

# **INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA**

**Dirección General de Investigación en  
Política y Economía Ambiental**

## **Potencial de Recarga de Acuíferos y Estabilización de Ciclos Hídricos en Áreas Forestadas**

---

**Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental, S.C.**

**2002**



**Instituto Nacional de Ecología**



# **Potencial de Recarga de Acuíferos y Estabilización de Ciclos Hídricos en Áreas Forestadas**

# ÍNDICE

**PAG**

<b>I</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
	<b>I.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO GAVILANES</b>	<b>2</b>
	<b>I.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PAISAJES</b>	<b>5</b>
<b>III</b>	<b>DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PAISAJES GEOECOLÓGICOS</b>	<b>9</b>
<b>IV</b>	<b>CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA CUENCA</b>	<b>28</b>
	<b>IV.1. DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO</b>	<b>39</b>
<b>V</b>	<b>DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE LA CUENCA</b>	<b>41</b>
	<b>V.1. INTENSIDAD DE USO DEL SUELO O APROPIACIÓN TERRITORIAL</b>	<b>41</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>49</b>
<b>VI</b>	<b>CICLO HIDROLÓGICO</b>	<b>53</b>
	<b>VI.1. MODIFICACIONES ANTRÓPICAS AL CICLO HIDROLÓGICO</b>	<b>56</b>
<b>VII</b>	<b>BALANCE HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO GAVILANES</b>	<b>57</b>
	<b>VII.1. PRECIPITACIÓN HORIZONTAL</b>	<b>57</b>
	<b>VII.2. CAPTACIÓN NETA</b>	<b>63</b>
	<b>VII.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL E INFILTRACIÓN</b>	<b>64</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>
<b>VIII</b>	<b>ZONIFICACIÓN HIDROECOLÓGICA PARA PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>	<b>73</b>
	<b>VIII.1. RIESGO DE DEFORESTACIÓN</b>	<b>73</b>
	<b>VIII.2. DISCUSIÓN</b>	<b>75</b>
<b>IX</b>	<b>ZONAS PRIORITARIAS PARA PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>	<b>77</b>
	<b>IX.1. AGUAS SUPERFICIALES</b>	<b>77</b>
	<b>IX.1.1. DISCUSIÓN</b>	<b>78</b>
	<b>IX.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	<b>80</b>
	<b>IX.2.1. DISCUSIÓN</b>	<b>81</b>
	<b>IX.3. ZONAS PRIORITARIAS POR SERVICIOS HÍDRICOS COMBINADOS</b>	<b>82</b>
<b>X</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>83</b>

# CUENCA DEL RÍO GAVILANES, MUNICIPIO DE COATEPEC, VER. CARACTERIZACIÓN GEOECOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los beneficios que ofrecen los bosques a nivel local, regional y, en algunos casos, mundial derivan de su valor como fuente de abastecimiento de agua, centros de diversidad biológica, origen de diversos productos madereros y no madereros, lugar de recreación y estabilizadores del suelo frente a los procesos erosivos. En general los bosques se han asociado con diversos servicios ambientales al nivel de cuenca hidrológica, destacando principalmente los siguientes:

1. regulación de los flujos de agua: mantenimiento del flujo en estación de seca y control de inundaciones;
2. conservación de la calidad del agua: control de la carga de sedimentos, control de la carga de nutrientes (p. ej. fósforo y nitrógeno), control de las cargas químicas y control de la salinidad;
3. control de la erosión y sedimentación;
4. reducción de la salinización del suelo/regulación del nivel freático; y
5. conservación de hábitats acuáticos (por ejemplo, preservación de la temperatura del agua, protección por sombra de ríos y corrientes, aporte de detritos leñosos al agua).

Por lo anterior, resulta importante desarrollar estudios que permitan demostrar esta relación bosques – agua como base para establecer programas de pago por servicios ambientales que promuevan la conservación de las zonas boscosas, particularmente de aquellas que se localizan en zonas montañosas caracterizadas por su fragilidad ecológica y los altos índices de marginación de sus habitantes.

En este sentido, el municipio de Coatepec, Ver. resulta una zona de interés para la realización de este tipo de estudios, ya que el abastecimiento de agua de la cabecera municipal depende del aporte de una pequeña cuenca (Río Gavilanes) caracterizada

por la interacción de diversos factores abióticos y bióticos que le confieren una alta fragilidad ecológica.

