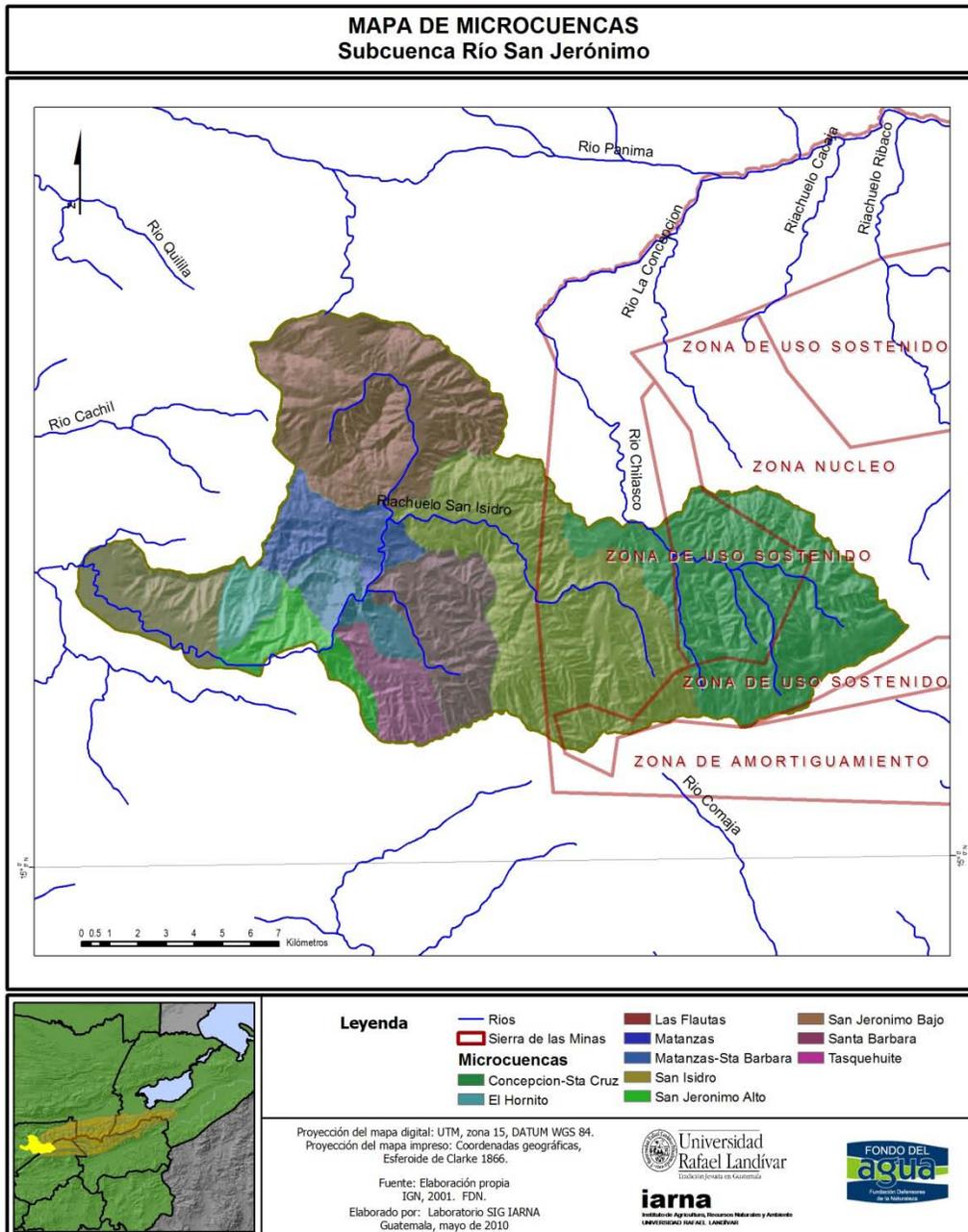
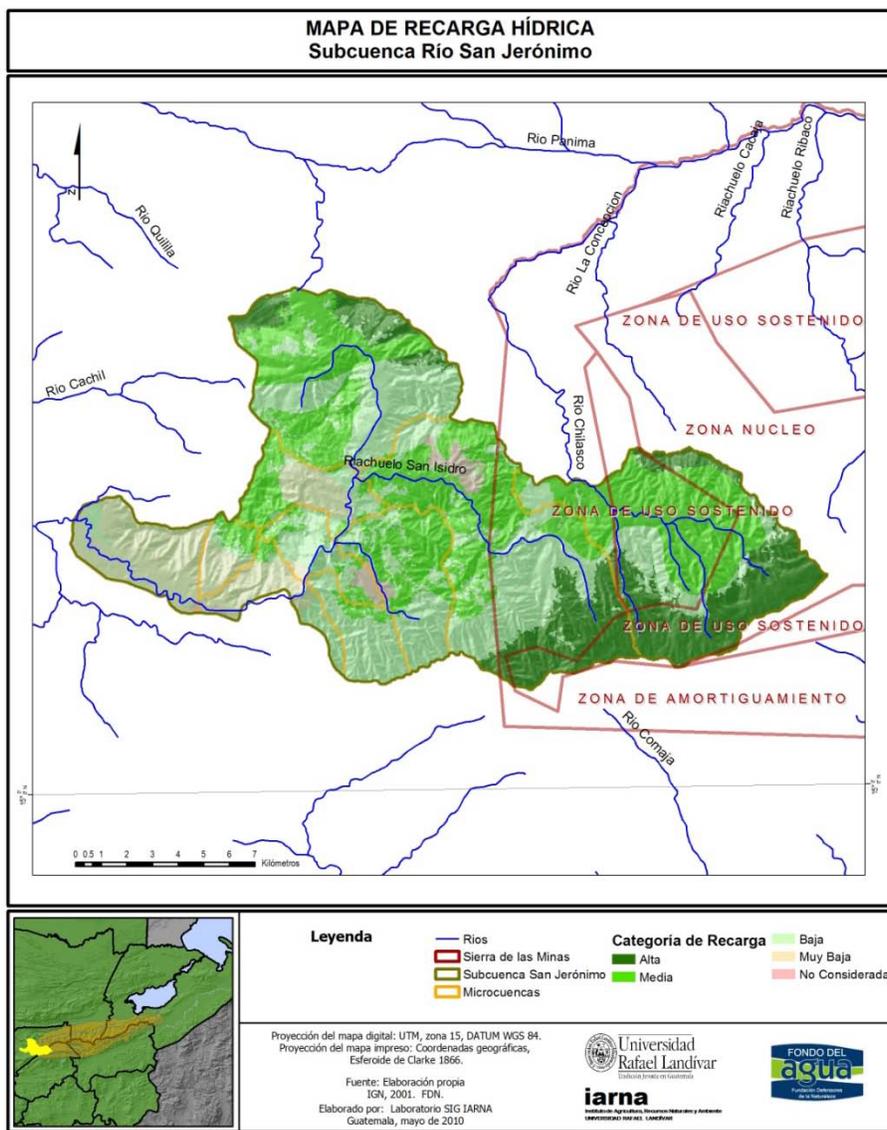


Figura 26. Hipsometría de la subcuenca San Jerónimo

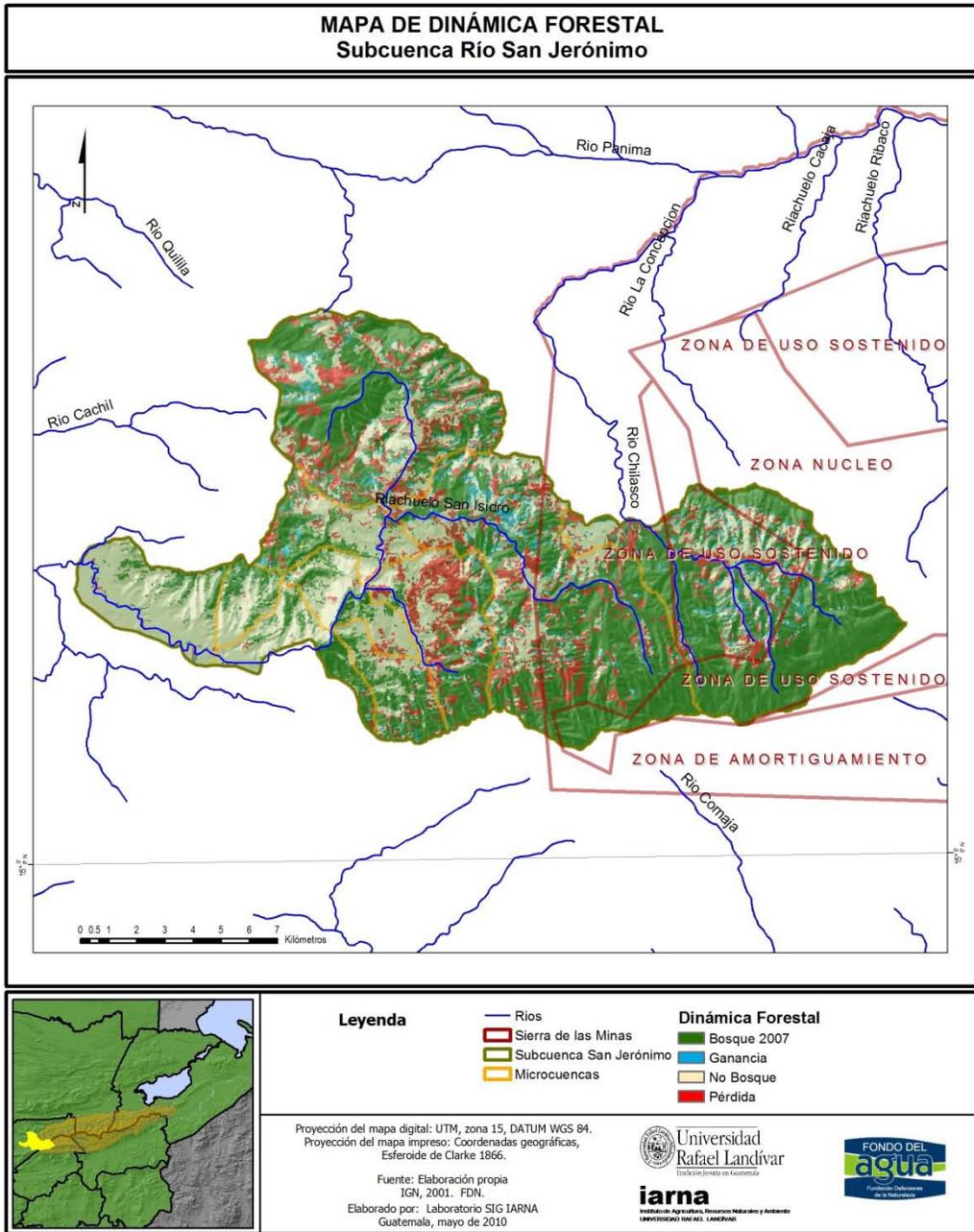


**Figura 27. Microcuencas de la Subcuenca San Jerónimo**



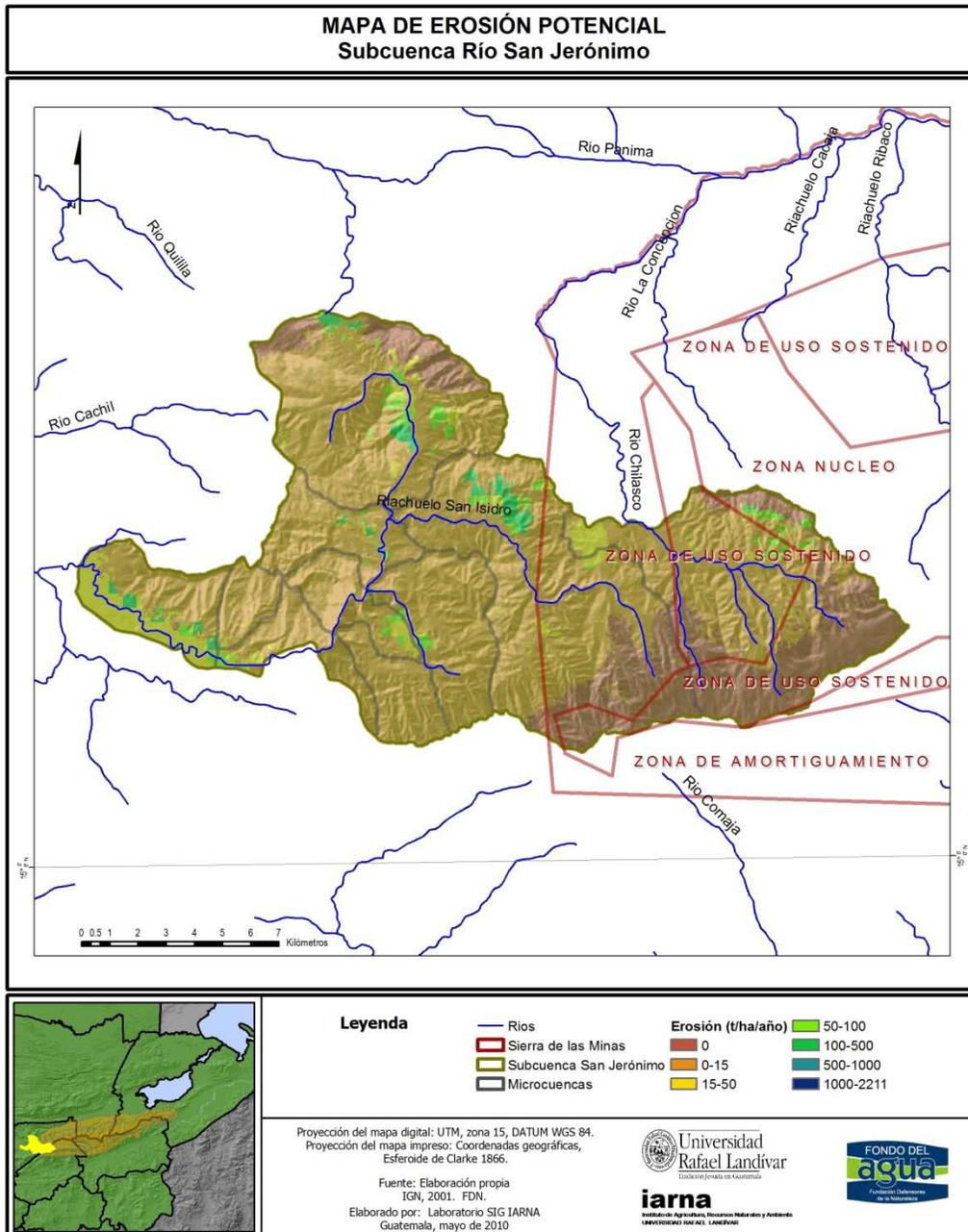
Microcuencas de Subcuenca San Jerónimo	Área	Precipitación (PP)	Retención (RET)	Escorrentia espontánea (ESC)	Evapotranspiración (ETR)	Recarga hídrica RH, (infiltración hídrica)	Dsponibilidad hídrica DH (PP-RET-ETR)	PP	ESC	ETR	RH	DH
Dimensión	ha	m <sup>3</sup>					mm					
Concepcion-Sta Cruz	5,374	23,097,484	3,888,446	1,701,184	7,948,320	9,556,204	11,257,388	1,590	146	541	640	787
El Hornito	488	25,994,981	4,343,065	2,485,421	10,779,243	8,691,986	11,177,407	1,224	188	532	346	534
Las Flautas	4,347	14,853,484	2,557,515	971,028	5,213,829	6,130,481	7,101,509	1,498	129	565	553	682
Malanzas	1,147	14,607,242	2,499,049	1,207,490	5,852,821	5,119,194	6,326,684	1,413	232	575	397	630
Malanzas-Sta Barbara	827	20,394,457	3,574,239	1,577,950	8,519,189	6,884,834	8,462,783	1,360	228	566	365	594
San Isidro	5,780	20,033,729	3,497,116	1,239,111	7,361,936	7,945,619	9,184,730	1,537	121	555	599	720
San Jeronimo Alto	817	18,714,564	3,257,337	1,406,351	7,877,984	6,327,162	7,733,513	1,303	172	559	383	555
San Jeronimo Bajo	1,438	18,613,320	3,108,539	1,769,460	7,732,470	6,218,978	7,988,437	1,276	172	550	380	552
Santa Barbara	1,737	22,954,405	4,061,062	1,355,130	9,408,490	8,187,201	9,542,331	1,419	155	583	455	610
Tasquehuite	851	21,530,548	3,732,437	1,628,439	8,988,837	7,331,672	8,960,111	1,360	169	572	414	583
<b>Total general</b>	<b>22,805</b>	<b>19,797,825</b>	<b>3,404,994</b>	<b>1,433,570</b>	<b>7,542,357</b>	<b>7,487,258</b>	<b>8,920,829</b>	<b>1,456</b>	<b>157</b>	<b>558</b>	<b>510</b>	<b>667</b>

**Figura 28. Recarga hídrica de la subcuenca San Jerónimo**



Microcuenca	Bosque 2001	Bosque 2007	Pérdida	Ganancia	Pérdida Neta	Tasa anual de deforestación
	ha					
Concepcion-Sta Cruz	4,158	3,911	578	285	293	1.17
El Hornito	175	181	3	10	(7)	0.00
Las Flautas	3,078	2,434	905	238	667	3.61
Matanzas	568	461	155	45	109	3.21
Matanzas-Sta Barbara	270	227	48	3	45	2.80
San Isidro	4,335	3,651	1,015	323	692	2.66
San Jeronimo Alto	364	335	34	5	28	1.29
San Jeronimo Bajo	189	186	15	7	8	0.73
Santa Barbara	1,111	624	545	56	489	7.33
Tasquehuite	557	491	94	27	66	1.98
<b>Total general</b>	<b>14,804</b>	<b>12,501</b>	<b>3,391</b>	<b>1,000</b>	<b>2,392</b>	<b>2.69</b>

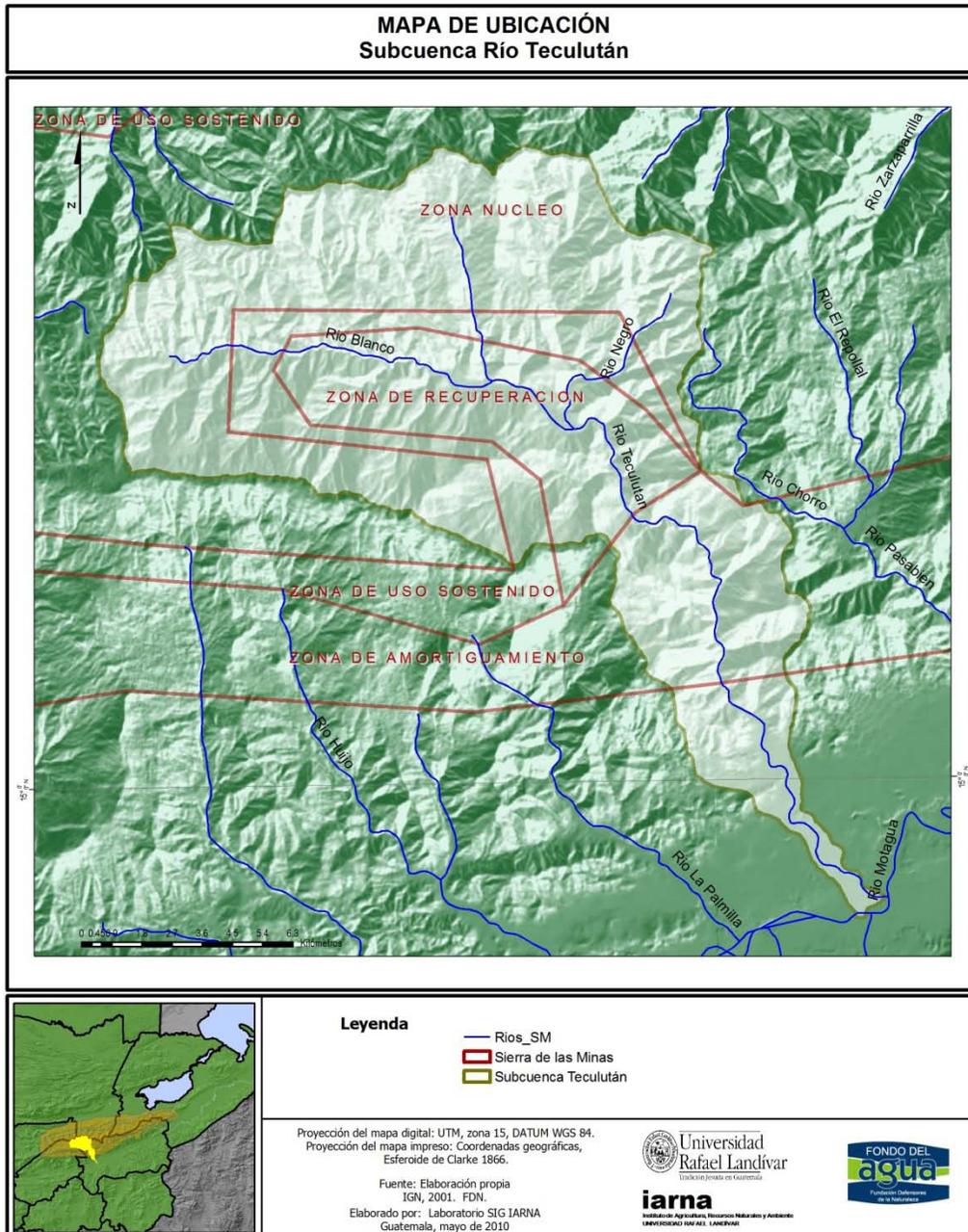
**Figura 29. Dinámica forestal 2001-2007 subcuenca San Jerónimo**



**Figura 30. Erosión potencial de la subcuenca San Jerónimo**

### 7.3.2 Cuenca Teculután

A continuación (Figuras 31, 32, 33, 34, 35 y 36) se presentan, de manera visual, los hallazgos relevantes de los recursos hídricos de la subcuenca Teculután, posteriormente se discutirán de manera integrada con las demás subcuencas. Cabe mencionar que el punto de aforo de esta subcuenca se encuentra en la estación hidrométrica Las Minas, a 3 Km al norte de la cabecera municipal de Teculután.