## **I.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA RÍO GAVILANES**

El área de trabajo se localiza en un sector de la provincia geológica del Eje Neovolcánico Transversal, caracterizado por su morfogénesis reciente así como su constitución litológica (rocas volcánicas). La posición en la ladera veracruzana de barlovento del Cofre de Perote hace que la cuenca del río Gavilanes esté expuesta abiertamente hacia los vientos alisios, los que cargados de humedad chocan con la estructura volcánica y ascienden hasta condensarse, provocando precipitación orogénica.

La cuenca del río Gavilanes, con una superficie de 36.8 Km<sup>2</sup>, se localiza al noroeste de los municipios de Coatepec y Xico, Ver. Una de las características relevantes desde el punto de vista ecológico es que esta cuenca presenta diversas condiciones climáticas, topográficas y biológicas en un espacio relativamente pequeño (15 kilómetros de longitud), lo que le confiere condiciones de ecotonía muy particulares:

1. La variación altitudinal es de 1,970 m ya que las alturas mínima y máxima son 1,180m y 2,960m, respectivamente.
2. Se presentan tres tipos climáticos predominantes: semicálido húmedo, templado húmedo y semifrío húmedo.
3. Desde el punto de vista hidrológico es una cuenca alta, caracterizada por la presencia de una densa red de drenaje en la que predominan los escurrimientos temporales y efímeros de primer y segundo orden, que expresan la intensidad de los procesos hidrológicos de precipitación y escurrimiento superficial, así como la juventud del paisaje.
4. Los bosques predominantes en la cuenca son: pino-encino, encino y mesófilo de montaña.

La influencia monzónica, la altitud y particularmente los tipos de bosque y de suelo, favorecen los procesos de almacenamiento de agua y precipitación, incluyendo la

precipitación horizontal o captación de agua de niebla que en estas zonas montañosas expuestas a los vientos alisios resulta un aporte fundamental de agua al sistema, principalmente en periodos de estiaje.

Por otro lado, las condiciones sociales y económicas que predominan en la zona han provocado prácticas de uso del suelo incompatibles con la conservación de los bosques y el recurso agua, y actualmente la cuenca ha visto reducida su superficie forestal drásticamente debido a la tala de bosques (pino, pino-encino y mesófilo de montaña) para venta de madera, y la posterior introducción de procesos productivos -ganaderos y agrícolas de bajo rendimiento- en zonas inadecuadas para estas actividades.

## **I.2. MARCO CONCEPTUAL**

La concepción científica sobre la Geoecología de los Paisajes (GP), como base para la planeación estratégica del territorio y la conservación de los recursos naturales, se concibe como un sistema de métodos, procedimientos y técnicas de investigación, cuyo propósito consiste en la obtención de una imagen sobre el medio natural (Mateo, 1991). Esta imagen se refiere no solo al conocimiento aislado de los componentes del paisaje: las condiciones hidro-climáticas, formaciones rocosas o depósitos, relieve, suelos, y comunidades vegetales y animales, sino a la forma en que ellos se organizan en el espacio constituyendo entidades naturales con límites definidos y con una estructura taxonómica: los paisajes, geosistemas, geoecosistemas, ecosistemas geográficos o Complejos Territoriales Naturales (CTN), todos ellos términos sinónimos.

Al disponer de una imagen integral de la cuenca del Río Gavilanes, es posible entender mejor los procesos naturales que la afectan y la caracterizan, así como las relaciones existentes entre sus unidades constituyentes y su difusión espacial. El clima, por ejemplo, posee una distribución zonal (zonas definidas por la latitud ó la altitud) y su ámbito de difusión es mucho más amplio que el de los suelos o las rocas, determinando a su vez el tipo de comunidades vegetales. Por su parte, los suelos, son el producto de la interacción del clima, tipo de rocas, vegetación y topografía en el tiempo, por lo que varían según sea la homogeneidad de dichos componentes. Por ello, la noción de paisaje es la que refleja con mayor nitidez la compleja interacción biótica-abiótica en la naturaleza. Con esta premisa, la evaluación de las relaciones

existentes entre el medio natural y el socioeconómico, así como las acciones y políticas recomendadas tendrán un sólido sustento teórico y operativo.

Existen diversas concepciones del término paisaje:

Urban *et al.* (1987) considera a los paisajes terrestres como un mosaico heterogéneo de formas del relieve, tipos de vegetación y usos de la tierra, un mosaico de parches, de patrones de componentes.

Rowe (1995), considera los paisajes como la escena visible de las formas del relieve, constituida por las interrelaciones del suelo, biota, clima y cuerpos de agua asociados.

UNEP (1992) (en Priego, 2002) propone la siguiente definición:

“Incluye la estructura geológica de la tierra, sus suelos, animales y vegetación, así como características de la actividad humana como los terrenos de cultivos, las plantaciones, los asentamientos y las industrias locales. Incluye así mismo, cuestiones estéticas sobre la naturaleza y la arquitectura y toda la ecología e historia de una zona”.

En todas estas definiciones está implícita la idea de la interacción entre componentes bióticos y abióticos en un espacio determinado. Sin embargo por considerarla la más completa, usaremos el concepto de Mateo (1984):

**Paisaje:** Sistema territorial compuesto por componentes naturales y complejos de diferente rango taxonómico, formado bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora de la sociedad humana, que se encuentra en permanente interacción y se desarrolla históricamente.

Por todo lo que implica, el paisaje, es objeto de estudio compartido por las ciencias naturales, sociales y también por las artes, pues sin duda, es fuente de sentimientos estéticos. En este trabajo utilizaremos la acepción científica del término, particularmente el enfoque geoecológico planteado por Mateo (1984, 1991, 2002).

## **II. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PAISAJES**

La cuenca del río Gavilanes se ubica en la ladera de barlovento del volcán Cofre de Perote. En esta posición, el área de estudio queda abiertamente expuesta a los vientos alisios cargados de humedad provenientes del Golfo de México, fenómeno meridional que recibe el nombre de influencia monzónica y juega un papel muy importante en el aporte de humedad y en la regulación térmica del paisaje. (Ver Mapa de Ubicación). Estas características favorecen el establecimiento de un sistema de erosión bioclimático agresivo que modela de manera diferencial el relieve.



Caída de agua del río Gavilanes en la localidad de La Granada

El área de trabajo se difunde desde los 1180 hasta los 2960 msnm, lo que condiciona la subdivisión del territorio en 2 pisos térmicos: la tierra templada y la tierra subtropical. Cada piso térmico tiene sus respectivas fajas de vegetación características: la faja templada está representada por los bosques de encino y de encino-pino, y en sus extremos altitudinales también se observan marcados ecotonos entre biomas vecino, en este caso, mientras se asciende en altitud se observan los bosque dominados por pinos y oyamel. Por su parte, a la faja subtropical le es típico el predominio del bosque mesófilo de montaña (caducifolio) así como formaciones ecotonales de selvas medianas (inexistentes en la cuenca) mientras se desciende en altura, y de pino-encino si se asciende.



Bosque mesófilo de montaña y cono volcánico en la cuenca del río Gavilanes

Otra característica fundamental de la cuenca es su constitución geológica, la cual es volcánica en su totalidad. Las rocas predominantes son andesitas, toba básica, y brecha volcánica intermedia, las cuales resisten de manera diferente los embates de los procesos erosivo-denudativos y de alteración química. Aunque todas ellas son ricas en materiales ferro-magnesianos, la toba básica y la brecha volcánica intermedia son las que poseen mayores concentraciones de  $Fe^{++}$  y  $Mg^{++}$ . La andesita está constituida principalmente por sílice, aunque también contiene concentraciones importantes de  $Fe^{++}$  en forma de anfíboles y piroxenos aislados.

En este contexto, de la relación entre la intensidad de los procesos endogénicos (en este caso el vulcanismo), la dureza de la roca y el clima durante largos períodos de tiempo, surge un mosaico heterogéneo de formas del relieve que van desde las superficies subhorizontales ( $< 2^{\circ}$ ) hasta laderas fuertemente inclinadas, abruptas, acantilados y, en sitios localizados, precipicios ( $> 65^{\circ}$ ). En cuanto a los tipos del relieve predominan las Montañas y los Lomeríos con diferente grado de disección vertical (diferencia de altura en un  $Km^2$ ).

Los materiales volcánicos expuestos a un régimen climático húmedo y con una potente vegetación capaz de aportar suficientes ácidos orgánicos, provocan el desarrollo de los suelos rojos y amarillo-rojizos que son tan frecuentes y vistosos en el área de estudio; este proceso edafogénico se conoce como ferruginización (suelos rojos abigarrados formados por la acumulación secundaria de óxidos de hierro y magnesio) y

ferralitización (suelos amarillo-rojizos formados por la acumulación secundaria de óxidos de hierro y aluminio).