**Figura 31. Ubicación subcuenca Teculután**

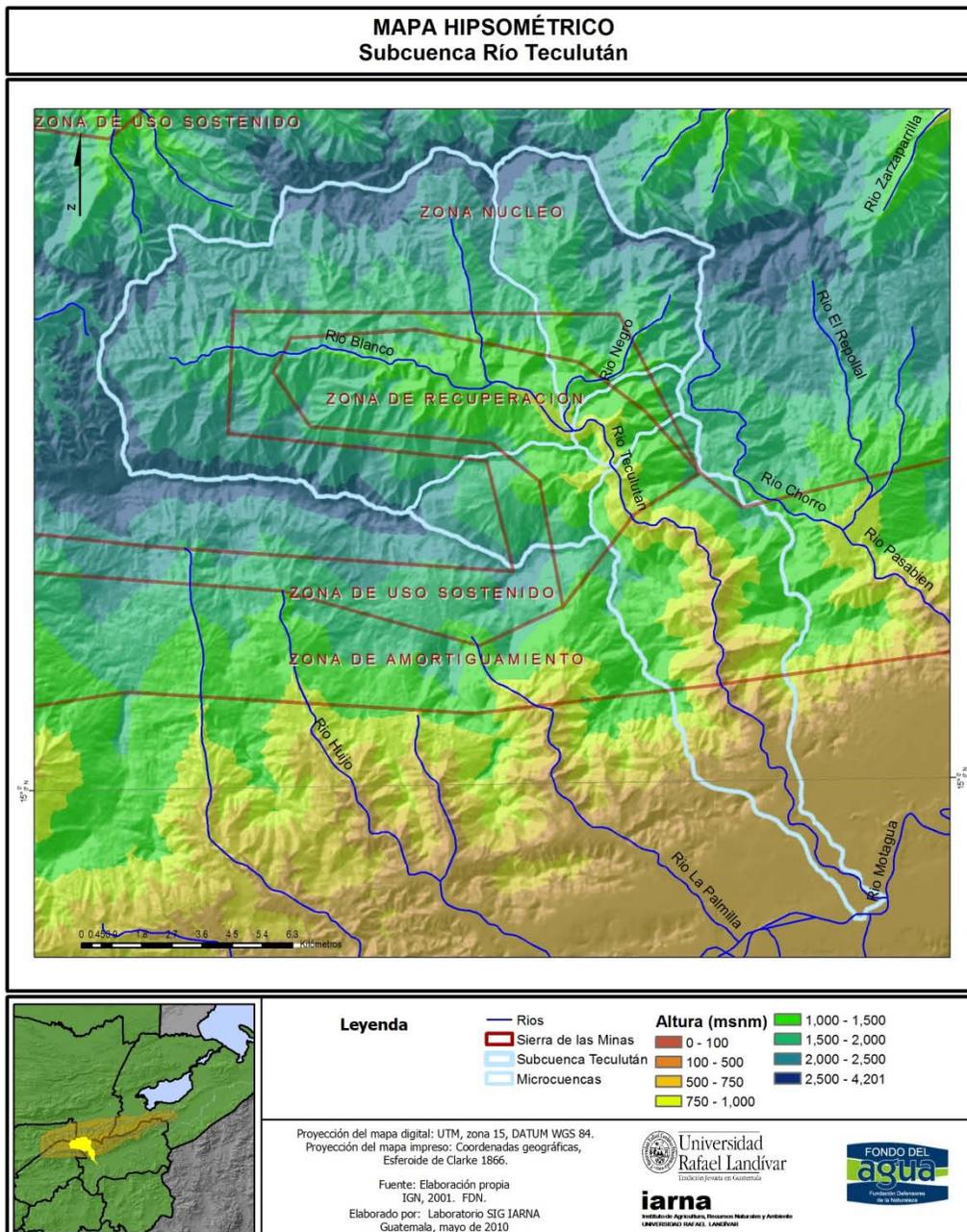


Figura 32. Hipsometría de la subcuenca Teculután

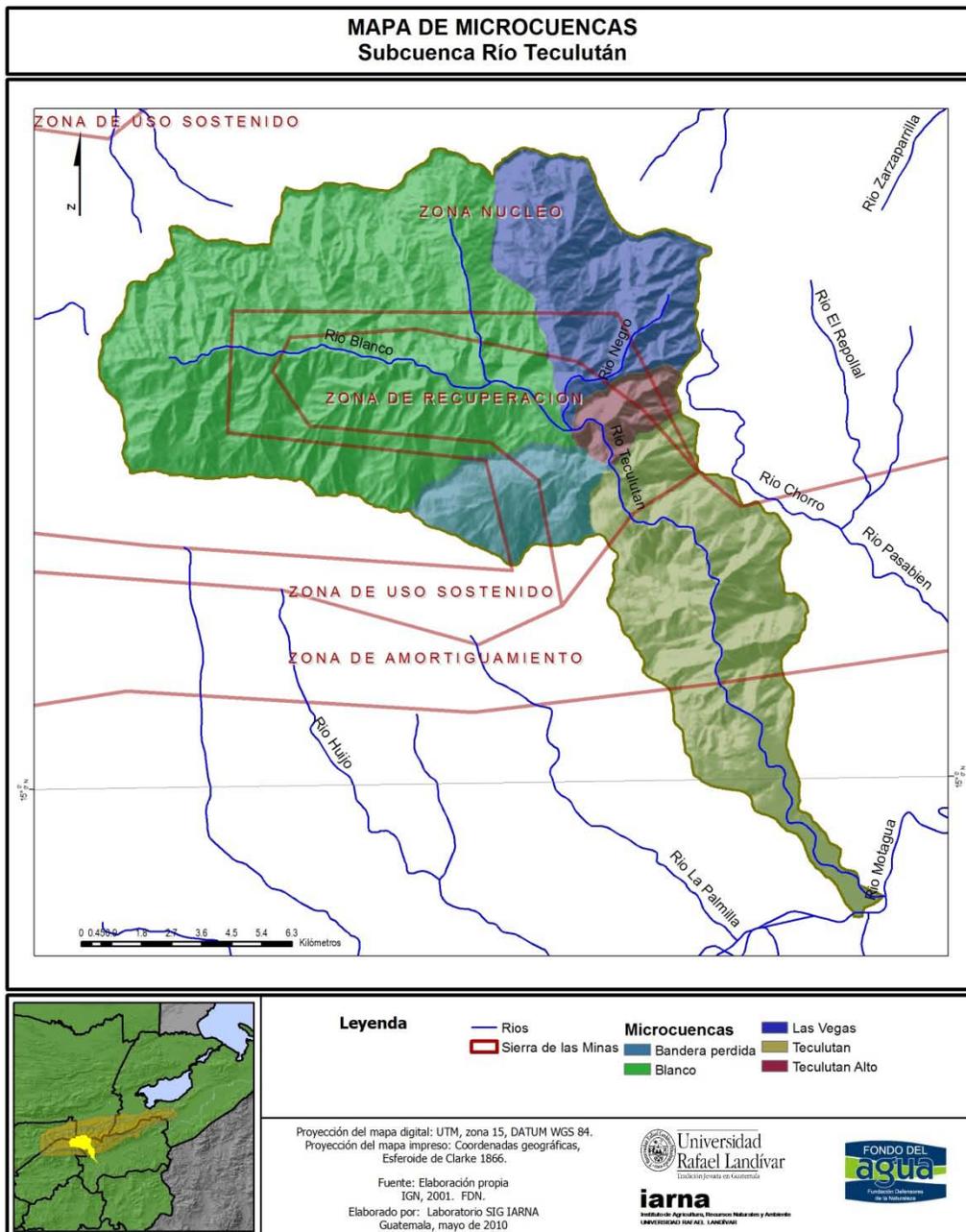
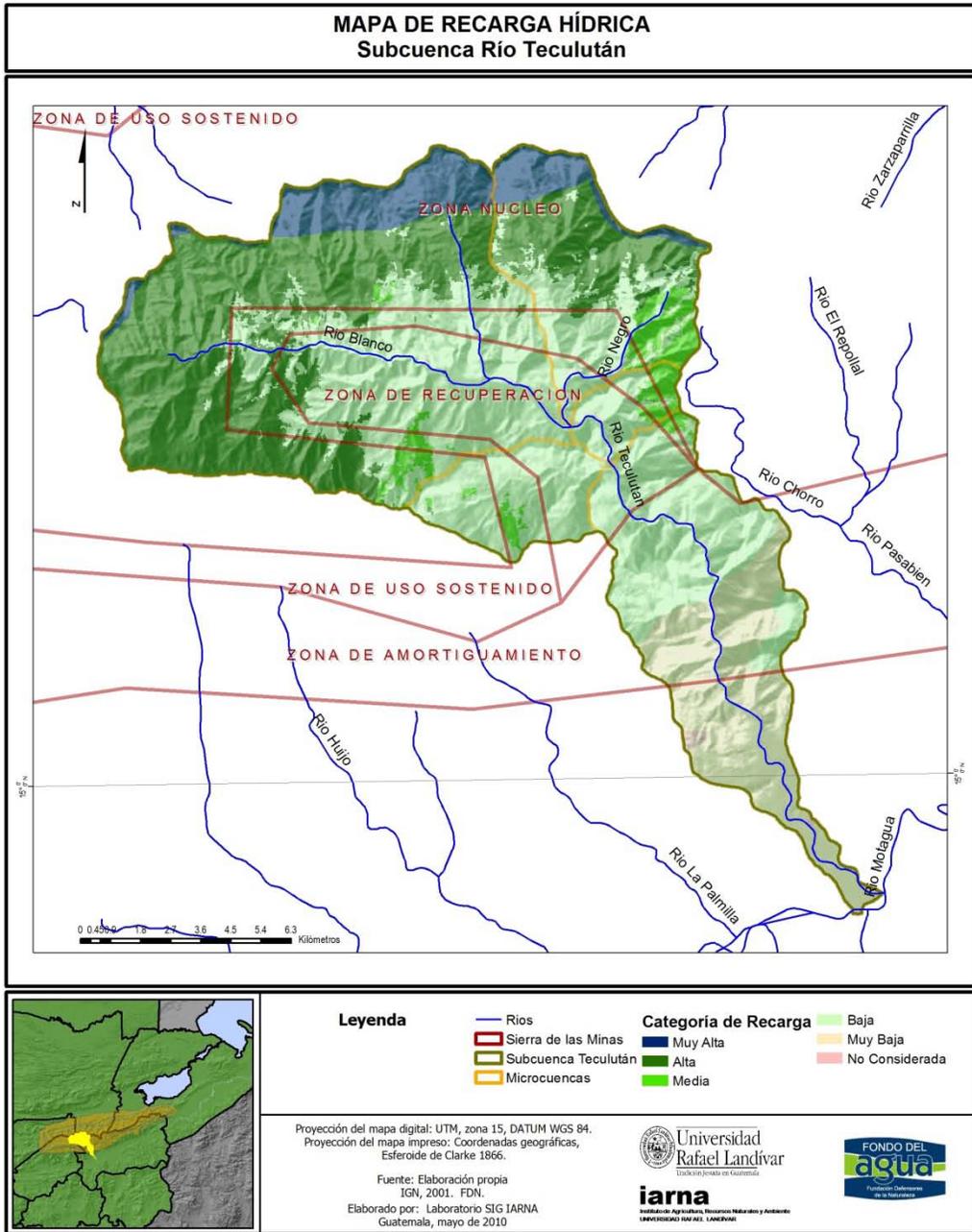
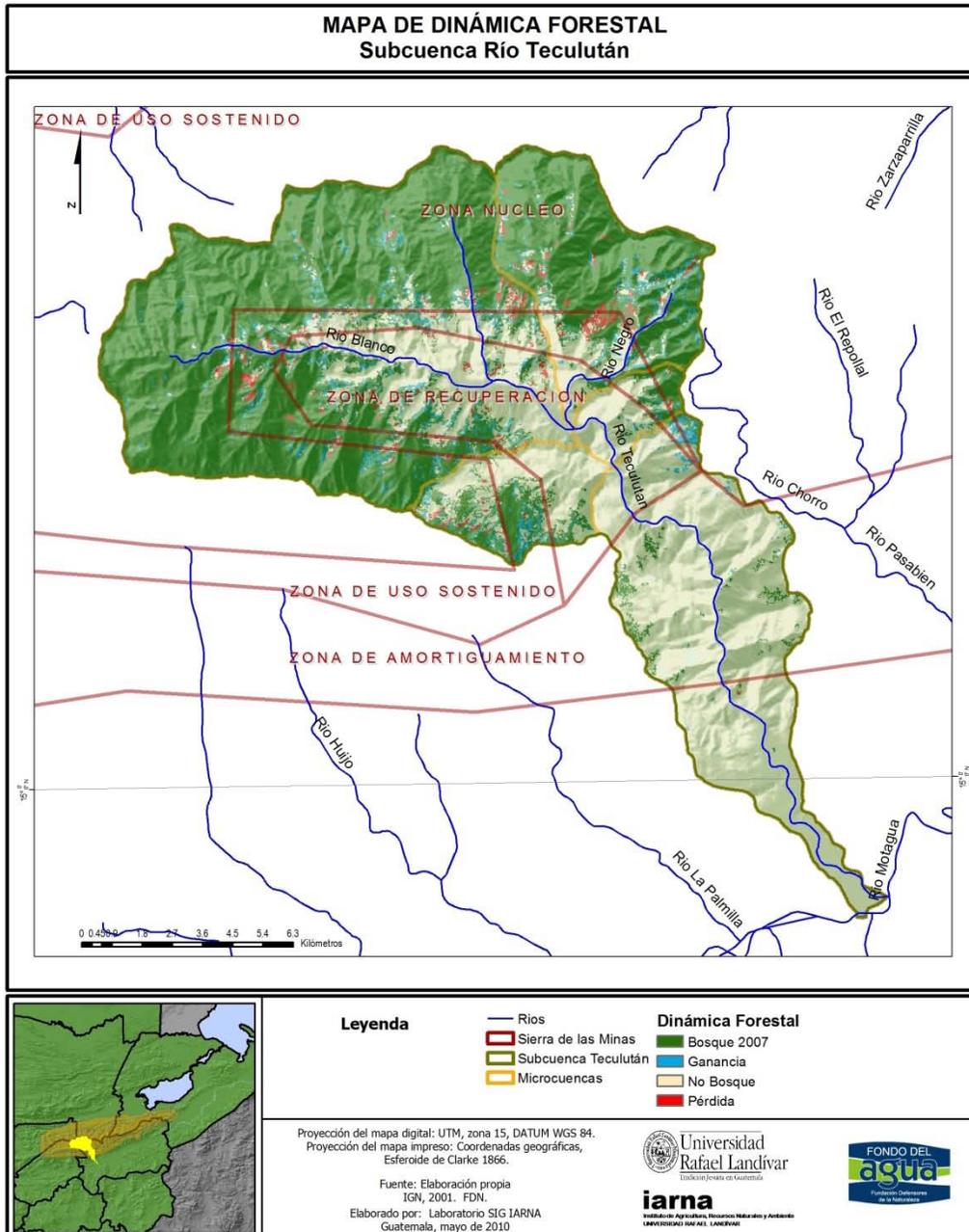


Figura 33. Microcuencas de la subcuenca Teculután



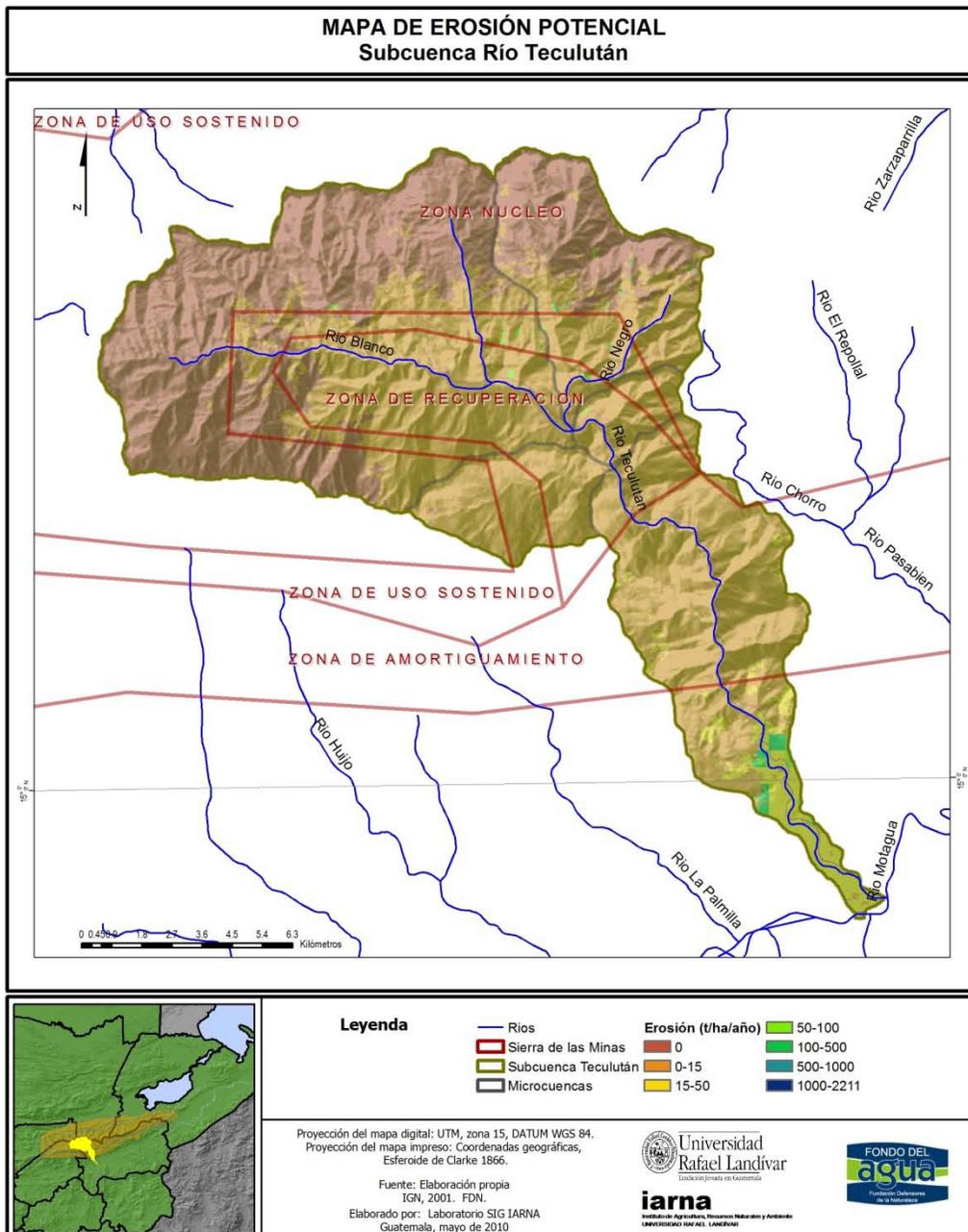
Microcuencas de Subcuenca San Jerónimo	Área	Precipitación (PP)	Retención (RET)	Escorrentía espontánea (ESC)	Evapotranspiración (ETR)	Recarga hídrica RH, (infiltración hídrica)	Disponibilidad hídrica DH (PP-RET-ETR)	PP	ESC	ETR	RH	DH
Dimensión	ha	m <sup>3</sup>					mm					
Bandera perdida	1,398	39,899,720	6,693,479	7,830,631	10,846,258	15,246,834	23,077,465	1,982	388	424	728	1,225
Blanco	10,125	81,420,284	12,554,311	18,303,701	23,061,163	29,116,607	47,420,307	1,677	291	431	680	985
Las Vegas	3,080	19,602,121	3,060,853	2,929,120	6,630,503	7,364,136	10,293,256	1,273	215	470	526	606
Teculután	4,904	7,174,203	1,011,318	2,131,618	2,711,215	1,577,178	3,708,797	774	119	315	115	367
Teculután Alto	601	24,937,927	3,472,335	6,904,170	7,648,660	7,523,857	14,428,027	1,159	207	368	414	604
<b>Total general</b>	<b>20,109</b>	<b>40,511,104</b>	<b>6,236,183</b>	<b>8,853,442</b>	<b>11,962,719</b>	<b>14,294,231</b>	<b>23,147,674</b>	<b>1,308</b>	<b>223</b>	<b>407</b>	<b>473</b>	<b>704</b>

Figura 34. Recarga hídrica de la subcuenca Teculután



Microcuenca	Bosque 2001	Bosque 2007	Pérdida	Ganancia	Pérdida Neta	Tasa anual de deforestación
	ha					
Bandera perdida	461	540	40	119	(78)	-
Blanco	7,548	7,857	212	490	(278)	-
Las Vegas	2,379	2,465	114	195	(82)	-
Teculután	143	245	1.8	71	(69)	-
Teculután Alto	144	166	4.4	25	(21)	-
<b>Total general</b>	<b>10,675</b>	<b>11,273</b>	<b>372</b>	<b>900</b>	<b>(528)</b>	<b>-</b>