Suelos volcánicos característicos de la cuenca Gavilanes

Todos estos suelos poseen influencia de minerales carentes de forma cristalina llamados materiales amorfos. Otra característica importante de estos suelos es su propiedad tixotrópica, la cual se puede comprobar presionando entre las manos el material del suelo que pasa del estado plástico al líquido. Ello posee una connotación hidroecológica muy importante, pues el agua contenida entre los poros del suelo es "economizada" durante todo el año, liberando pequeñas cantidades de agua higroscópica y así, regulando la recarga de los acuíferos y alimentando a las comunidades vegetales por escurrimiento lateral de agua -de las laderas a las cañadas- vía subsuperficial.

Hasta aquí hemos explicado de manera general las características naturales y la dinámica "natural" del área de trabajo. Sin embargo, resulta evidente que el paisaje que actualmente observamos es el reflejo de múltiples transformaciones antrópicas sufridas a lo largo cientos de años de explotación diversificada. Los tipos zonales de vegetación antes citados (bosque de pino-encino, encinares, bosque Mesófilo de montaña, etc.), son acaso modelos geográficos de referencia para nombrar al paisaje; sin embargo, por las investigaciones históricas y antropológicas realizadas en la región (Geréz, 1984; Herrador *et.al*, 1984; Zavala-Jiménez, 1977; y Prieto, 1968; todos citados por Hoffmann, 1993), se sabe que el territorio sujeto a evaluación ha sido objeto de múltiples sistemas de uso del suelo, destacando la extracción forestal (sobre

todo de pino y oyamel), la agricultura de papa y granos, y la consecuente actividad ganadera.

Los resultados de esta investigación son coincidentes con Hoffmann (1993), y sugieren un arreglo de las actividades productivas orientadas, favorecidas o limitadas por los pisos altitudinales, donde la población –autóctona o migrante–, se adapta a las condiciones que le impone el paisaje y a su vez lo transforma, extrayendo madera, resinas, flora, sembrando, introduciendo ganado, habitando, etc.

Así como las poblaciones humanas adquieren rasgos característicos de su paisaje circundante (p.e. economía, vestido, alimentación, carácter), el paisaje también adopta formas antrópicas siguiendo los patrones culturales de las poblaciones que lo trabajan (agricultura, pastizales, acahuales). Sin duda, estas modificaciones han alterado la estructura original y con ello el funcionamiento de los geosistemas de la Cuenca del río Gavilanes.

La reducción apresurada de las masas forestales ha provocado una considerable pérdida de biodiversidad, incremento en la susceptibilidad erosiva del paisaje, alteración de los procesos de formación del suelo, disminución de la humedad atmosférica (Capalcera, 1978 en Hoffmann, 1993) y en general un deterioro de las propiedades productivas y escénicas del paisaje. Las estrategias de conservación deben entonces enfocarse a revertir la tendencia evolutiva de estos patrones de cambio y para ello una premisa es comprender estos procesos.



Tala de bosques para madera



Procesos erosivos por deforestación

### **III. DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PAISAJES GEOECOLÓGICOS**

La caracterización geo-ecológica de la cuenca del río Gavilanes se puede esquematizar en 3 etapas fundamentales: trabajo previo de gabinete, trabajo de campo y síntesis cartográfica.

En la primera etapa de trabajo, se realizó una revisión biblio-cartográfica del área de estudio, consultándose fuentes oficiales INEGI (1984 y 1993): mapas topográficos escala 1:50,000 y mapas geológico, edafológico, efectos climáticos, aguas subterráneas y superficiales, y vegetación y uso del suelo a escala 1:250,000, así como investigaciones geográficas realizadas en la región por Rossignol (1987) y Geissert (1994).

En el caso de la vegetación se interpretaron los aero-materiales más recientes publicados para la zona, los cuales corresponden a las fotos 10 y 11 de la línea 183 del vuelo Perote de 1995 a escala 1:75,000, así como las fotografías 1:20,000 del mismo vuelo del año 1993. La información geográfica obtenida se incorporó en el sistema de información geográfica (SIG) ArcInfo V. 7.1 y ArcView V. 3.2, ESRI (1996) para facilitar su manejo posterior. Las bases de datos climatológicos se obtuvieron del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) a través del programa de extracción informativa ERIC II V.2.0 (2000).

La segunda etapa consistió en visitas al área de trabajo, en las cuales se ejecutaron estaciones de paisaje, analizando las principales características geomorfológicas, litológicas, edafológicas y biológicas de los geocomplejos. Esta información sirvió de base para el ajuste de los límites geoecológicas obtenidos en los análisis cartográficos.