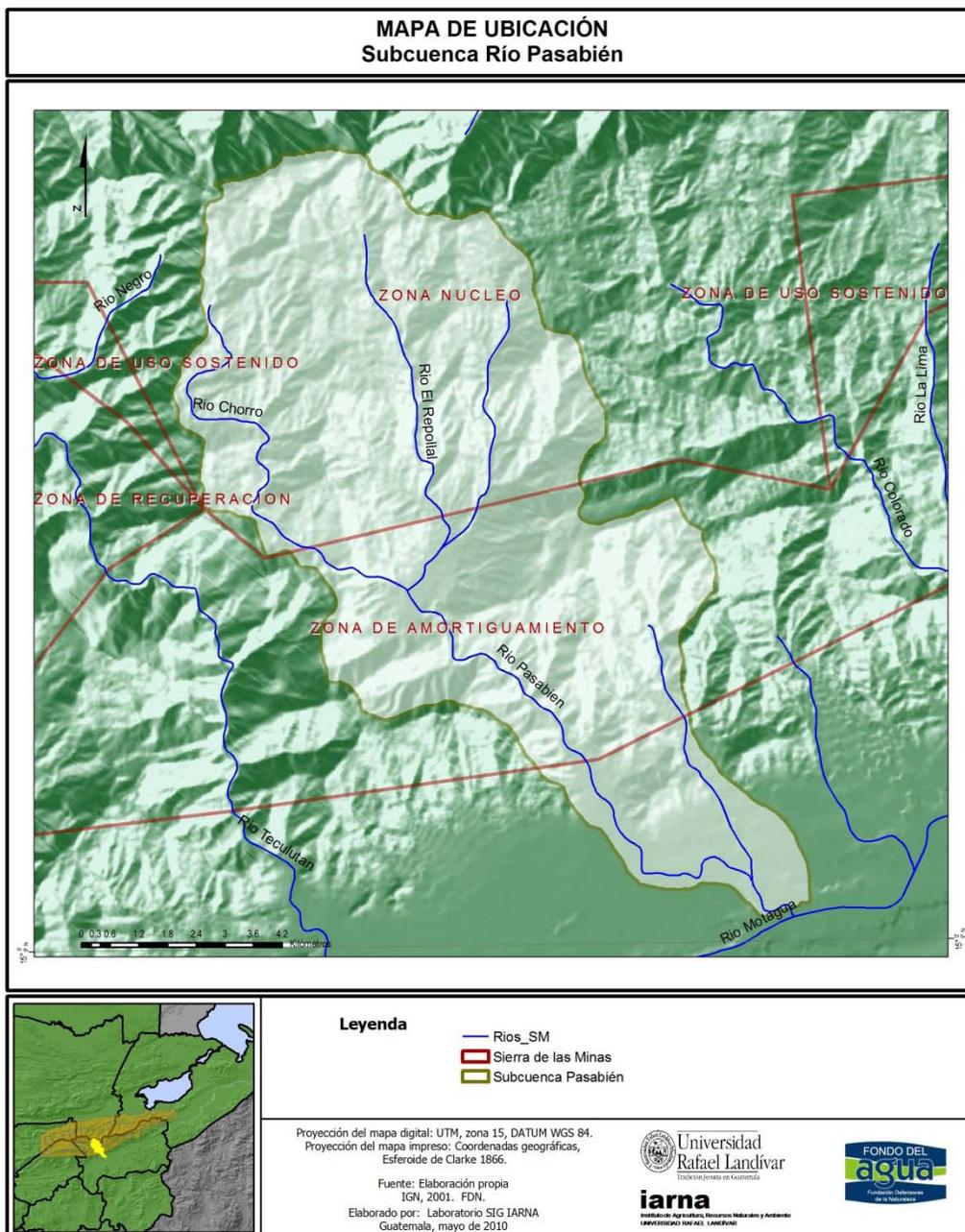
Figura 35. Dinámica forestal 2001-2007 para la subcuenca Teculután



**Figura 36. Erosión subcuenca Teculután.**

### 7.3.3 Cuenca Pasabien

A continuación (Figuras 37, 38, 39, 40, 41 y 42) se presentan, de manera visual, los hallazgos relevantes de los recursos hídricos de la subcuenca Pasabien, posteriormente se discutirán de manera integrada con las demás subcuencas. Cabe mencionar que el punto de aforo de esta subcuenca se encuentra en el balneario Pasabien.



**Figura 37. Ubicación de la subcuenca Pasabien**

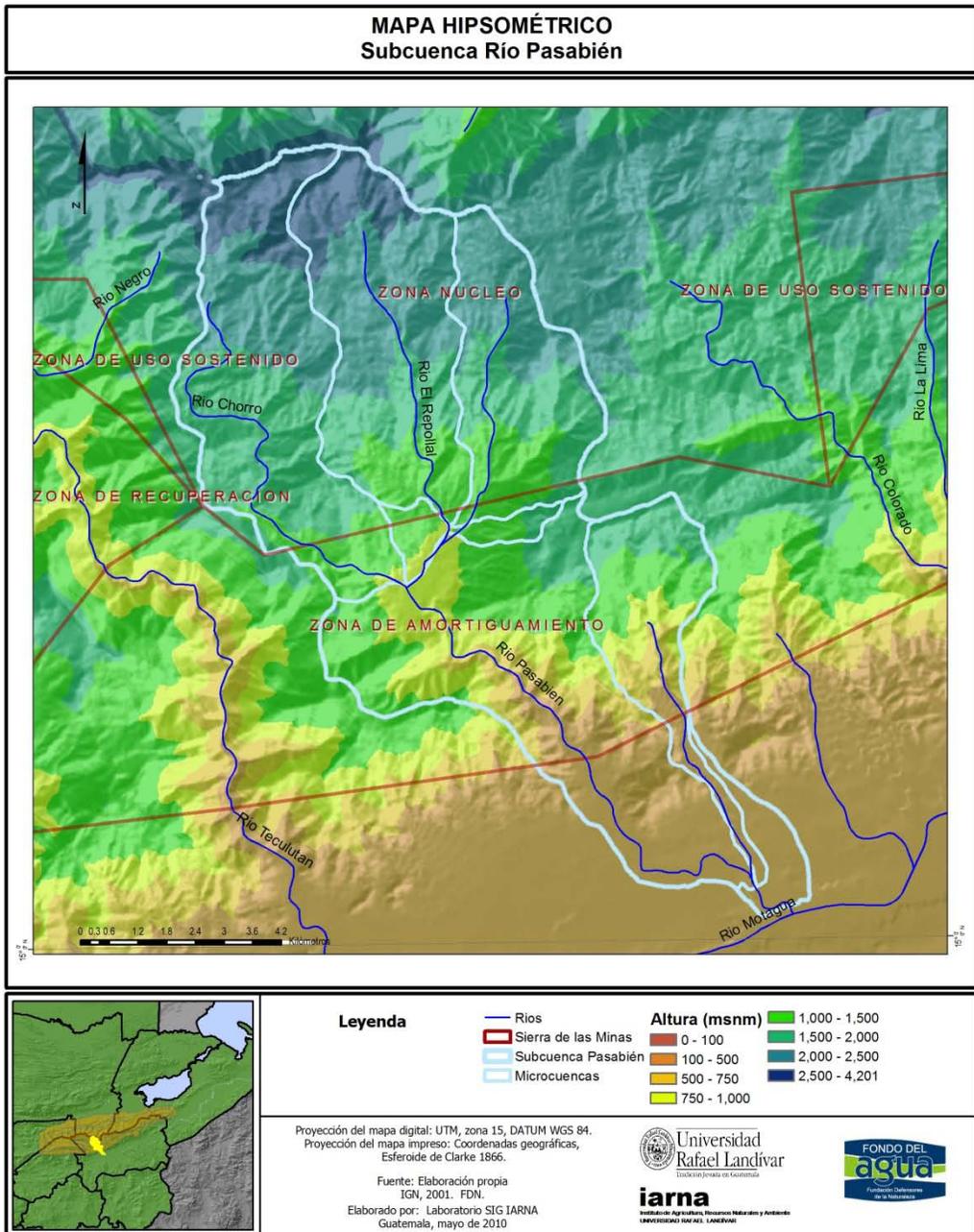
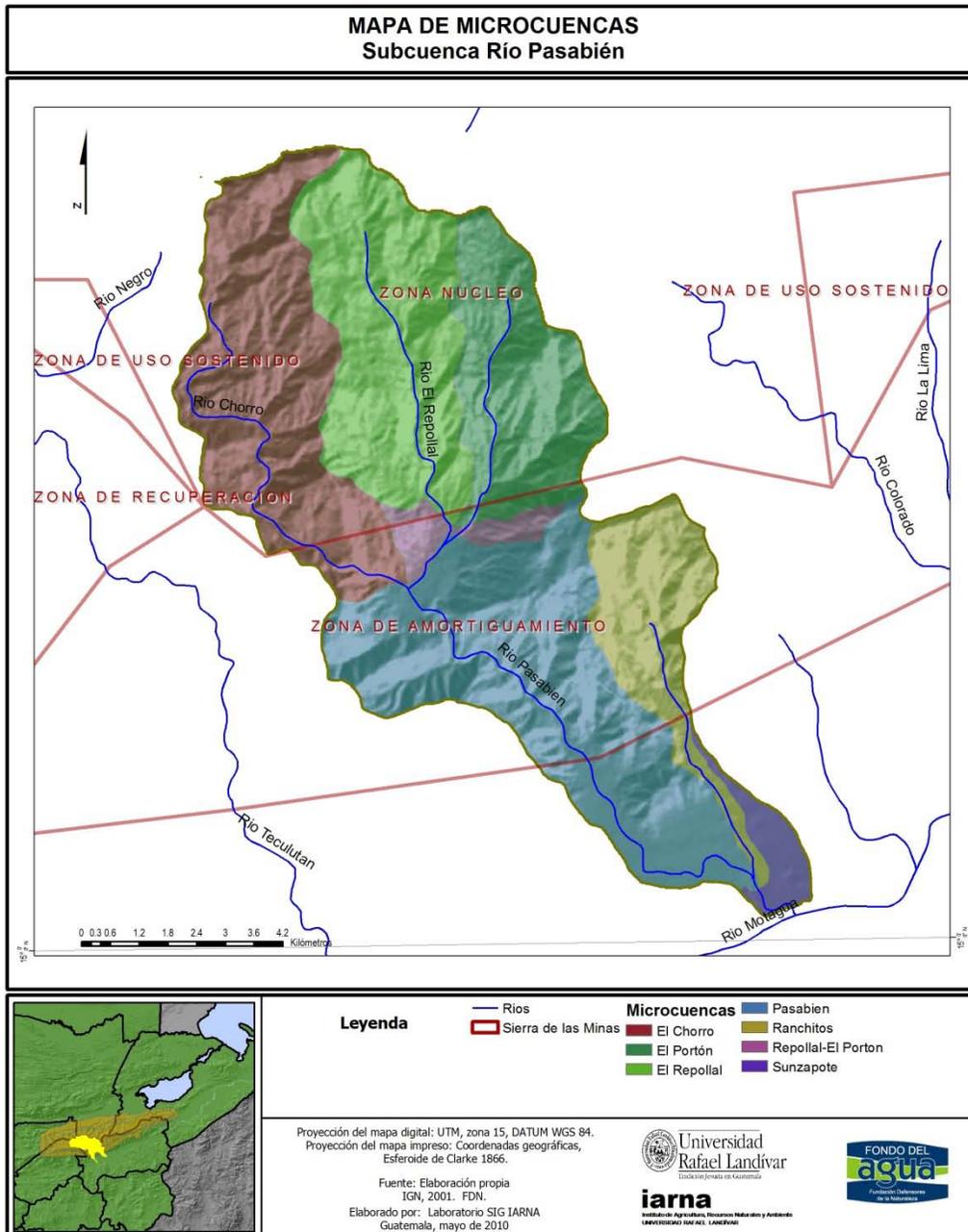
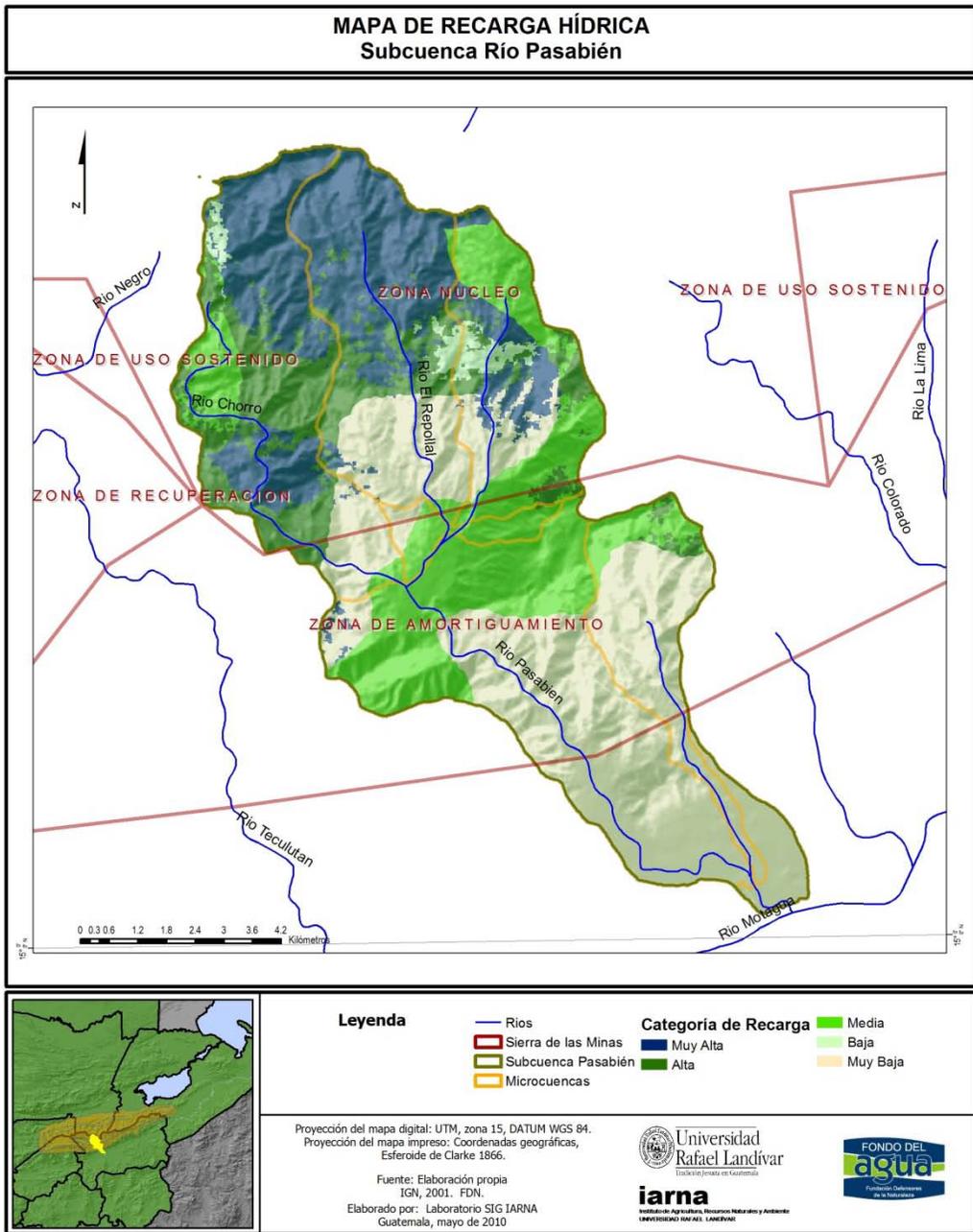


Figura 38. Hipsometría de la subcuenca Pasabien

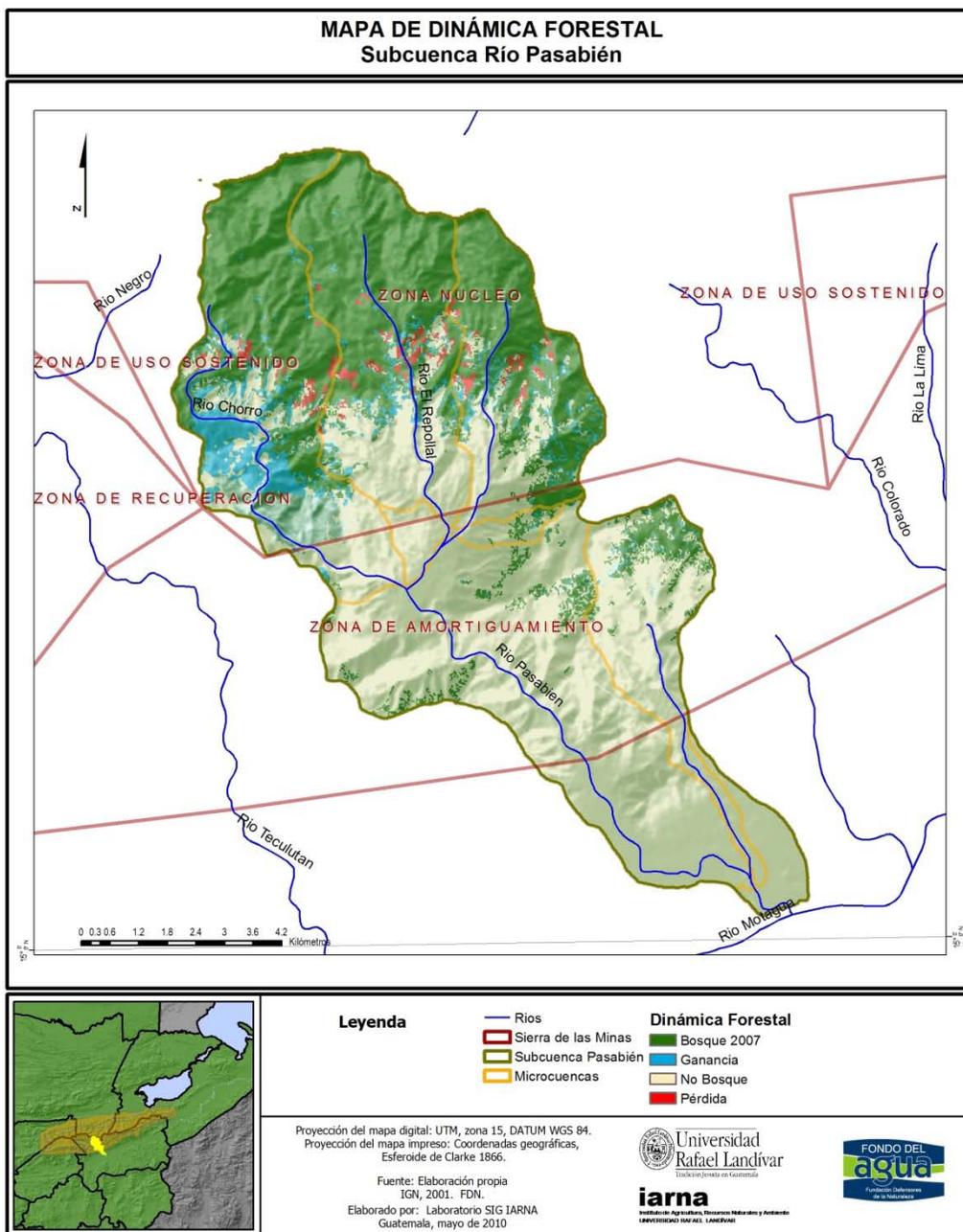


**Figura 39. Microcuencas de la subcuenca Pasabien**



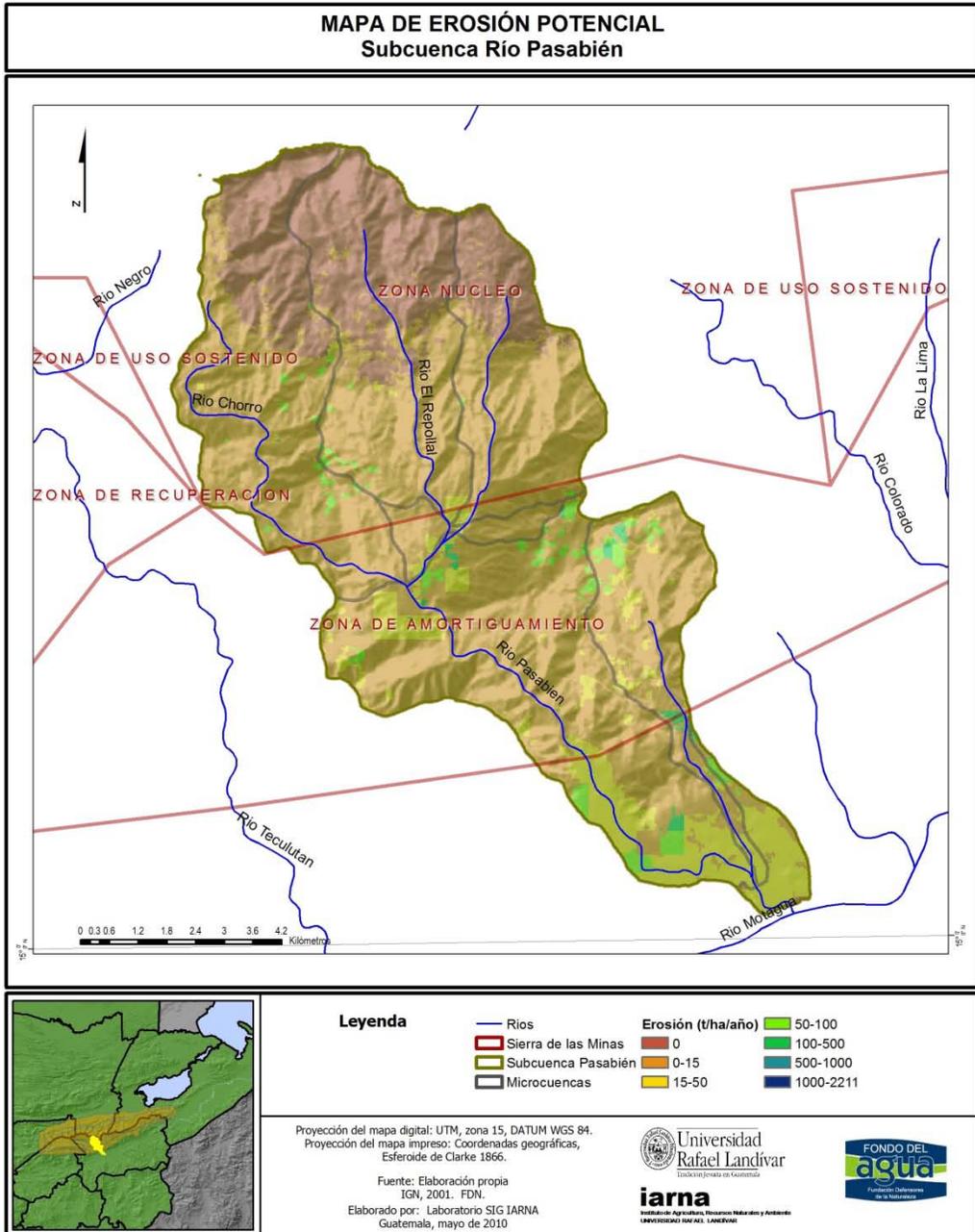
Microcuencas de Subcuenca San Jerónimo	Área	Precipitación (PP)	Retención (RET)	Escorrentía espontánea (ESC)	Evapotranspiración (ETR)	Recarga hídrica RH, (Infiltración hídrica)	Dsponibilidad hídrica DH (PP-RET-ETR)	PP	ESC	ETR	RH	DH
Dimensión	ha	m <sup>3</sup>					mm					
El Chorro	2,296	43,169,744	7,533,379	2,975,043	10,678,821	22,418,585	25,393,628	5,346	287	1,040	3,001	3,288
El Portón	1,381	59,638,439	11,689,093	6,143,754	11,593,331	30,500,021	36,643,775	5,346	287	1,040	3,001	3,288
El Repollal	1,978	27,615,173	4,750,506	1,355,967	7,463,262	14,540,336	15,896,303	6,048	210	1,171	3,521	3,732
Pasabien	2,899	38,624,308	6,476,157	6,747,028	13,782,869	12,620,300	19,367,328	1,961	235	512	892	1,127
Ranchitos	992	11,597,047	1,911,170	2,208,725	4,415,343	3,438,829	5,647,554	1,268	268	421	386	654
Repollal-El Porton	244	4,274,922	697,610	770,161	1,338,466	1,568,351	2,338,512	2,940	305	627	1,482	1,787
Sunzapote	261	1,905,564	258,330	213,517	1,043,545	477,312	690,829	759	137	384	172	309
<b>Total general</b>	<b>10,050</b>	<b>36,388,511</b>	<b>6,555,727</b>	<b>3,776,926</b>	<b>9,408,285</b>	<b>17,131,818</b>	<b>20,908,744</b>	<b>4,070</b>	<b>251</b>	<b>850</b>	<b>2,215</b>	<b>2,466</b>

**Figura 40. Recarga hídrica de la subcuenca Pasabién**



Microcuenca	Bosque 2001	Bosque 2007	Pérdida	Ganancia	Pérdida Neta	Tasa anual de deforestación %
	ha					
El Chorro	1,164	1,674	45	340	(295)	-
El Portón	900	945	45	90	(44)	-
El Repollal	1,280	1,313	61	90	(29)	-
Pasabien	116	122	2	5	(4)	-
Ranchitos	150	169	3	14	(11)	-
Repollal-El Porton	16	19	0	2	(2)	-
Sunzapote	-	-	-	-	-	-
<b>Total general</b>	<b>3,625</b>	<b>4,243</b>	<b>156</b>	<b>541</b>	<b>(384)</b>	<b>-</b>

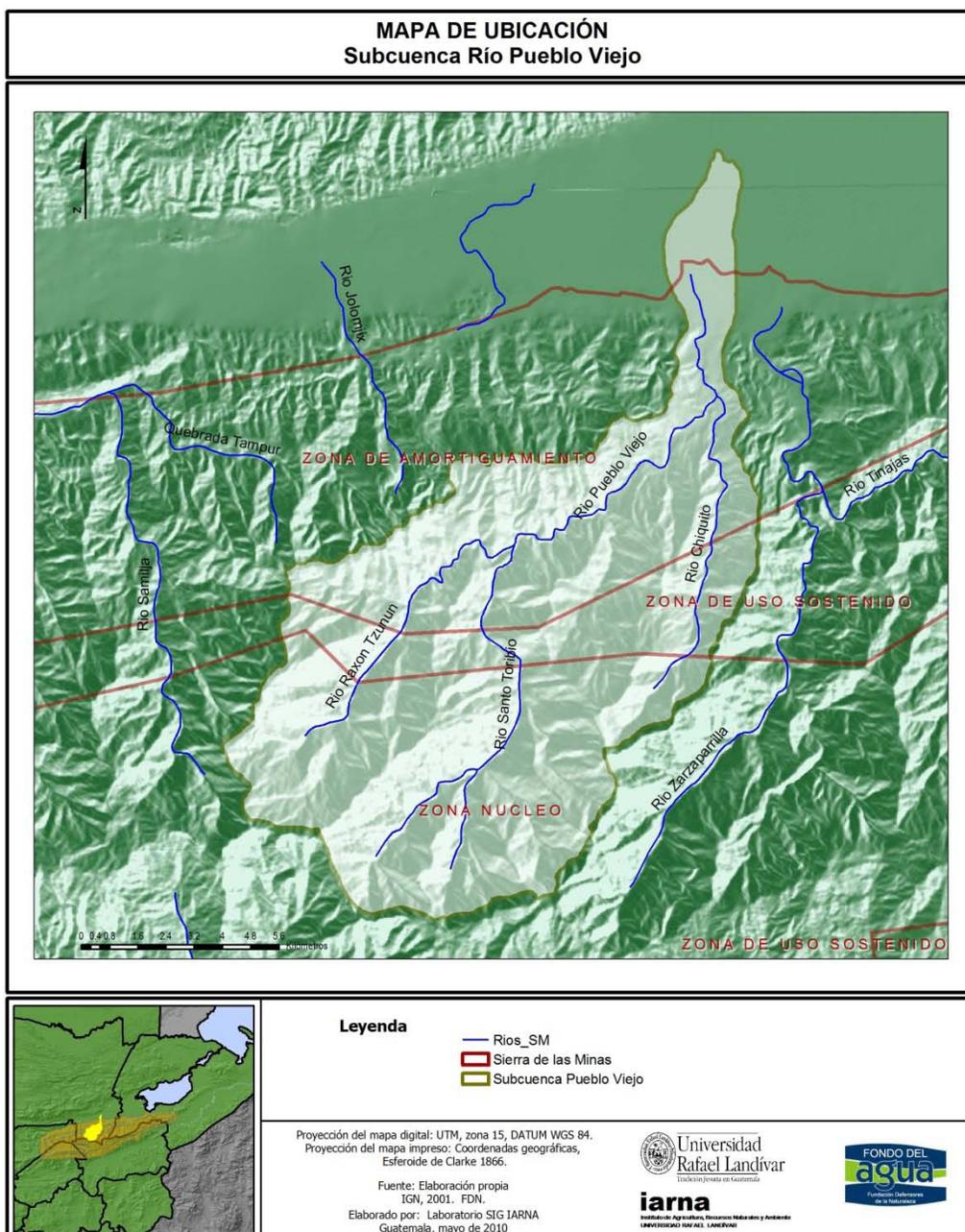
**Figura 41. Dinámica forestal de la subcuenca Pasabien**



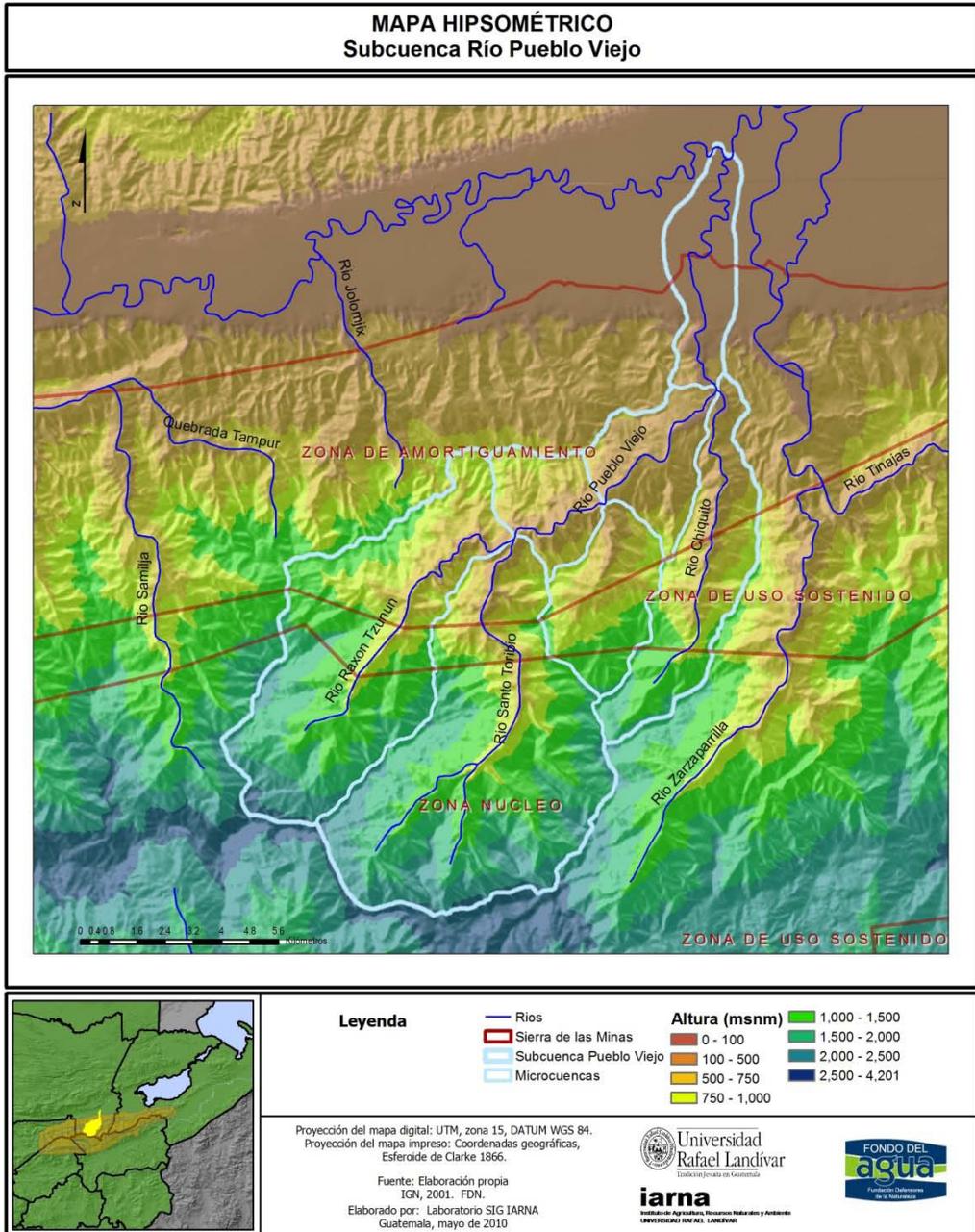
**Figura 42. Erosión en la subcuenca Pasabién**

### 7.3.4 Cuenca Pueblo Viejo

A continuación (Figuras 43, 44, 45, 46, 47 y 48) se presentan, de manera visual, los hallazgos relevantes de los recursos hídricos de la subcuenca Pueblo Viejo, posteriormente se discutirán de manera integrada con las demás subcuencas. Cabe mencionar que el punto de aforo de esta subcuenca se encuentra sobre la ruta al Estor, específicamente en el Pueblo Viejo.



**Figura 43. Ubicación subcuenca Pueblo Viejo**



**Figura 44. Hipsometría subcuenca Pueblo Viejo**

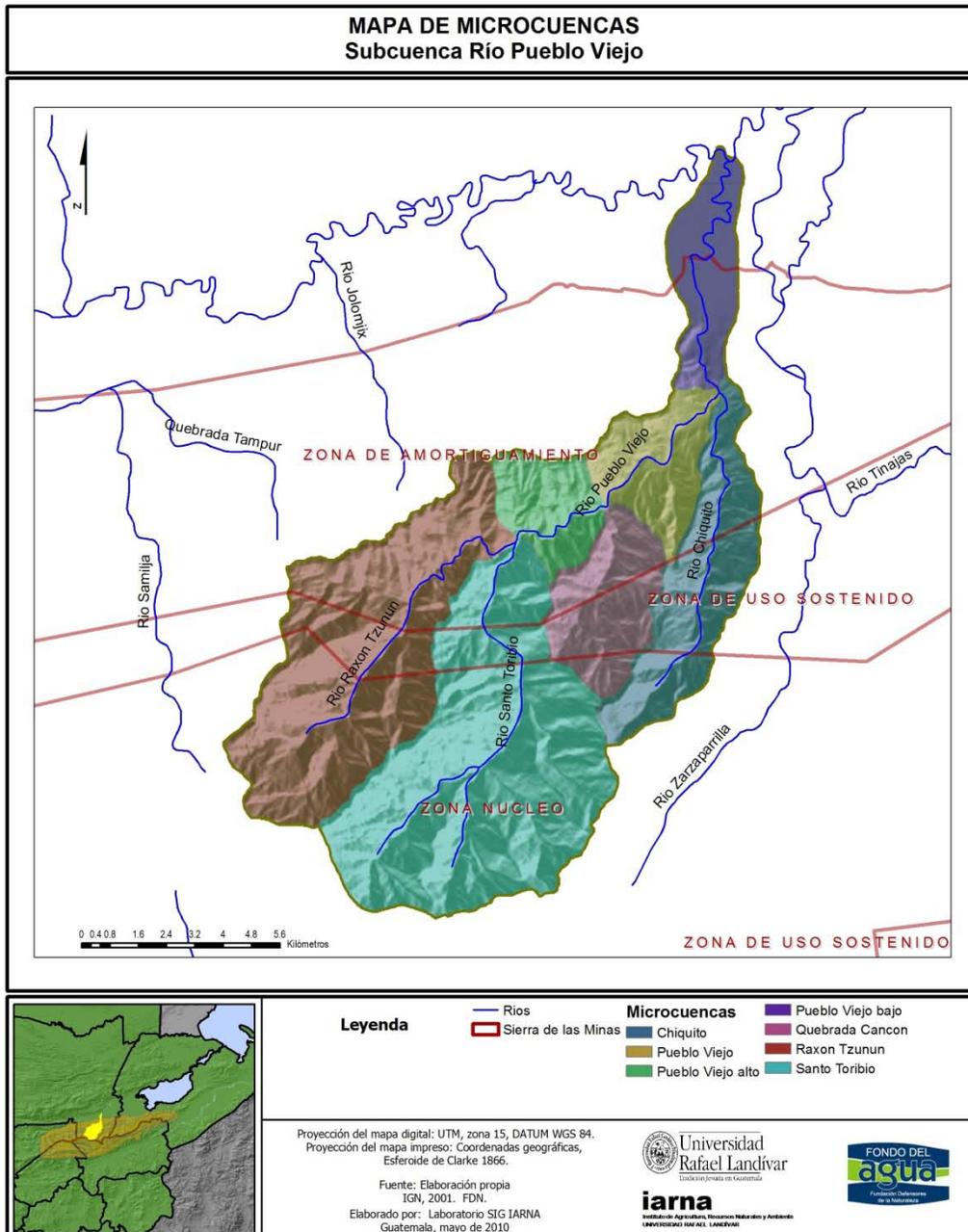
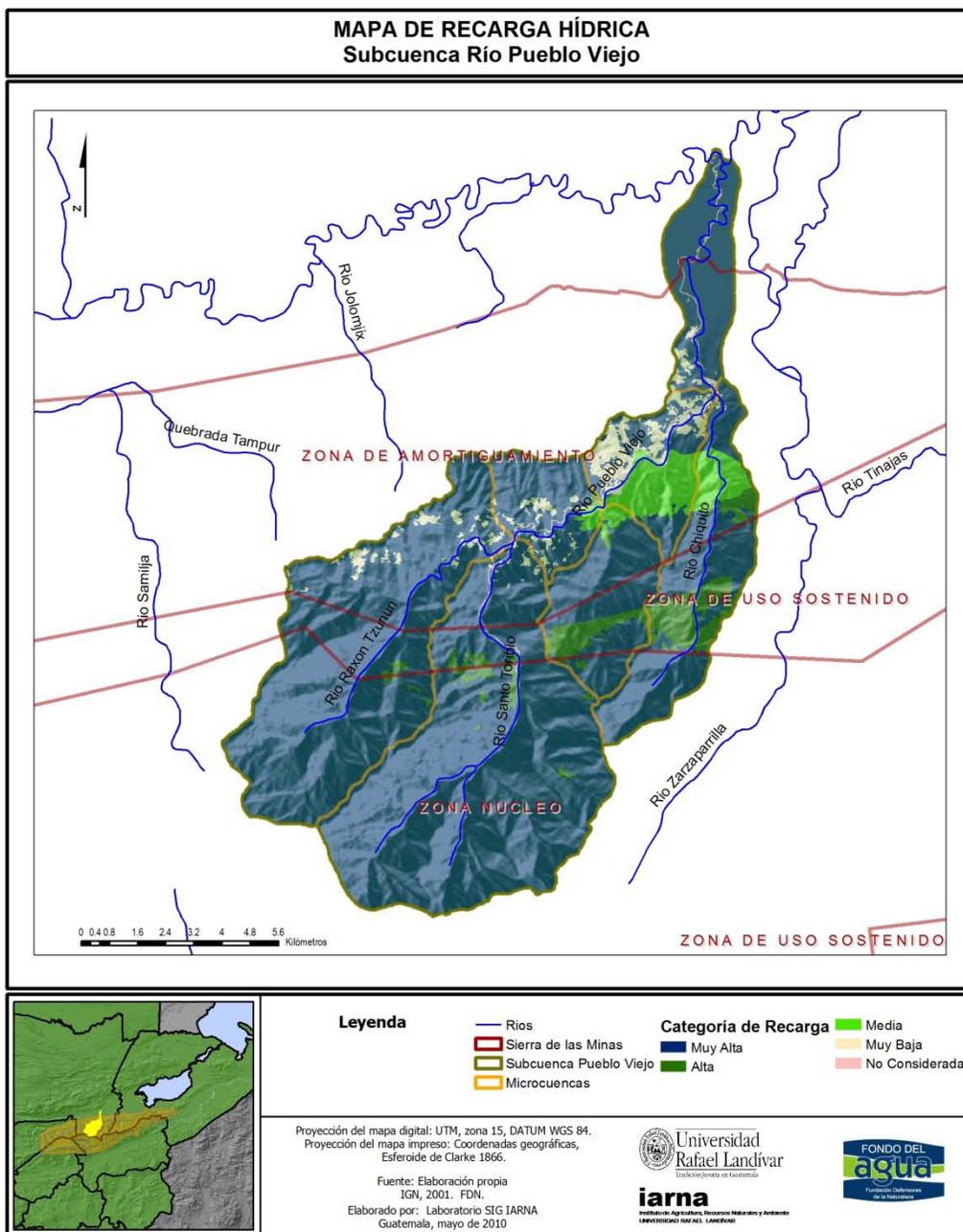
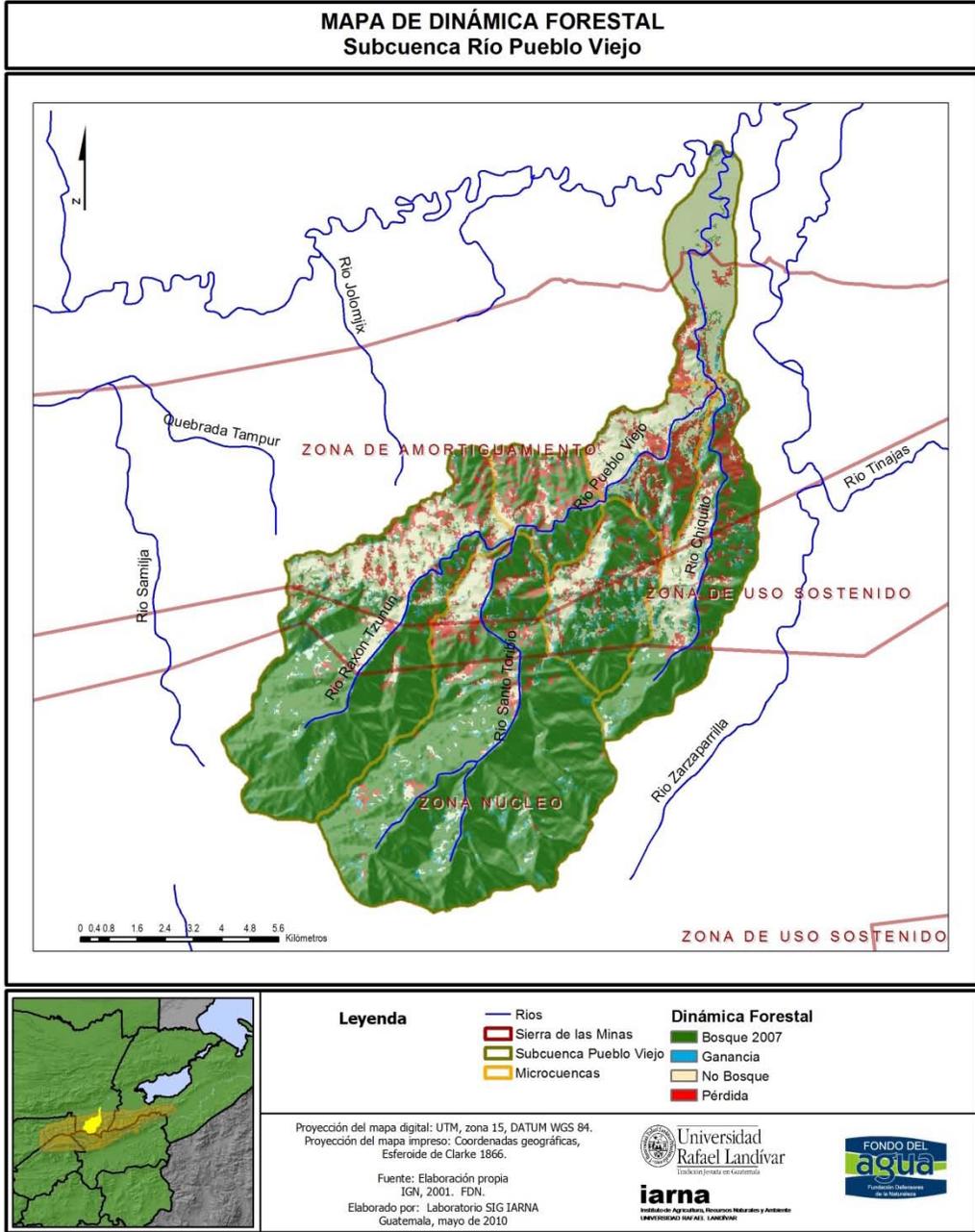


Figura 45. Microcuencas de subcuenca Pueblo Viejo



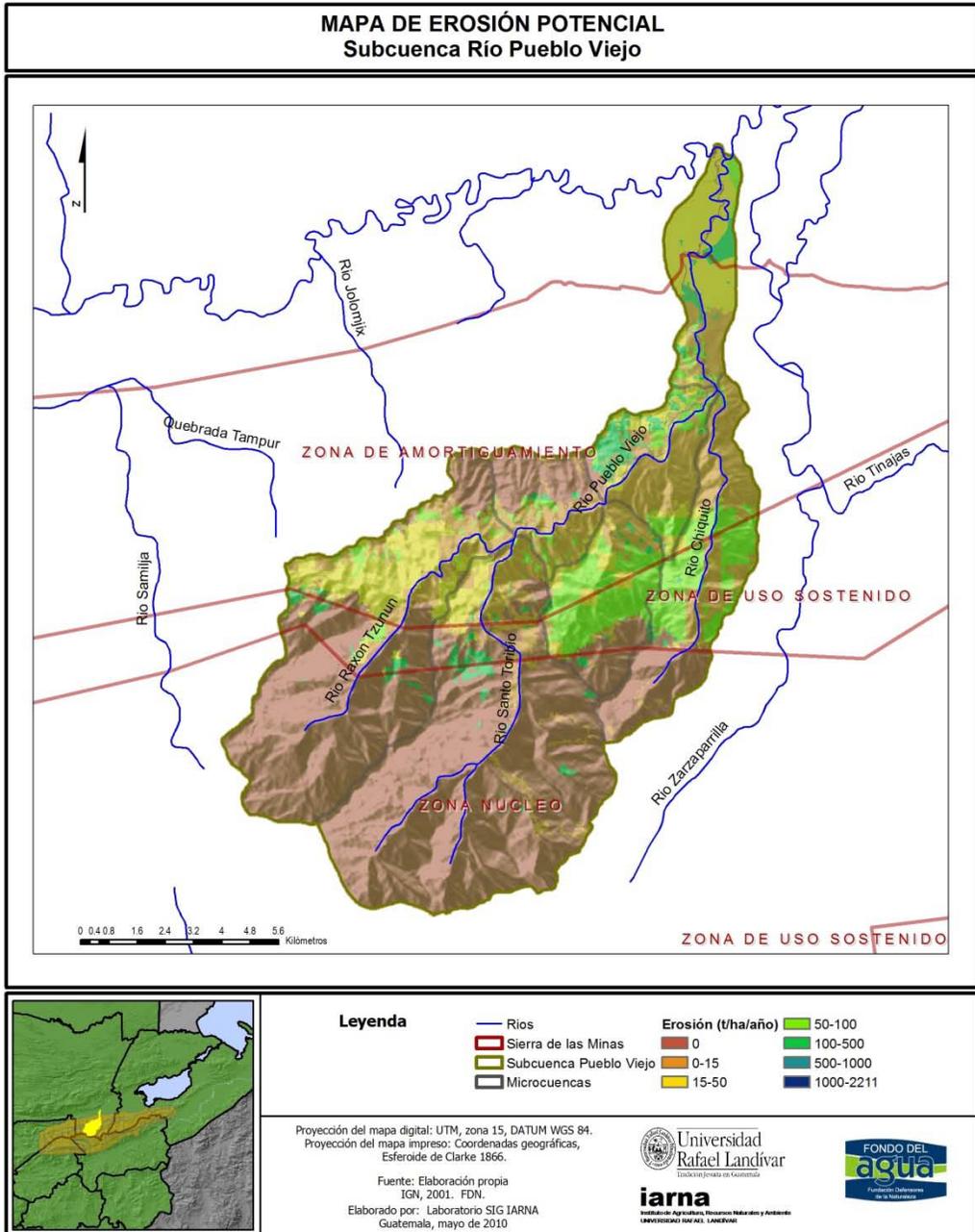
Microcuencas de Subcuenca San Jerónimo	Área	Precipitación (PP)	Retención (RET)	Escurrentía espontánea (ESC)	Evapotranspiración (ETR)	Recarga hídrica RH, (infiltración hídrica)	Dsponibilidad hídrica DH (PP-RET-ETR)	PP	ESC	ETR	RH	DH
Dimensión	ha	m <sup>3</sup>					mm					
Chiquito	1,824	40,764,945	6,624,659	5,287,147	7,295,471	21,636,450	26,923,597	3,649	874	768	1,836	54
Pueblo Viejo	1,018	18,157,429	2,669,970	3,669,104	3,804,219	7,809,665	11,478,769	3,030	914	603	1,118	135
Pueblo Viejo alto	794	17,768,741	2,314,858	4,158,855	3,363,453	7,547,696	11,706,551	3,135	1,105	575	1,043	70
Pueblo Viejo bajo	1,018	8,663,984	1,055,416	2,011,351	1,922,498	3,716,207	5,727,558	2,921	949	616	1,018	35
Quebrada Cancon	1,191	36,680,900	5,058,509	4,462,069	6,327,096	18,519,967	22,982,036	3,751	619	765	2,037	52
Raxon Tzunun	3,963	25,611,163	3,410,369	2,688,187	4,439,335	13,237,782	15,925,969	3,516	625	654	1,721	144
Santo Toribio	5,058	44,636,436	7,198,346	3,576,809	7,397,733	24,391,738	27,968,547	3,816	524	722	2,098	180
<b>Total general</b>	<b>14,867</b>	<b>29,596,394</b>	<b>4,428,351</b>	<b>3,590,006</b>	<b>5,238,984</b>	<b>15,135,628</b>	<b>18,725,634</b>	<b>3,457</b>	<b>743</b>	<b>670</b>	<b>1,627</b>	<b>670</b>

**Figura 46. Recarga hídrica de la subcuenca Pueblo Viejo**



Microcuenca	Bosque 2001	Bosque 2007	Pérdida	Ganancia	Pérdida Neta	Tasa anual de deforestación %
	ha					
Chiquito	1,305	1,141	280	109	171	2.18
Pueblo Viejo	483	232	300	48	252	8.69
Pueblo Viejo alto	667	490	213	32	181	4.52
Pueblo Viejo bajo	147	52	116	14	102	11.56
Quebrada Cancon	785	767	142	111	30	0.64
Raxon Tzunun	3,028	2,876	359	126	233	1.28
Santo Toribio	4,591	4,482	288	174	114	0.41
<b>Total general</b>	<b>11,006</b>	<b>10,039</b>	<b>1,698</b>	<b>615</b>	<b>1,083</b>	<b>1.64</b>

**Figura 47. Dinámica forestal subcuenca Pueblo Viejo**



**Figura 48. Erosión subcuenca Pueblo Viejo**

### 7.3.5 Análisis integrado de activos y flujos de los recursos hídricos en las cuencas bajo análisis.

Disponibilidad de recursos hídricos, esta se define como la cantidad de agua que puede ser utilizada por la sociedad, esta se obtiene restando a la precipitación total las pérdidas por retención y evapotranspiración de los ecosistemas naturales, que para todos los casos son generalmente bosques maduros. En este sentido podemos apreciar (Cuadro 14), que **la subcuenca San Jerónimo** presentó una disponibilidad, para el año 2008, de 153 millones de m<sup>3</sup>, aproximadamente la mitad disponible en caudal superficial y la otra mitad en caudal subterráneo. Presenta un caudal medio anual de 2.5 m<sup>3</sup>/s medido en el punto de aforo, el cual se encuentra en la hidroeléctrica San Isidro. Cuenta con un caudal específico de 11 lps/Km<sup>2</sup>, lo cual significa que cada segundo, cada kilómetro del cuenca produce un promedio de 11 litros a lo largo de un año hidrológico. Cabe mencionar que este es caudal específico más bajo de las subcuencas evaluadas.

En cuanto al uso del agua presenta los siguientes datos destacables:

- a) El uso no consumtivo, es decir, el agua que únicamente es derivada y aprovechada y devuelta al cauce del mismo cuerpo fluvial, asciende al 65% del caudal superficial en el punto de aforo. Este uso incluye a las dos hidroeléctricas, Matanzas y San Isidro. El beneficio económico bruto estimado es de Q 49 millones. Esta subcuenca destaca por el uso no consumtivo en toda la RBSM.
- b) El uso consumtivo de los recursos hídricos se estimó en al menos el 21% del caudal superficial del río y cuanta con un ingreso bruto de al menos Q 31.5 millones. Respecto al uso del agua para consumo de agua potable se estima de al menos el 0.4% del caudal superficial.

Contrastantemente a lo anterior la subcuenca San Jerónimo presenta la tasa de deforestación más alta y datos muy elevados de erosión potencial (7 ton/ha/año) debido, principalmente a la baja cobertura forestal que tiene.

**La subcuenca Teculután** destaca en varios aspectos, entre los primeros está que es un de las cuencas más grandes de la vertiente del río Motagua. La disponibilidad de agua al año es de 174 millones de m<sup>3</sup>, lo cual es uno de los mayores caudales que drenan hacia el valle del motagua desde la RBSM. Cuenta con un caudal promedio anual de 4.9 m<sup>3</sup>/s. es una de las cuencas con mayor proporción de la disponibilidad del agua en caudal superficial (90%), es decir que únicamente cuenta con un aporte subterráneo de aproximadamente 11%. Esto resultó ser muy coherente con estudios de balances hídricos realizados esta subcuenca. Esta característica contribuye sustancialmente a que esta subcuenca presente uno de los caudales superficiales específicos más altos, el cual es de 24.4 lps/Km<sup>2</sup>.

Respecto al uso del agua se tienen las siguientes estimaciones:

- a) El uso no consumtivo puede considerarse como no significativo, ya que actualmente no existen hidroeléctricas, de acuerdo a personal de Inversiones Pasabien se está planificando una.
- b) La subcuenca Teculután, volumétricamente, presenta uno de los usos consumtivos más altos de la RBSM y obviamente de las cuencas evaluadas. Se estima que el uso consumtivo asciende al 46% del caudal superficial. Lo cual genera un ingreso bruto de Q 98 millones. La población consume cerca de 1.3% del caudal superficial para abastecimiento de hogares.

**Cuadro 14. Marco analítico integrado de activos y flujos de los recursos hídricos en las cuencas bajo análisis**

VARIABLE / CUENCA	Dimensión	San Jerónimo			Teculután			Pasabien			Pueblo Viejo			
				%			%			%			%	
<b>DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO</b>														
Disponibilidad total	m <sup>3</sup>	153,441,944			174,425,738			105,977,929			372,852,544			
Caudal superficial promedio	m <sup>3</sup> /s	2.5			4.9			2.32			9.25			
Caudal superficial anual	m <sup>3</sup>	78,840,000			154,526,400			73,163,520			291,708,000			
Caudal subterráneo anual estimado	m <sup>3</sup>	74,601,944			19,899,338			32,814,409			81,144,544			
<b>USO DEL RECURSO HÍDRICO</b>														
		Antes de punto de aforo	Después de punto de aforo	%*	Antes de punto de aforo	Después de punto de aforo	%*	Antes de punto de aforo	Después de punto de aforo	%*	Antes de punto de aforo	Después de punto de aforo	%*	
<b>Uso no consumtivo</b>														
Hidroeléctricas	m <sup>3</sup>	12,048,819	39,463,030	65	n.a			32,479,347	n.a			44		
<b>Uso consumtivo</b>														
Agricultura de secano	m <sup>3</sup>	8,232,813			10			3,968,438			2.6			
Agricultura bajo riego	m <sup>3</sup>	136,943	16,714,080	21	n.s	66,067,920	43	n.s.	31,536,000	43	n.s	n.s		
otros usos	m <sup>3</sup>	n.s	8,541	0.0	n.s	n.s		n.s.	1,074,000	1.5	n.s	n.s		
Hogares	m <sup>3</sup>	323,354	344,962	0.4	n.s	1,988,788	1.3	36,500	73,000	0.1	36,500	73,000	0	
<b>Indicadores de estado de la cuenca</b>														
				%			%			%			%	
Extensión	ha	22,805			100			20,109			100			
Cobertura forestal 2007	ha	12,501			55			11,273			56			
Deforestación 2001-2007	ha	2,392			10			-528.05			-3			
Tasa de deforestación	% anual	1.7									1.2			
Erosión	ton/año	158,733						98,216			224,804			
Tasa de erosión	ton/ha/año	7.0						4.9			8.0			
Capa de suelo perdido	m/año	0.08						0.05			0.1			
<b>Otros indicadores hidrológicos/producción</b>														
Producción hídrica específica	m <sup>3</sup> /ha/año	6,728						8,674			10,545			
Caudal específico	m <sup>3</sup> /ha/año	3,457						7,684			7,280			
Producción hídrica específica	l/ha/año	6,728,434						8,674,014			10,545,068			
Producción hídrica específica	lps/Km <sup>2</sup>	21.3						27.5			33.4			
Caudal específico	l/ha/año	3,457,137						7,684,440			7,279,952			
Caudal específico	lps/Km <sup>2</sup>	11.0						24.4			23.1			
<b>Uso consumtivo per cápita</b>														
Uso consumtivo per cápita	m <sup>3</sup> / hab.	1,854						7,485			7,046			
Beneficio económico hidroeléctricas	Q / m <sup>3</sup>	0.95						n.a			0.92			
Beneficio económico agricultura con rie	Q / m <sup>3</sup>	1.51						1.48			1.37			
Beneficio bruto por uso no consumtivo	Q	Q	49,080,000.00					Q			32,634,708.48		n.a	
Beneficio bruto por uso consumtivo	Q	Q	31,439,636.00		Q			97,978,285.00		Q		48,345,925.35		?

%\*: porcentaje relativo al caudal superficial de la subcuenca en la estación de aforo

n.a: no aplica

n.s: no significativo

Respecto a los indicadores ecológicos se puede mencionar que tuvo una dinámica forestal favorable para la recuperación del sistema de cuenca. En lugar de presentar deforestación como es lo normal en estas cuencas presentó aumento de la cobertura vegetal y la tasa más baja de erosión potencial 4 ton/ha/año. Cabe destacar que no se consideraron muchos uso consumtivos de la industrias, tales como, embotelladoras, de agroquímicos, etc. que se encuentran ubicadas en la parte baja de la cuenca, o en área de influencia de la misma, ya que la información es poco detallada y fragmentada, además la mayor parte del abastecimiento de dichas industrias es de agua subterránea, que como podemos observar en diversos resultados de este estudio más pareciera indicar que es un manto acuífero regional del valle del Motagua que alimentado por la cuenca Teculután (Brown & De la Roca, 1996).

**La subcuenca Pasabien**, presenta datos muy contrastantes a los anteriores, a pesar de estar ubicada inmediatamente al noreste de la cuenca de Teculután y drenar hacia el río Motagua. Entre los datos más destacables se encuentran: la disponibilidad de recursos hídricos se estimó en 105 millones de m<sup>3</sup>, lo cual es el más bajo entre las subcuencas evaluadas. De esta disponibilidad 69% drena superficialmente y 31% se estimó que era el caudal subterráneo, lo cual coincide adecuadamente con otros estudios realizados. Asimismo, cuenta con un caudal promedio anual de 2.32 m<sup>3</sup>/s y cuenta con un caudal específico de 23.1 lps/Km<sup>2</sup>, el cual muy parecido al de la subcuenca Teculután, sin embargo los caudales específicos de Proción hídrica total la subcuenca Pasabien muy superior. Esto se explica porque la Cuenca Pasabien tiene una extensión de bosque nuboso (en la parte alta) mucho mayor que la de Teculután. Nuevamente este es un indicador de la importancia de este ecosistema en la captación de agua.

En cuanto al uso del agua se puede resaltar lo siguiente:

- a) Uso no consumtivo. Existe una hidroeléctrica que deriva, usa y retorna recursos hídricos, aprovechándose del 44% del caudal superficial arriba del punto de aforo. Esta actividad genera Q. 32.5 millones de ingresos brutos.
- b) El uso consumtivo de la cuenca porcentualmente es el más alto de las cuencas evaluadas, asciende a 50%. Esto genera unos ingresos brutos de Q 48 millones.

Cabe destacar que esta cuenca, entre uso consumtivo y no consumtivo aprovecha cerca del 95% del caudal superficial. Este porcentaje se incrementa considerablemente en época seca. En cuanto a los indicadores de uso del suelo se evidenció una tasa de deforestación negativa y una tasa de erosión relativamente alta de 7ton/ha/año.

**La subcuenca Pueblo Viejo** presenta datos muy contrastantes a todas las cuencas anteriores, lo cual se debe a que por su ubicación está afectada por mayor exposición a las corrientes de humedad provenientes del mar Caribe, drenando hacia el río Polochic. Entre los datos más destacables se encuentran: la disponibilidad de recursos hídricos se estimó en 373 millones m<sup>3</sup>, la cual es la más alta de las cuencas evaluadas, incluso triplicando a la subcuenca Pasabien con un tamaño similar. De esta disponibilidad 72% drena superficialmente y 28% se estimó que era el caudal subterráneo, lo cual coincide adecuadamente con otros estudios realizados. Asimismo, cuenta con el caudal superficial promedio anual de 9.25 m<sup>3</sup>/s y cuenta con un caudal específico extraordinario de 62.2 lps/Km<sup>2</sup>, el cual puede ser uno de los más altos de Guatemala y Mesoamérica. Esto se explica a que casi toda la cuenca está catalogada como de muy alta recarga hídrica. Nuevamente este es un indicador de la importancia de este ecosistema en la captación y regulación del ciclo hidrológico.

En cuanto al uso del agua se puede resaltar lo siguiente:

- a) Uso no consumtivo. Con la información disponible se estimó que el uso no consumtivo es no significativo a pesar de ser una cuenca altamente productiva.
- b) Uso consumtivo de la cuenca se puede considerar que casi todo este uso pertenece a agricultura de secano llegando a un porcentaje de 7.8% del caudal superficial. Cabe mencionar que es necesaria más investigación para determinar adecuadamente los ingresos brutos derivados de estas actividades que principalmente obedece a cardamomo y otros cultivos.

Cabe destacar que esta cuenca evidenció una deforestación anual cercana al 1%. Además se determinó una erosión potencial de 15 ton/ha/año, la cual es la más alta de las cuencas evaluadas. Este es un indicador de la alta susceptibilidad de estos suelos a la pérdida de la capacidad productiva. Estas tasas tan elevadas obedecen al régimen hídrico de altas intensidades de precipitación y a las altas pendientes que presenta esta cuenca en la parte media y parte alta. Esta es la cuenca que mayor productividad hídrica ofrece, sin embargo puede estimarse que es la que menores ingresos brutos ofrece y menos porcentaje de uso consumtivo y no consumtivo presenta.

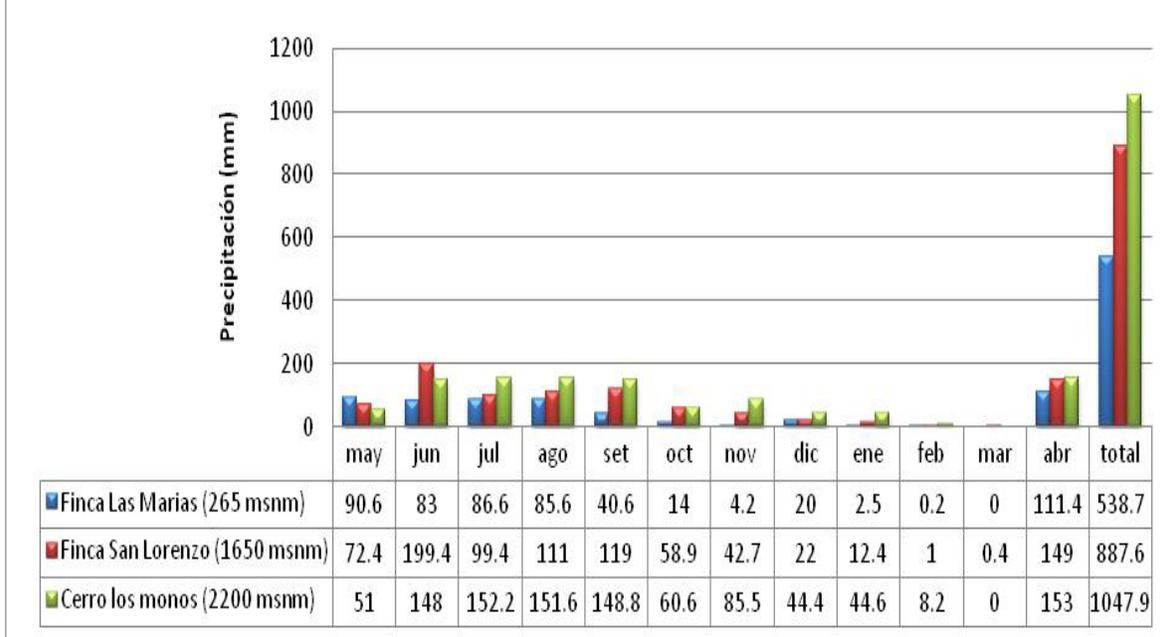
#### **7.4 Servicios Hidrológicos en la RBSM.**

Para ilustrar los servicios hidrológicos de las cuencas evaluadas se hace referencia al ejemplo del estudio ecohidrológico que se está llevando a cabo en la subcuenca Teculután, adaptado de (Rosito, 2010). Posteriormente se hace un análisis del futuro de los mismos de acuerdo a las tendencias de cambio climático.

En dicho estudio se pudo evidenciar el año hidrológico 2009-2010 inició el 22 de mayo 2009 y terminó el 15 de mayo 2010. Este fue altamente irregular. El 75% de los meses se rompieron records más bajos de caudales promedio. Se presentaron caudales máximos más altos de los históricos documentados para el mes de abril. Se evidenció la presencia del fenómeno que a continuación de períodos relativamente secos se presentan eventos extremos de alta precipitación.

Fue posible encontrar vínculos entre proveedores y usuarios de servicios hidrológicos de la cuenca, entendiendo estos como aquellos factores que mantienen regulado el flujo hídrico, es decir, son aquellos factores que disminuyen el impacto de caudales mínimos y máximos. Los usuarios demandan, sobre todo, acceso a agua y disminución del efecto de los eventos extremos de muy altos caudales. Los caudales mínimos, ocurren normalmente en la estación seca. Cabe mencionar que el flujo de estiaje ocurre gracias a que el ecosistema de bosque nuboso ubicado en la parte alta de la cuenca capta. En este sitio se evidencia suelos de profundidad mayor a 1 metro, lluvias con intensidades relativamente bajas (20 mm/h), y la región donde mayor precipitación ocurrió, 1100mm (Figura 49).

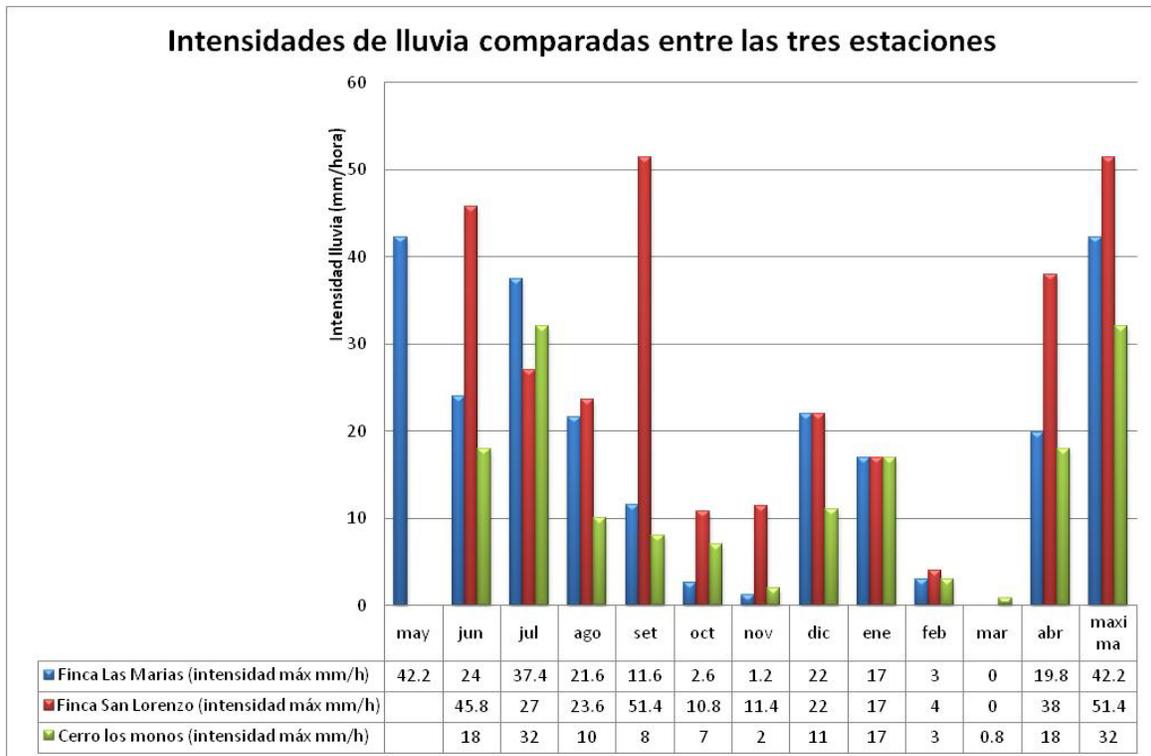
## Precipitación del año hidrológico 2009-2010 comparada entre estaciones climáticas



**Figura 49. Precipitación del año hidrológico 2009-2010 comprada entre estaciones climáticas ubicadas en diversos estratos ecosistémicos de la cuenca Teculután y Pasabien.**

Los usuarios también demandan como servicio hidrológico la disminución de los efectos negativos asociados a eventos de caudales extremos, muy altos, tales como inundaciones y erosión y sedimentación. Esto es posible solamente si es manejada adecuadamente la parte media de la cuenca (bosque de pino encino), ya que aquí es donde se dan las condiciones que mayor incidencia tienen sobre estos fenómenos, ya que se observaron las mayores intensidades de precipitación (más 50 mm/h) y precisamente donde se está gestando el avance de la frontera agrícola. En esta región es fundamental mantener una zona de ribera que contribuya significativamente a la regulación de flujos extremos (Figura 50).

En el año hidrológico 2009-2010, se pudo evidenciar una relación directa entre el fenómeno climático global denominado el niño y las condiciones de extremas de caudales muy bajos y la transición hacia caudales muy altos, ambos altamente dañinos e irregulares. De acuerdo a las tendencias de los últimos sesenta años de monitoreo se esperan que estos eventos sean cada vez más frecuentes y dañinos. En este contexto los servicios hidrológicos adquieren mucho mayor relevancia, incluso ser críticos para evitar eventos de hambrunas



**Figura 50. Máximas intensidades de precipitación mensual, comparada entre estaciones climáticas ubicadas en diferentes regiones ecosistémicas de las cuencas Teculután-Pasabien.**

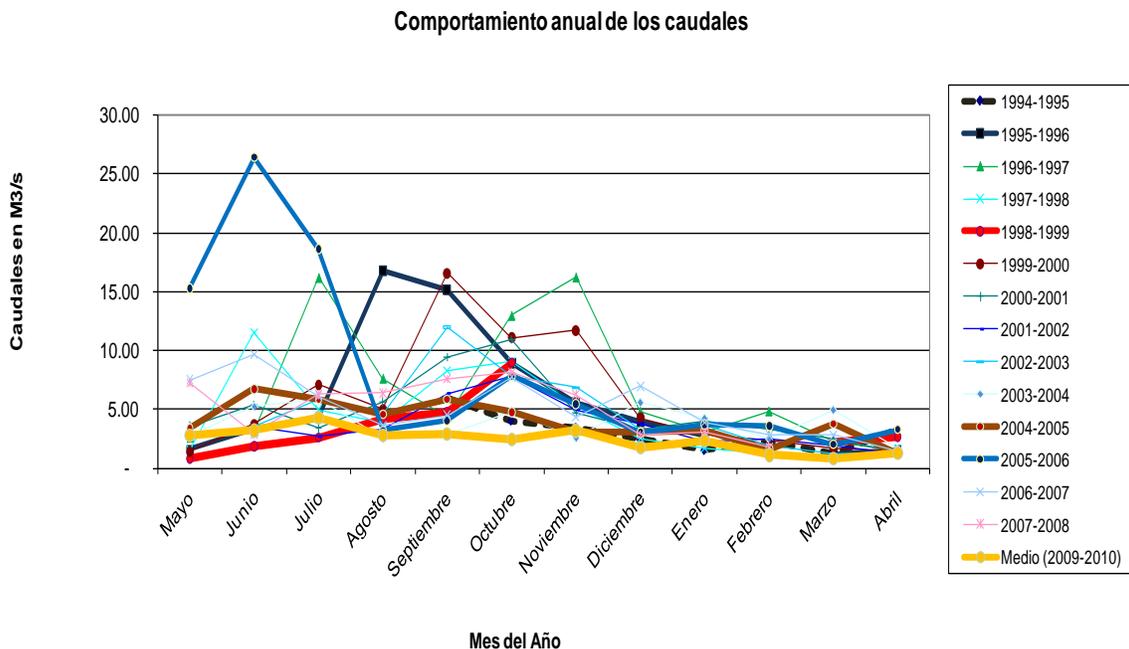
La incidencia del fenómeno el niño durante el presente año evaluado puede ser el principal factor para alterar severamente el ciclo hidrológico de la cuenca Teculután y la regulación de los recursos hídricos de la cuenca, principalmente de la siguiente manera:

- Disminuye significativamente las precipitaciones, alrededor de una anomalía del 50% inferior al promedio de entradas de agua.
- Aumentan la temperatura, es decir, las demandas evapotranspirativas de la cobertura vegetal. Esto implica un mayor consumo de la cobertura vegetal.
- Altera la distribución de la precipitación, ya que esta se presentó durante muy pocos días y a intensidades relativamente altas. Al mismo tiempo se observaron
- Alteró las intensidades de precipitación invirtiendo al inicio de la estación seca las mayores intensidades que se presentaron en la parte baja (bosque seco) y no en la parte media (bosque de pino-encino) que es donde se esperaban. Incluso es donde se presentaron al inicio de la estación lluviosa del año hidrológico 2010-2011.
- Todas estas condiciones generan muy poca capacidad del ecosistema a almacenar agua y liberarla lentamente, es por ello que este año hidrológico disminuyó significativamente el caudal promedio de 4m<sup>3</sup>/s a 2 m<sup>3</sup>/s, y caudales mínimos menores a 0.5 m<sup>3</sup>/s, precisamente en la época en la que la demanda es en promedio de 2 m<sup>3</sup>/s. esto evidencia un gran déficit hídrico.

El Niño es un fenómeno que presenta una tendencia a presentarse con mayor frecuencia y a altas intensidades. Por es previsible que se presenten eventos extremos de sequía durante 4 o más años cada década y eventos de revote (altas precipitaciones) inmediatamente después de estos períodos de sequía. Asimismo con efectos contrarios, al menos una vez en un decenio, por lo cual es de esperarse años muy irregulares.

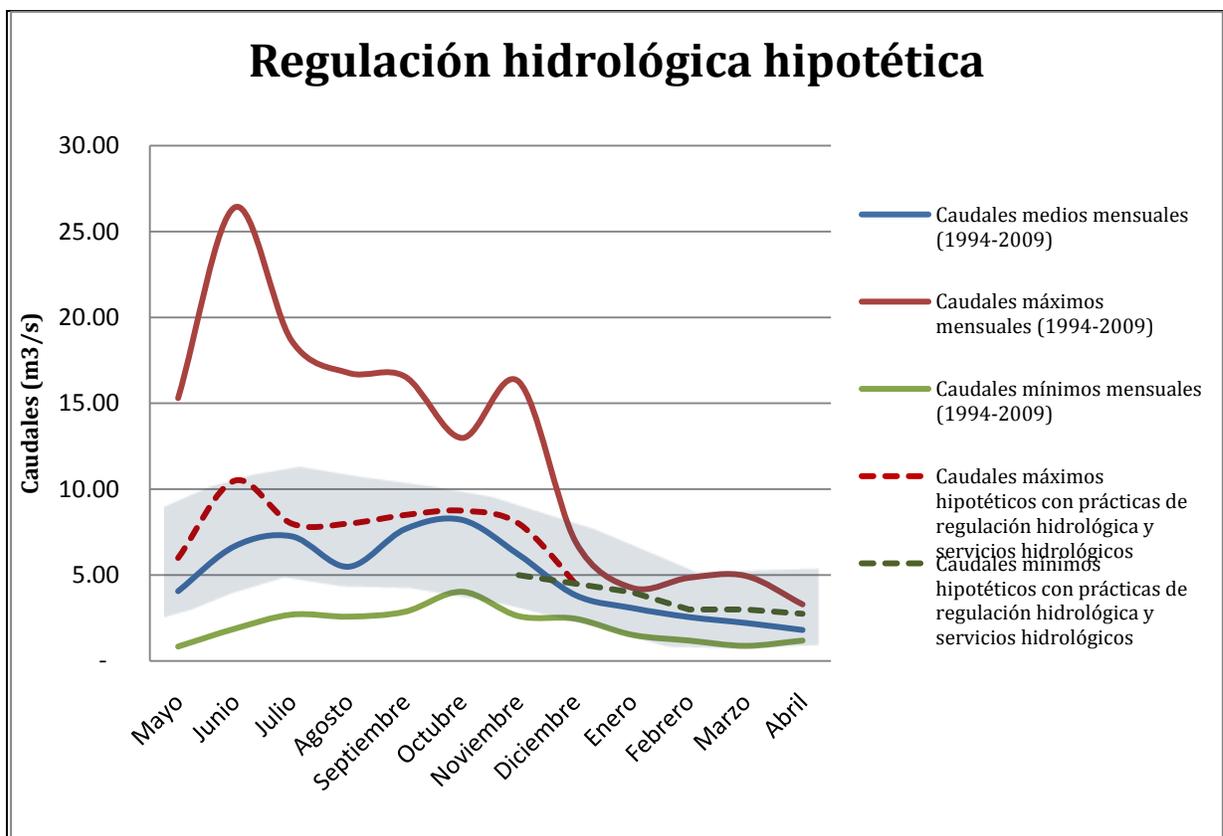
Por lo anteriormente expuesto se define que durante el año hidrológico 2009-2010 no se presentaron eventos de erosión y sedimentación que fueran significativos, sin embargo es un ciclo adecuado para estudiar años de eventos extremos de caudales bajos, los cuales de acuerdo a las tendencias serán una vez cada dos o tres años. Se espera que el año hidrológico 2010-2011 se un año con eventos extremos de precipitación muy alta. Esta irregularidad entre eventos de caudales mínimos muy bajos y caudales máximos muy altos se espera que ocurra con mayor frecuencia e intensidad.

En al siguiente figura (Figura 51) se puede apreciar que los años hidrológicos son muy cambiantes. En tal sentido se puede apreciar que después de un período seco generalmente se presenta un periodo de alta humedad. Un ejemplo es que el año hidrológico 2004-2005. En tal sentido podría esperarse para el año hidrológico 2010-2011 como un año muy húmedo, sobre todo la primera parte de la estación lluviosa, lo cual ya fue comprobado. Por otro lado puede apreciarse que el año hidrológico 2009 y 2010 es el más seco en más de 15 años de monitoreo hidrológico de la cuenca. Esto se evidencia porque en este año se presentaron los caudales promedio más bajos durante los meses agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, febrero, marzo y abril, es decir 8 meses (75%) del año hidrológico.



**Figura 51. Caudales promedio mensuales para el período 1994 2008 y año hidrológico 2009-2010.**

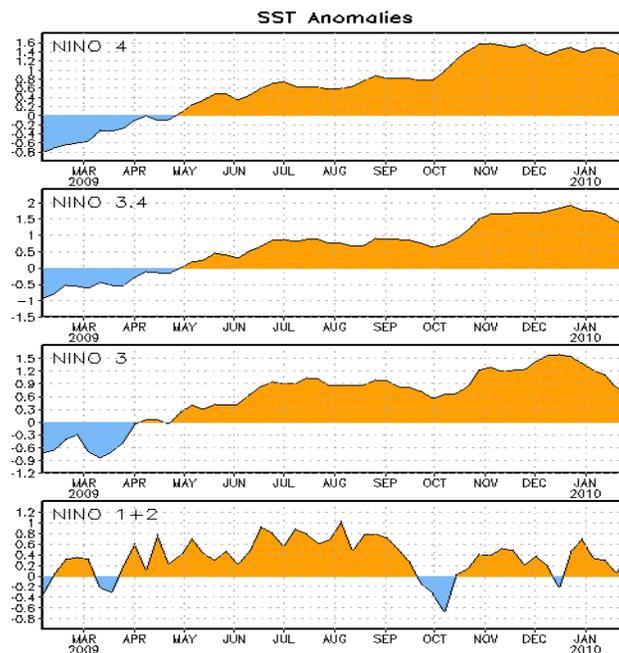
Como parte del análisis detallado de la información que se realizó en el estudio hidrológico de la cuenca de Teculután y bajo el marco de la verificación y gestión de los servicios hidrológicos (regulación hidrológica) se deben enfocar esfuerzos a la definición de causas e impactos de los caudales máximos (época de estación lluviosa) y efectos en la sedimentación y erosión. Asimismo se estudió detalladamente los caudales mínimos y efectos en desabastecimiento hídrico de la población. Cabe mencionar que como resultado de la situación ambiental actual, fuertemente influenciado por el fenómeno físico-climático denominado “el niño” se ha hecho sentir la necesidad de estudiar los caudales básicos, de estiaje y/o mínimos de la cuenca, ya que existe desabastecimiento, por ejemplo se reportan en octubre y noviembre caudales que históricamente suceden normalmente en febrero y/o abril, en tal sentido es previsible que la siguiente época seca se presente muy seco con anomalías superiores al 50%. Adicionalmente se logró evidenciar cierta tendencia a que inmediatamente después de un período muy seco se presentan desequilibrios climáticos con eventos de precipitación extrema, es decir muy alta. Esto se demostró en el presente año en el cual se rompieron records de caudales mínimos durante el 75% del los meses y en el mes de abril se rompieron records de los caudales altos. Esto es un claro indicador de lo anormal del presente año hidrológico y las terribles consecuencias que esto conlleva.



**Figura 52. Esquema regulación hidrológica hipotética con la aplicación de esquemas de servicios ambientales hidrológicos**

En este sentido es importante incluir en la gestión de servicios hidrológicos conceptos relacionados de regulación hidrológica y disminución del impacto socioeconómico de caudales mínimos y caudales máximos tales como adaptación al cambio climático y aspectos de seguridad alimentaria. Por lo tanto la gestión de servicios hidrológicos está relacionada con la regulación hidrológica y esta consiste en dotar de capacidades al sistema de absorber adecuadamente eventos extremos de precipitación (disminuyendo susceptibilidad a erosión, inundaciones y daño a infraestructura) y caudales mínimos, los cuales ocasionan desabastecimiento hídrico. Evidentemente estos presentan diferente temporalidad, el primero durante estación lluviosa y el segundo durante la estación seca (Figura 52).

**Al tratar de explicar los fenómenos anteriores se comparó datos del presente año hidrológico con el Fenómeno climático denominado “El niño”.** En tal sentido se realizaron relaciones entre datos climáticos observados en la cuenca Teculután con índices de intensidad del fenómeno climático global “El niño” (Figura 53). Se pudo evidenciar de manera visual que justo cuando en la cuenca Teculután las precipitaciones mostraron disminución significativa mayo y junio (comparación entre datos históricos y los correspondientes al presente año hidrológico) se empiezan a generar condiciones del niño. En tal sentido pudimos observar que puede existir una relación directa entre el fenómeno climático global denominado El niño y las observaciones climáticas e hidrológicas en la cuenca Teculután.



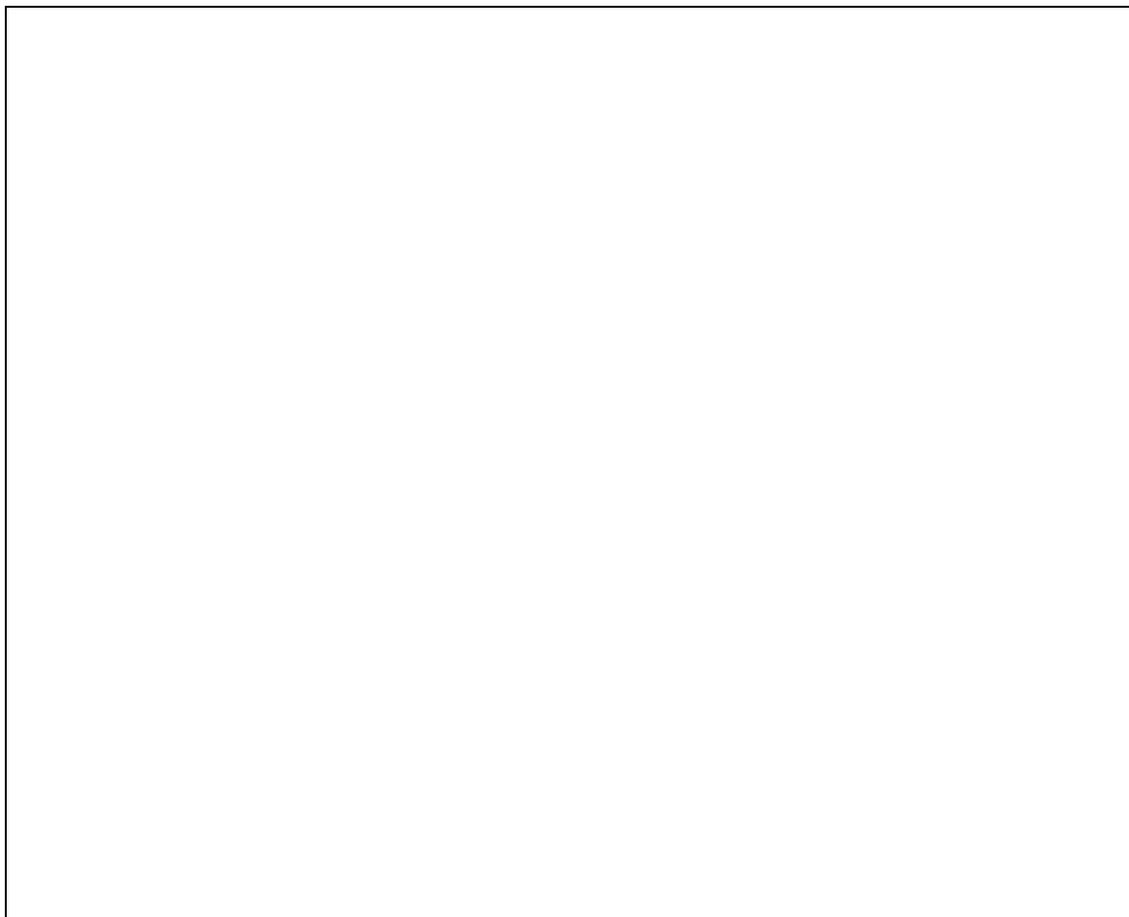
**Figura 53. Anomalías del evento climático el Niño en el año 2009-2010. Fuente Noaa, 2010. ENSO Cycle presentation.**

De acuerdo a las tendencias del niño estos eventos de extremos climático/hidrológicos pueden esperarse cada vez con mayor frecuencia. Al observar los registros históricos (Figura 54) se evidencia que en la veintena de años de 1950 a 1970 se presentaron 4 eventos de El niño (es decir cada 5 años) y 2 eventos de la Niña (1 cada 10 años). En el período de 1970 a 1990 números similares para el niño y para la niña aumenta: 1 cada 5 años. En el período de 1990 a 2010 aumentan considerablemente los eventos fuertes de

El niño a 7 eventos (es decir 1 evento cada 2 - 3 años) y juntos entre El niño y La niña condiciones extremas 1 vez cada 2 años.

Se puede deducir que los eventos extremos climáticos presentan durante los últimos 60 años una tendencia a aumentar en número, así como en su oscilación (efecto péndulo) entre períodos muy secos a períodos muy húmedos.

En el contexto de la cuenca Teculután (como una gran parte de Guatemala y Centroamérica) el aumento de la frecuencia de eventos de El niño genera condiciones críticas de inseguridad alimentaria y aumentos de conflictos por el uso del agua por desabastecimiento hídrico (una oferta menor a la demanda en época seca (marzo-abril-mayo)). Al mismo tiempo presenta una tendencia al aumento de oscilaciones entre períodos prolongados de sequía y eventos de precipitaciones extremas (como un péndulo).



**Figura 54. Comportamiento y recurrencia de los fenómenos climáticos El niño y La Niña.**

Se evidencia/confirman las tendencias de impactos globales del El niño y La niña en la región de Centroamérica. Específicamente en la región de Teculután El niño genera condiciones de sequía (disminución considerable de precipitación y además aumento de

temperatura que incide en mayor demanda de agua de las plantas para producir o sobrevivir), por lo tanto alta vulnerabilidad climática (aún más que en otras regiones del mundo) a sequías de alto impacto sobre la agricultura, afectando la producción y disponibilidad de alimentos (inseguridad alimentaria severa).

Además nos explicamos por qué las ONU en la reciente reunión de Copenhague ha declarado que la región centroamericana y Guatemala específicamente son unas de las regiones en el mundo que serán más afectadas por el cambio climático. En este contexto el componente hidrológico y el PESH adquieren una relevancia aún mayor ya que no solamente es útil para conocer y equilibrar las relaciones entre proveedores y usuarios de servicios hidrológicos sino es fundamental para la adaptación al cambio climático y combatir la inseguridad alimentaria, pobreza y además incluso de subsistencia, ya que el hambre ha ocasionado muertes y por lo visto cada vez crece la intensidad y frecuencia. Esto en un sitio con altos niveles de vulnerabilidad a desastres naturales asociados eventos climáticos es la “tormenta perfecta”, aunque a veces sea “la sequía perfecta”.

“En Guatemala 400.000 familias están en riesgo. En el país el 11 por ciento de los niños están malnutridos. Si la situación no cambia 2 millones de personas están en riesgo”, afirmó en rueda de prensa el asesor de respuestas de emergencia en la región, Douglas Reiner.

La región del Corredor Seco es la más afectada porque de por sí es una de las zonas más degradadas del país, señaló Reiner. **Ginebra, (EFE).**- La Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de la ONU (OCHA) alertó ayer sobre el riesgo de crisis humanitarias en Centroamérica a causa de la sequía que sacude a la región.

En síntesis el componente hidrológico es fundamental por los siguientes aspectos:

- la modelación y generación de capacidad predictiva,
- la priorización acciones de intervención y de áreas críticas de acuerdo al servicio hidrológico que estas prestan en la regulación del ciclo hidrológico.
  - Caudales máximos, regulación de la escorrentía superficial espontánea, retención de suelos y mantenimiento de su fertilidad,
  - caudales mínimos, infiltración de agua y regulación del caudal de estiaje en época seca)
- articulación de información de flujos entre sistemas natural, económico y social;
- planificación espacial y temporal del uso del agua.
- ***En el contexto del cambio climático el componente hidrológico adquiere mucho mayor relevancia ya que no solo proporciona información que vincule a productores y usuarios de agua a nivel de cuenca sino que también genera instrumentos para la adaptación al cambio climático, el cual ya ha mostrado tener efectos devastadores (social, ambiental y económicamente) por la alta variabilidad hidrológica y mayor presencia de eventos climáticos extremos.***

En este sentido se considera que esta experiencia es útil para aplicar instrumentos de planificación y adaptación al cambio climático, tanto en la región semiárida de Guatemala, para Centroamérica, así como en otros sitios de alta vulnerabilidad en el mundo, en especial aquellas regiones más afectadas por los cambios climáticos globales.

Entre las recomendaciones de este trabajo destacan las siguientes:

- Continuar y establecer nuevas acciones de recuperación de los ecosistemas, especialmente, los de la parte media de la cuenca, es decir, de pino encino. A pesar de las serias limitantes que se presentan en campo, tales como suelos históricamente muy afectados por incendios, suelos muy delgados y generalmente muy degradados, o inexistentes, altas intensidades de lluvia; es crítico establecer el paquete tecnológico adecuado para conducir exitosamente estos esfuerzos.
- Llevar a cabo restauración de la zona de rivera, especialmente en el ecosistema de pino encino y bosque seco y establecer prácticas de conservación de suelo en la parte media de la cuenca en áreas dedicadas a cultivos que no puedan ser reforestadas.
- Implementar infraestructura de almacenamiento de agua y regulación del flujo hídrico, ya que la infraestructura actual de abastecimiento de agua es muy vulnerable a sufrir daños severos durante un evento extremo de precipitación.
- Establecer condiciones de un uso más eficiente del agua en el sector agrícola y establecer actividades de aprovechamiento económico de los recursos naturales en donde el uso del agua sea mucho más eficiente. Por ejemplo servicios de atención turística, envasado de agua, etc.
- Establecer normas y acciones de regulación del uso de los recursos hídricos, ya que estos son muy limitados en ciertas épocas del año, especialmente de de enero a mayo. Realizar lecturas de contadores de agua ya instalados y el cobro o establecimiento de tarifas es algo deseable que las comunidades y la municipalidad debieran implementar. Además, es importante considerar que es previsible que existan con mayor frecuencia eventos que hagan bajar la disponibilidad de recursos hídricos y como efecto rebote eventos extremos de precipitación y consecuentes inundaciones y eventos de erosión.
- Capacitar a autoridades y otros actores locales pertinentes, así como establecer programas de educación ambiental para mejorar la administración de los recursos hídricos, desde una perspectiva técnica, prevaleciendo ante los criterios políticos.

De acuerdo a investigaciones recientes (Deepak, 2006), sobre la base de datos de precipitación a 266 estaciones climatológicas en Guatemala y áreas adyacentes, la lluvia de la temporada seca, especialmente en marzo, es notablemente menor en las zonas deforestadas que en las zonas boscosas en las mismas zonas de vida. En general, las temperaturas son más altas en zonas que se han deforestado, así como se presentan días menos nublados, Los valores del índice normalizado de vegetación (NDVI) que los hábitats forestales en la zona de vida misma. Se evidenció que el aire es más caliente y seco sobre las áreas deforestadas, y presenta valores más bajos de la formación de nubes y precipitación. Asimismo se realizaron correlaciones pluviométricas y de las nubes que cubren y se pudo evidenciar además que existen las deficiencias de lluvias de marzo, > 25 mm, de sitios que se encuentran en varias zonas de vida, determinadas bajo la metodología de Holdridge. Los datos sugieren que la deforestación a nivel local causa la intensificación de la estación seca, aumentando el riesgo de incendios forestales.

Una serie de modelos climáticos globales indican una reducción en la nubosidad, especialmente en el aumento altitudinal de la base de la nube en sistemas montañosos. Los cambios climáticos parecen ser muy próximos y ya han empezado a alterar el equilibrio actual dinámica del bosque nublado, incluso pueden inducir su extinción. Los resultados se incluyen la pérdida de biodiversidad, cambios de altitud en las gamas de las especies y las remodelaciones posteriores de la comunidad, y posiblemente un cambio en

el cambio drástico de los bosques tal como los conocemos hoy. Entre las principales causas que se han evidenciado están que la adaptación de los bosques nublados no responde a las tasas del cambio climático. Entre las principales dificultades para sobrevivir en las migraciones inducidas por el clima de las especies de bosque de niebla no incluyen una reubicación espacial adecuada (Foster, 2001). Las epifitas características del bosque nuboso desempeñan un papel importante a la luz, los ciclos hidrológicos y de nutrientes de la bosque nublado y son especialmente sensibles al cambio climático atmosférico, especialmente a los cambios en la exposición a la humedad. Del mismo modo, se afecta la redistribución de los animales de este tipo de bosque, especialmente de ranas y lagartijas. La muerte de animales o plantas epífitas pueden tener efectos en cascada en la cadena alimenticia y ciclos del bosque nublado de la vida. Aparte de los cambios de temperatura, precipitación y nubosidad, otros cambios climáticos puede incluir el aumento de intensidad y duración de las estaciones secas, las sequías, los huracanes y las intensas tormentas de lluvia, todo lo cual podría incrementar el daño al bosque de nubes. (Foster, 2001; Bruijnzeel, 1990).

## 8 Consideraciones finales.

### Aspectos ecológicos relevantes

El componente que presenta mayor estudio científico es la vegetación. La cual actúa como indicadora incluso de procesos hidrológicos a nivel de microhabitat. Dichos estudios, aunque fragmentados y con diversidad de metodologías aplicadas, evidencian y confirman datos científicos preliminares, respecto a un altísimo valor de biodiversidad florística, ya que se estima que la RBSM alberga al menos 15% de las especies de flora de Guatemala. Existen cerca de 1000 especies documentadas en herbarios y obras clásicas de estudios florísticos. Además contribuye significativamente a mantener más del 30% de la diversidad florística de Guatemala mediante mantener procesos de conectividad con ecosistemas y ecoregiones circunvecinas.

En tal sentido la RBSM presenta condiciones hidrológicas, biogeográficas, microclimáticas, geológicas y edáficas excepcionales para presentar altos valores, probablemente entre los más altos de Mesoamérica, de diversidad biológica y altas tasas de endemismo, superiores al 13% a nivel nacional y superiores al 5% a nivel de la RBSM. Estos datos pueden aumentar significativamente con la realización de estudios detallados y debido a la destrucción de los bosques montanos en Guatemala y Centroamérica.

En el contexto del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas, se evidenció que la conservación de la RBSM es crítica, ya que esta constituye uno de los tres fragmentos forestales (alrededor del 10% de la cobertura nacional) que se pueden considerar “viables” y con valores de integridad mínimos (alta densidad forestal (mayor al 80%), tamaño adecuado (mayor de 50,000 ha) y representatividad de una ecorregión (mayor al 15% de la ecorregión bosques montanos de CA) adecuados para garantizar que se mantienen los procesos ecológicos y servicios ambientales (tal como la regulación hidrológica). Además es el único fragmento forestal de montañoso de tamaño considerable (mayor a 50,000 ha) desde el sur de México hasta Nicaragua.

Existen logros significativos respecto a la conservación y estabilización de la dinámica forestal en la zona núcleo de la RBSM ya que presenta tasas de deforestación relativamente bajas (0.3%), comparadas con la nacional (1.4%), la cual a su vez es una de las más altas del mundo y muestra la incapacidad del país para detener la deforestación. Es relativamente baja si se compara con otras áreas protegidas con categoría de conservación I y II de Guatemala, por ejemplo la Parque Nacional Laguna del Tigre y Reserva de Biosfera Chiquibul que son superiores al 2%. Además también es baja si se le compara con las tasas de deforestación de bosques montanos a nivel mundial (1.1%), lo que a su vez muestra que los ecosistemas montañosos son de los más amenazados a nivel mundial.

El ecosistema de bosque nuboso está seriamente amenazado por el cambio climático, existen fundamentos científicos que afirman que existe la tendencia a que aumente de altitud el punto de condensación y formación de nubes (Foster, 2001).

## Aspectos Hidroclimáticos relevantes.

Se evidenció que, que **la subcuenca San Jerónimo** presentó una disponibilidad, para el año 2008, de 153 millones de m<sup>3</sup>, aproximadamente la mitad disponible en caudal superficial y la otra mitad en caudal subterráneo. Presenta un caudal medio anual de 2.5 m<sup>3</sup>/s medido en el punto de aforo, el cual se encuentra en la hidroeléctrica San Isidro. Cuenta con un caudal específico de 11 lps/Km<sup>2</sup>,

En cuanto al uso del agua presenta los siguientes datos destacables: a) el uso no consumtivo, es decir, el agua que únicamente es derivada y aprovechada y devuelta al cauce del mismo cuerpo fluvial, asciende al 65% del caudal superficial en el punto de aforo. Este uso incluye a las dos hidroeléctricas, Matanzas y San Isidro. El beneficio económico bruto estimado es de Q 49 millones. Esta subcuenca destaca por el uso no consumtivo en toda la RBSM; b) el uso consumtivo de los recursos hídricos se estimó en al menos el 21% del caudal superficial del río y cuanta con un ingreso bruto de al menos Q 31.5 millones. Respecto al uso del agua para consumo de agua potable se estima de al menos el 0.4% del caudal superficial. Sin embargo presenta la tasa de deforestación más alta de las cuencas evaluadas y datos muy elevados de erosión potencial (7 ton/ha/año) debido, principalmente a la baja cobertura forestal que tiene.

**La subcuenca Teculután.** La disponibilidad de agua al año es de 174 millones de m<sup>3</sup>, lo cual es uno de los mayores caudales que drenan hacia el valle del motagua desde la RBSM. Cuenta con un caudal promedio anual de 4.9 m<sup>3</sup>/s. es una de las cuencas con mayor proporción de la disponibilidad del agua en caudal superficial (90%), es decir que únicamente cuenta con un aporte subterráneo de aproximadamente 11%. Esta característica contribuye sustancialmente a que esta subcuenca presente uno de los caudales superficiales específicos más altos, el cual es de 24.4 lps/Km<sup>2</sup>.

Respecto al uso del agua se tienen las siguientes estimaciones: a) el uso no consumtivo puede considerarse como no significativo, ya que actualmente no existen hidroeléctricas, de acuerdo a personal de Inversiones Pasabien se está planificando una; b) la subcuenca Teculután, volumétricamente, presenta uno de los usos consumtivos más altos de la RBSM y obviamente de las cuencas evaluadas. Se estima que el uso consumtivo asciende al 46% del caudal superficial. Lo cual genera un ingreso bruto de Q 98 millones. La población consume cerca de 1.3% del caudal superficial para abastecimiento de hogares.

Cabe destacar que no se consideraron muchos uso consumtivos de la industrias, tales como, embotelladoras, de agroquímicos, etc. que se encuentran ubicadas en la parte baja de la cuenca, o en área de influencia de la misma, ya que la información es poco detallada y fragmentada, además la mayor parte del abastecimiento de dichas industrias es de agua subterránea, que como podemos observar en diversos resultados de este estudio más pareciera indicar que es un manto acuífero regional del valle del Motagua que alimentado por la cuenca Teculután.

**La subcuenca Pasabien.** La disponibilidad de recursos hídricos se estimó en 105 millones de m<sup>3</sup>, lo cual es el más bajo entre las subcuencas evaluadas. De esta disponibilidad 69% drena superficialmente y 31% se estimó que era el caudal subterráneo. Asimismo, cuenta con un caudal promedio anual de 2.32 m<sup>3</sup>/s y cuenta con un caudal específico de 23.1 lps/Km<sup>2</sup>.

En cuanto al uso del agua se puede resaltar lo siguiente: a) uso no consumtivo. Existe una hidroeléctrica que deriva, usa y retorna recursos hídricos, aprovechándose del 44% del caudal superficial arriba del punto de aforo. Esta actividad genera Q. 32.5 millones de ingresos brutos.; b) el uso consumtivo de la cuenca porcentualmente es el más alto de las cuencas evaluadas, asciende a 50%. Esto genera unos ingresos brutos de Q 48 millones. Cabe destacar que esta cuenca, entre uso consumtivo y no consumtivo aprovecha cerca del 95% del caudal superficial. Este porcentaje se incrementa considerablemente en época seca. En cuanto a los indicadores de uso del suelo se evidenció una tasa de deforestación negativa y una tasa de erosión relativamente alta de 7ton/ha/año.

**La subcuenca Pueblo Viejo** La disponibilidad de recursos hídricos se estimó en 373 millones m<sup>3</sup>, la cual es la más alta de las cuencas evaluadas, incluso triplicando a la subcuenca Pasabien con un tamaño similar. De esta disponibilidad 72% drena superficialmente y 28% se estimó que era el caudal subterráneo, lo cual coincide adecuadamente con otros estudios realizados. Asimismo, cuenta con el caudal superficial promedio anual de 9.25 m<sup>3</sup>/s y cuenta con un caudal específico extraordinario de 62.2 lps/Km<sup>2</sup>, el cual es uno de los más altos de Guatemala y Mesoamérica, y obviamente es mucho mayor en las microcuencas de la parte alta de la subcuenca.

En cuanto al uso del agua se puede resaltar lo siguiente: a) uso no consumtivo. Con la información disponible se estimó que el uso no consumtivo es no significativo a pesar de ser una cuenca altamente productiva; b) uso consumtivo de la cuenca se puede considerar que casi todo este uso pertenece a agricultura de secano llegando a un porcentaje de 7.8% del caudal superficial. Cabe mencionar que es necesaria más investigación para determinar adecuadamente los ingresos brutos derivados de estas actividades que principalmente obedece a cardamomo y otros cultivos.

Cabe destacar que esta cuenca evidenció una deforestación anual cercana al 1%. Además se determinó una erosión potencial de 15 ton/ha/año, la cual es la más alta de las cuencas evaluadas.

**Dentro del análisis de activos y flujos socioeconómicos** del recurso hídrico se estableció que la hidroelectricidad produce en ingresos brutos promedio (uso no consumtivo del agua) Q 0.95 por m<sup>3</sup> de agua utilizada. Esta actividad generó Q 40 millones para la subcuenca San Jerónimo y Q 32 millones para la cuenca Pasabien. La actividad de agricultura bajo riego obtiene alrededor de Q 1.5 de ingresos brutos por m<sup>3</sup> de agua utilizada. En las cuencas que drenan al río Motagua los ingresos se estimaron en Q. 97 millones para subcuenca Teculután y para la subcuenca Pasabien Q 42 millones. Los usos de agua para consumo de hogares se estimó en promedio menor al 15 del caudal superficial. Los mayores ingresos a nivel de cuenca se da por la actividad de agricultura bajo riego.

Datos destacables respecto a la distribución de **usuarios de agua** se describen a continuación: a) dos hidroeléctricas aprovechan (de manera no consumtiva) en San Jerónimo el 65% del caudal superficial disponible anualmente en la subcuenca, con datos proporcionales mucho mayores en época seca; b) una hidroeléctrica utiliza cerca del 40% del caudal superficial disponible; c) la actividad de agricultura bajo riego en Teculután utiliza de manera consumtiva del 43% del caudal superficial anual; iguales proporciones se observan en Pasabien; d) los hogares consumen valores cercanos o inferiores al 1% del caudal superficial, aunque en estación seca.

## **Aspectos relevantes de los servicios hidrológicos de la RBSM.**

Tanto en la vertiente hacia el río Motagua (sur) como al río Polochic (norte) existen regiones bien diferenciadas respecto a los servicios hidrológicos que brindan los ecosistemas boscosos de la RBSM y con ello establecen vínculos entre los proveedores, sobre todo con los usuarios del servicio de regulación hidrológica. Los servicios de regulación hidrológica son: disminución del efecto de caudales máximos (inundaciones, daño a infraestructura, erosión y pérdida de la capacidad productiva y de almacenamiento de agua), principalmente durante la estación lluviosa; y caudales mínimos (desabastecimiento de agua para producción hídrica y consumo de hogares)

**En la vertiente sur, del Motagua,** se ha evidenciado que el ecosistema de pino encino juega un papel fundamental en la regulación hidrológica de caudales máximos (y sus efectos asociados tales como inundaciones, pérdida de infraestructura y erosión; obviamente que ocurren en estación lluviosa), ya que es en este ecosistema donde se presentan las intensidades de lluvia más altas más de 50mm/h (para el año hidrológico 2009-2010 en Teculután), los suelos presentan poca capacidad de almacenamiento de agua y la lluvia alcanza valores relativamente bajos (1400 mm en promedio anual). Esto es coherente con la baja tasa de formación de suelos y se evidencia una alta susceptibilidad a la erosión por las altas pendientes y porque es el sitio donde mayor avance de la frontera agrícola existe.

Ecosistema de bosque nuboso. Se determinó que el **bosque nuboso es fundamental para el abastecimiento hídrico en época seca.** Esto se realizó basado en datos de balances hídricos y delimitación de áreas de recarga hídrica, clasificación climática de la RBSM, propiedades hidráulicas de suelos, análisis de calidad del agua, especialmente valores de conductividad eléctrica en época de estiaje; diferentes proporciones de productividad hídrica específica de las cuencas, las cuales aparentan ser, directamente proporcional a la cantidad de bosque nuboso que se presenta en las partes altas de cuenca. Cabe mencionar que las intensidades de lluvia son generalmente muy bajas (<20 mm/h) y las cantidades de precipitación anuales son muy altas (más de 2000mm). En tal sentido es previsible que el 100% del caudal del río Teculután en los meses de noviembre 2009 a marzo 2010, es flujo captado y regulado por el bosque nuboso y que drena de manera hipodérmica y superficial en la cuenca. En este mismo sitios se observó que el caudal mínimo promedio de los últimos 15 años es superior a los 2m<sup>3</sup>/s, sin embargo este año descendió a menos 1m<sup>3</sup>/s.

**En la vertiente norte,** del Polochic, se evidenció el papel fundamental que juega el ecosistema boscoso, tanto el bosque nuboso alto y bajo, así como el bosque húmedo tropical premontano, ya que cumple funciones de captación (con uno de los caudales específicos más altos de los observados 62 lps/ Km<sup>2</sup>). Se evidenciaron valores mucho mayores en las microcuencas de de la parte alta con ecosistemas de bosque nuboso. Sin embargo al mismo tiempo presenta tasas de erosión potencial considerablemente altas (7 ton/ha/año), lo cual es un claro indicador que es uno de los sistemas con mayor susceptibilidad a aportar erosión. Cabe destacar que se encontraron datos extremos de precipitación mensual mayores a 1000 mm.

**Calidad del agua.** Es importante mencionar que los esfuerzos realizados hasta ahora para la toma de datos de calidad de agua son respetables y muy importantes para establecer una referencia y/o línea base. Sin embargo es destacable que la exactitud de los equipos utilizados no es la mejor, ya que se utilizan equipos portátiles ofrecen fallas y consecuentemente arrojan datos que no 100% confiables. No hay evidencia de

tendencias espaciales del comportamiento de las variables, incluso utilizando de referencia uno de los años con resultados con mayor coherencia. Es importante mencionar que los datos interanuales presentan una aparentemente menor coherencia.

Sin embargo los datos obtenidos hasta la fecha si evidencian claramente dos aspectos básicos. Primero, el agua de la RBSM es de altísima calidad para el consumo humano, agrícola e industrial, de acuerdo a los estándares de COGUANOR. Segundo, la actividad antrópica contamina, las fuentes superficiales de agua, incluso desde la parte alta y media de las diferentes cuencas monitoreadas. Esto se hace evidente, principalmente con los muestreos microbiológicos y su evaluación en base a COGUANOR. Cabe destacar que la presencia de oxígeno muestra que las aguas presentan alto potencial de ser tratadas. Es decir que con plantas de tratamiento es altamente factible y relativamente económico tratar las aguas tanto para consumo humano como para su descarga final (después de poblados).

**En el marco del cambio climático**, el bosque nuboso y otros ecosistemas de la RBSM, así como el conocimiento de los mismos, adquiere aun mayor relevancia respecto a los servicios de regulación hidrológica. En el año hidrológico 2009-2010, se pudo evidenciar una relación directa entre el fenómeno climático global denominado el niño y las condiciones de extremas de caudales muy bajos y la transición hacia caudales muy altos (previos y posteriores al niño), ambos extremos son altamente dañinos e irregulares. De acuerdo a las tendencias de los últimos sesenta años de monitoreo se esperan que estos eventos sean cada vez más frecuentes y dañinos. En este contexto los servicios hidrológicos adquieren mucho mayor relevancia, incluso ser críticos para evitar eventos de hambrunas

La incidencia del fenómeno el niño durante el año hidrológico 2009-2010 se considera que el principal factor que alteró severamente el ciclo hidrológico de la cuenca Teculután y la regulación de los recursos hídricos de la cuenca, principalmente de la siguiente manera:

- Disminuyó significativamente las precipitaciones en todos los ecosistemas (bosque nuboso (parte alta), bosque de pino encino (parte media) y bosque seco (parte baja)), alrededor de una anomalía del 50% inferior al promedio de entradas de agua. Es decir, llovió la mitad.
- Aumentan la temperatura, es decir, las demandas de la cobertura vegetal. Esto implica un mayor consumo de la cobertura vegetal 1 o 2 mm al día.
- Alteró la distribución de la precipitación, ya que esta se presentó durante muy pocos días y a intensidades relativamente altas. Al mismo tiempo se observaron períodos de sequía muy prolongados, es decir muchos días sin lluvia. Esto puede conducir con el tiempo a la parte baja a tornar el clima del área en un tipo mediterráneo (pocas cantidad de lluvia distribuida en muy pocos días)
- Alteró las intensidades de precipitación invirtiendo al inicio de la estación seca las mayores intensidades que se presentaron en la parte baja (bosque seco) y no en la parte media (bosque de pino-encino) que es donde se esperaban. Incluso es donde se presentaron al inicio de la estación lluviosa del año hidrológico 2010-2011.

Todas estas condiciones generan muy poca capacidad del ecosistema a almacenar agua y liberarla lentamente, es por ello que este año hidrológico disminuyó significativamente el caudal promedio de 4m<sup>3</sup>/s a 2 m<sup>3</sup>/s a nivel anual, y caudales mínimos menores a 0.5

m<sup>3</sup>/s, precisamente en la época seca cuando más se necesita y cuando se han llegado a estimar que la demanda es en promedio de 2 m<sup>3</sup>/s. Esto evidencia un gran déficit hídrico.

El Niño es un fenómeno que presenta una tendencia a presentarse con mayor frecuencia y a altas intensidades. Es previsible que se presenten eventos extremos de sequía durante cada 3 o 4 años cada década y eventos de revote (altas precipitaciones) inmediatamente después de estos períodos de sequía. Así como niñas intensas 1 vez cada 4 años. Por lo tanto una de las **primeras acciones para la adaptación al cambio climático** es contemplar acciones para disminuir el efecto de eventos extremos de caudales mínimos y caudales máximos, los cuales, de acuerdo a las tendencias actuales pueden ocurrir al menos un año si y uno no, es decir cada segundo año eventos de la alta intensidad del niño o niña y su efectos catastróficos en la economía y en la sociedad.

### **Amenazas sobre el bosque nuboso.**

Está comprobado que el bosque nuboso de la RBSM presenta datos extraordinarios, a nivel nacional y regional en Mesoamérica, respecto a sus características ecológicas, tales como alta diversidad biológica (especialmente el aspecto mejor documentado, la flora), alta tasas de endemismo florístico y conservación. Además se ha definido el rol crítico que presenta en la regulación y abastecimiento hidrológico, sobre todo en época seca en la parte media y baja de la cuenca por la cantidad de precipitación, bajas intensidades de lluvia y un número mayor de meses con lluvia y/o captación de la precipitación horizontal.

Además de las amenazas históricas y comunes a nivel mundial, ya conocidos comúnmente, tales como deforestación (una de los ecosistemas más destruidos a nivel mundial, 1.1% anual), el avance de la frontera agrícola, incendios, asentamientos humanos, extracción insostenible de bienes naturales (extracción de madera y cacería, por ejemplo); existen serias evidencias que el bosque presenta amenazas de su destrucción por parte del cambio climático. Este impacto está previsto en el corto plazo o ya presente. Obviamente, la declinación y/o destrucción del bosque nuboso conlleva consecuencias nefastas desde el punto de vista ecológico e hidrológico, alterando significativamente, además, los subsistemas social y económico,

**Cambios desde el punto de vista hidrológico y funcional del bosque nuboso.** Una de las características, de acuerdo al mapa climático, desarrollado en base a la metodología de Thornwhite, que presenta el bosque nuboso es la alta precipitación, temperatura fría (baja evapotranspiración) y sin escasez significativa de humedad en estación seca. Sin embargo (Deepak, 2006) afirma que existe una tendencia en el norte de Centroamérica a que marzo se presente más seco y con temperaturas más altas. Cabe mencionar (Guerra, 2010), que existe en el oriente del país una tendencia a aumentar la precipitación anual y la lluvia máxima en 24 horas. Además (Rosito, 2010) es previsible que exista una tendencia al aumento de fenómenos del niño y eventos de sequías asociadas para Centroamérica. Todo lo anterior influirá negativamente en cambios de los patrones de precipitación y nubosidad. Estos cambios pueden incluir el aumento de intensidad y duración de las estaciones secas afectando significativamente las características normales del bosque nuboso. Por otro lado, es previsible que las sequías, los huracanes y las intensas tormentas de lluvia, incrementen aun más y crear un efecto cascada al incidir en la incapacidad del bosque nuboso de reproducirse o mantener su estabilidad (Foster, 2001; Bruijnzeel, 1990). Existen grupos biológicos muy vulnerables a desaparecer debido a pequeños cambios de temperatura y distribución irregular de la humedad, estas son las

epífitas y las ranas y lagartijas. Con ello se puede distorsionar los flujos de materia y energía y a su vez disminuir aún más la capacidad de reproducción del bosque nuboso y con ello cambiar plenamente su interrelación con el ciclo hidrológico, así como el retroceso de este tipo de bosque para ser ocupado por bosques de los límites inferiores. Ejemplo de lo anterior es el avance de la zona climática de bosque húmedo con escasez de agua en la estación seca (ecosistema pino encino)

Basado en lo anterior es previsible que el bosque nuboso pueda disminuir su angosta faja altitudinal (2200-3000, promedio en barlovento), tener más eventos de sequía y con ello afectar severamente el flujo de agua superficial en la época seca. Por ejemplo, este año se observaron los caudales más bajos desde que se tiene referencia,  $<1\text{m}^3/\text{s}$ . La acumulación de factores puede ocasionar cambios tan severos como el desabastecimiento hídrico superficial en una cuenca como la de Teculután (sin recarga hídrica y con flujo hipodérmico), es decir, que se seque el río durante los meses de sequía más intenso marzo, abril, mayo. Este es un tema que merece atención y mayor estudio.

## 9 Anexos

Basado en lo anterior se emanan los siguientes proyectos a desarrollar en el corto y mediano plazo. Estos proyectos se presentan a nivel de ideas de proyecto y deberán consensuarse para desarrollar los perfiles de los mismos.

### 9.1 Proyecto Monitoreo eco-hidrológico de la RBSM:

- a) Objetivo generales.
- Mejorar el respaldo científico para el manejo y gestión de recursos hídricos y bienes y servicios naturales asociados, especialmente la biodiversidad.
  - Comprender profundamente el régimen hídrico de cuencas estratégicas y constituir la base para la modelación a nivel de mesoescala en la RBSM.
  - Constituir la red de instrumentos científicos e información de alertas tempranas y apoyo en emergencias (caudales máximos, caudales mínimos e incendios forestales)
- b) Objetivos específicos.
- Lograr la comprensión profunda del régimen hidrológico, de tal manera que se logren disminuir los efectos de los caudales máximos (inundaciones, daño de infraestructura, pérdida de capacidad productiva y de almacenamiento del suelo, erosión, etc.) y garantizar el abastecimiento hídrico en estación seca.
  - Comprender y tener capacidad predictiva de la distribución de la biota y técnicas de restauración de corrientes de agua.
  - Apoyo a la planificación de utilización sostenible de los recursos hídricos por la mejora de la resistencia, elasticidad y capacidad de almacenamiento temporal de corrientes fluviales.
  - Estimar la vulnerabilidad de los ríos, embalses, estuarios, infraestructura de captación y distribución de agua.
  - Definir cargas y flujos de nutrientes de sistemas acuáticos, los cuales dependen en gran medida de las perturbaciones inducidas por el hombre y de los sistemas bióticos.
  - Comprender las interacciones planta-ciclo hidrológico para mejorar la capacidad predictiva del régimen hidrológico como una base para la gestión rentable de los recursos hídricos y paisajes.
  - Emanar directrices para la adaptación al cambio climático al los actores locales y administradores de la RBSM.
- c) Área de influencia.
- Subcuencas estratégicas San Jerónimo, sistematizada Teculután, Pasabien, Pueblo Viejo y microcuenca Río Naranajo.
- d) Actores principales involucrados/ejecutores.
- Fundación Defensores de la Naturaleza, Fondo del agua, sector académico (IARNA/URL, CEA/UVG, CECON/USAC, FAUSAC) e Insivumeh. Municipalidades y comités de cuenca

## 9.2 Proyecto de abastecimiento de agua y regulación hidrológica

### a) Objetivo general.

Generar las condiciones físicas y sociales para asegurar el abastecimiento hídrico y la regulación hidrológica a nivel de cuenca, de tal manera que se reduzca la vulnerabilidad a desastres relacionados con el ciclo hidrológico y se promuevan acciones estratégicas de adaptación al cambio climático.

### b) Objetivos específicos.

- Fortalecimiento a los comités de cuenca.
- Desarrollar la infraestructura básica para almacenamiento y regulación del flujo hídrico durante eventos extremos en cuencas prioritarias.
- Desarrollar procesos de restauración hidrológico - forestal de las zonas críticas de regulación hidrológica a nivel de cuenca, con énfasis en bosques de rivera. Como segunda prioridad se deberán tomar áreas de restauración ecológica y reforestación masivas para la recuperación de la capacidad del suelo para almacenamiento de agua en partes media de cuenca.
- Desarrollar un sistema de apoyo tecnológico e incentivos financieros para el establecimiento de estructuras y prácticas de regulación hidrológica a nivel de cuenca con énfasis en las regiones de regulación hidrológica (parte media de la cuenca/zona de amortiguamiento).

### c) Área de influencia principal.

Subcuencas estratégicas San Jerónimo, sistema Teculután, Pasabien, Pueblo Viejo y microcuenca Río Naranajo. Además subcuencas priorizadas por Fondo del agua. El énfasis de las estructuras de almacenamiento y regulación hidrológica estará ubicada en la puntos de abastecimiento de agua y las acciones de restauración hidrológica debe dar énfasis a los ecosistemas de pino encino/parte media de la cuenca.

### d) Actores involucrados/ejecutores

Fondo del Agua, municipalidades, comités de cuenca, propietarios y comunidades de la parte media y baja de cuencas, así como asociaciones y usuarios de riego.

### **9.3 Proyecto de apoyo usuarios y proyectos productivos para el uso eficiente del agua y la conformación de fondos de apoyo a la captación y regulación hidrológica de la RBSM.**

a) Objetivo general.

Generar las condiciones físicas y tecnológicas para fomentar el uso eficiente del agua y la conformación de fondos de reinversión para la captación y regulación hidrológica de la RBSM.

b) Objetivos específicos.

- Fortalecer capacidades y acceso a paquetes tecnológicos para el uso eficiente del agua de usuarios de riego y piscicultura (modelo de proyecto de agricultura de precisión WWF).
- Fortalecer capacidades y acceso a paquetes tecnológicos para el uso eficiente del agua en actividades productivas.
- Generar capacidades y procesos tecnológicos para el desarrollo de proyectos productivos con el uso de recursos hídricos.
- Incorporar de beneficiarios indirectos de la producción hídrica de la RBSM (lago de Izabal, gobierno central, parte baja del río Motagua,

c) Área de influencia principal.

Principalmente, usuarios de riego en partes bajas. Usuarios de agua para piscicultura. Municipalidades y comunidades. Actores ubicados en áreas de influencia ubicados en los Valles Polochic y Motagua, Lago de Izabal y usuarios potenciales de los recursos hídricos de la RBSM.

d) Actores involucrados/ejecutores

Fondo del Agua, municipalidades, comités de cuenca, propietarios y comunidades de la parte media y baja de cuencas, así como asociaciones y usuarios de riego.

## 10 Bibliografía principal

Brown, M., & De la Roca, I. (1996). *A valuation analysis of the role of cloud forest in watershed protection*. Guatemala: RARE.

Bruijnzeel. (1990). *Hydrology of moist tropical forest effects of conversion. A State of knowledge review*. . Amsterdam: UNESCO, International Hydrological Programme.

Bruijnzeel, S. (2008). Demonstrating hydrological benefits from tropical reforestation efforts. (pág. 31). Amsterdam: Vrije Universiteit.

Bruijnzeel, S. (1999). Hydrology of Tropical Montane Cloud Forest: a reassessment. En I. H. Programme, *Second International Colloquium on Hydrology and Water Management in the Humid Tropics* (pág. 27). Panama: UNESCO.

Custodio, B., & LLamas, E. (2001). *Recarga Hídrica*. Madrid: Mundiprensa.

Daubenmire, D. (1988). *Ecología Vegetal. Tratado de autoecología de plantas*. México, D.F.: Limusa.

Deepak, R. (2006). Dry season clouds and rainfall in northern Central America: Implication on mesoamerican biological corridor. *Global and planetary change*, 54 (2006) 150–162.

Defensores de la Naturaleza. (2004). *Programa de investigación de recursos hídricos de la Reserva de la biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala: Defensores de la Naturaleza.

Dengo, G. (1968). *Estructura geológica, historia tectónica y morfología de America Central*. Guatemala : Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.

Dinerstein, E. O. (1995). *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. Washington D.C.: The World Bank and WWF.

Dix, M. A. (1997). Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for Their Conservation. Volume 3: The Americas. En S. H.-M.-L. Davis, *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for Their Conservation. Volume 3: The Americas*. Cambridge, England: UICN Publication Unit.

Estrada. (1999). *Distribución altitudinal de las comunidades forestales en la parte media de la subcuenca Río Raxón Tzunum (1200-2200 msnm), Reserva de biosfera Sierra de las Minas*. . Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

FAO. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Guía FAO Conservación*. México: FAO.

Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on. *Earth sciences reviews*, 55 (2001) 73–106.

Frumau, K., Bruijnzeel, L., & Tobon, C. (2006). *Hydrological measurement protocol for montane cloud forest. Annex 2, Final Technical Report DFID-FRP Project R7991*. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Fundación Defensores de la Naturaleza. (2003). *III Plan Maestro 2003-2008 de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala: Fundación Defensores de la Naturaleza.

García, G. (2007). *An ecohydrological and soils study in a montane cloud forest in the National Park of Garajonay, La Gomera (Canary Island, Spain)*. Amsterdam : Vrije Universiteit.

Gonzales, O. (1999). *Estudio cualitativo de la composición forestal remanente entre 400 y 1200 msnm, de la subcuenca Río Raxón, Tzunum, Reserva de biosfera Sierra de las Minas, Panzos, Alta Verapaz*. Guatemala: universidad del Valle.

Guerra, A. A. (2010). *Climate-related disaster risk in the mountain areas: the Guatemalan highlands at stat of the 21st century*. Oxford: university of Oxford.

Herrera, I. (1995). *Manual de Hidrología*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

IARNA. (2009). *Sistema Cuentas Ambientales y Económicas Integrado. Cuentas Integrada de Tierras y Ecosistemas*. Guatemala: IARNA.

Janauer, G. (2000). Ecohydrology: fusing concepts and scales. *Ecological engineering* , 9-16.

Kappelle, M., & Brown, A. (2000). *Bosques nublados del neotrópico*. San José, Costa Rica: INBIO.

Kimaro, D., Poesen, J., Msanya, B., & Deckers, J. (2008). Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interril and Ril erosion. *Catena* , 75 38–44.

Linsley, J. (1998). *Hidrología para ingenieros*. Distrito federal, Mexico: McGaraw-Hill.

Linsley, R. J. (1988). *Hidrología para ingenieros*. México: Mc Graw Hill.

Loening, L., & Markussen, M. (2003). *Pobreza, Deforestación y Pérdida de la biodiversidad en Guatemala*. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen.

Marcos, C. (1999). *Censo de Especies del género Quercus y su distribución geográfica en dos cuencas de la reserva de la biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala: Universidad del Valle.

Martin, E. M. (2003). *Local Knowledge of Biodiversity and Water Conservation within Multi-Strata Coffee Agroforestry Systems, River Hato Watershed, El Progreso Department, Guatemala*. University of Wales, Forestry . Wales: Forestry of University of Wales.

Martinez, N. y. (1998). *Hidrología Forestal*. Valladaolid: Universidad de Valladolid.

Mathewson, K. (2004). A century and counting: Geographical research on Guatemala a historical perspective. (L. S. Department of Geography and Anthropology, Ed.) *Geoforum* .

Medinilla, O. E. (1999). *Estudio florístico de la comunidad de pino encino de la cuenca Río Colorado, Zacapa*. . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Monslave, G. (2008). *hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.
- Núñez, O. (2005). *Fondo del agua Sistema Motagua-Polochic*. Guatemala: Defensores de la naturaleza.
- OMM, Organización meteorológica Mundial . (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. Washington: Organización Meteorológica Mundial.
- Postel, S., & Thomphson, B. (2005). Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Ecological Forum* , 95-108.
- Rosito, J. C. (1999). *Estudio florístico, edáfico y geológico de la comunidad del cipresillo (Taxus globosa Schlecht.) en los cerros Pinalón, Guaxabajá y Mulujá de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rosito, J. C. (2010). *Monitoreo hidrológico en la subcuenca Teculután / proyecto PESH*. Guatemala: WWF-CARE/IARNA.
- Sandoval, I. (1989). *Principios de riego y drenaje*. Guatemala: Facultad de Agronomía, Universidad de San carlos de Guatemala.
- Standley, P., & Steyermark, J. (1964). *flora of Guatemala*. Chicago: Natural museum Fieldiana Botany .
- Tobón, C. (2009). *Protocolo de mediciones hidrológicas, de erosión y biológicas en la cuenca del río Jequetepeque, Perú*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Toledo, E. (1997). *Fitodistribución de epífitas del género Tillandsia L. (Bromeliaceae: Tillandsioideae) en la Cuenca del Río Jones, Sierra de las Minas*. Guatemala: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Van Dijk, A. (2003). *Ecohydrology. Course Reader*. Amsterdam: Vrije Universitet.
- Vargas, J. M. (2001). *Caracterización de la comunidad de helechos arborecentes en la cuenca del río Naranjo*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Veliz, M. E., Cobar, A. J., Ramírez, F. J., & García, M. J. (2003). *La diversidad florística del Monte Espinoso de Guatemala* . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI, Proyecto DIGUSAC 2.55 58 p.
- Vora, R. (1994). *Recommendations on management of Sierra de las Minas Biosphere reserve, Guatemala*. Guatemala: Defensores de la Naturaleza.
- Zalewski, M. (2000). Ecohydrology — the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. 1 (16).