En la tercera y última etapa se elaboraron los mapas temáticos y el mapa de paisajes Físico-Geográficos de la cuenca, el cual se basa en toda la información previamente validada y sistematizada. Para ello se seleccionaron los índices diagnósticos de las unidades geoecológicas aplicables a la zona de trabajo, los cuales se pueden apreciar en el cuadro No 1. Siguiendo el esquema de componentes naturales y su correspondencia estructuro-funcional e histórico-evolutiva en el espacio geográfico (Mateo 1984, 1991 y 2002) se logró el levantamiento de dos unidades en el nivel

superior (**2 sectores geográficos**), cinco intermedias (**5 localidades**) y setenta inferiores (**70 comarcas**). En esta fase resultó muy importante el auxilio de técnicas y aplicaciones SIG ArcInfo V. 7.1 y ArcView V. 3.2, ESRI (1996).

Los paisajes así delimitados son unidades integrales y objetivas del espacio geográfico, las cuales se pueden interpretar como ecosistemas (Priego-Santander, 2002). A continuación se hará la caracterización detallada a nivel de Sector y Localidad destacando sus características distintivas fundamentales desde el punto de vista ecológico (climático, litológico, edafológico y biológico).

Cuadro No 1. Índices diagnósticos utilizados en la delimitación de los paisajes físico-geográficos de la cuenca Gavilanes, municipios de Coatepec y Xico, Ver.

<b>SECTOR</b>	
Índices Diagnóstico	Ejemplos
1. Misma posición altitudinal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tierra subtropical con montañas y lomeríos húmedos.</li> <li>• Tierra Templada: con montañas, y lomeríos húmedos.</li> </ul>
2. Unidades morfométricas de cuarto orden y con igual macroexposición.	
3. Similar gradiente del régimen de humedecimiento climático.	

<b>LOCALIDAD</b>	
Índices Diagnóstico	Ejemplos
1. Comunidad territorial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montañas Medias (2001 - 3000) volcánico-erosivas, ligera a medianamente diseccionadas, formadas por Andesita, Brecha volcánica intermedia y Toba básica, con clima Templado Húmedo y Semifrío Húmedo, con Bosques Aciculifolios Esclerófilos, Bosques Latifolios-Esclerófilos, Bosques Latifolios y Vegetación Cultural sobre Andosoles.</li> <li>• Montañas Bajas (&lt;2000) volcánico-estructurales, ligera a medianamente diseccionadas, formadas por Toba básica, con clima Templado Húmedo y Semicálido Húmedo, con Bosques Latifolios-Esclerófilos, Bosques Latifolios y Vegetación Cultural, sobre Andosoles</li> </ul>
2. Igual tipo morfogenético del relieve.	
3. Homogeneidad litológica y/o del tipo de depósitos.	
4. Igual conjunto de grupos principales de suelos.	
5. Similares condiciones eólicas, fuentes de humedecimiento y del régimen hidroclimático local.	
6. Mismo conjunto de formaciones vegetales o tipo de cobertura de la tierra.	

<b>COMARCA</b>	
Índices Diagnóstico	Ejemplos
1. Asociación del mismo conjunto morfológico de mesoformas del relieve.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laderas muy fuertemente inclinadas (30° - 45°), muy húmedas, con encinar con elementos de bosque mesófilo de montaña sobre Andosol mollico.</li> <li>• Laderas ligeramente inclinadas (5° - 10°), húmedas, con acahual de bosque de pino-encino sobre Andosol ócrico</li> <li>• Valles erosivo - acumulativos de corrientes permanentes.</li> </ul>
2. Similar tipo y parecida intensidad de los procesos exógenos.	
3. Homogeneidad territorial del grado de humedecimiento.	
4. Predominio de un mismo conjunto de sub-grupos de suelos.	
5. Similar conjunto de comunidades vegetales y/o tipos de usos del suelo.	

## SECTORES GEOGRÁFICOS

Los complejos paisajísticos se distinguen según una colección de determinados índices diagnósticos (Ver Cuadro No 1), estas unidades tienen una estructura taxonómica definida, la cual se basa en el carácter jerárquico de los procesos naturales. Así, el clima es uno de los índices de diferenciación físico-geográfica que actúa a escalas mayores y sus efectos se manifiestan en grandes extensiones del territorio a excepción de algunas irregularidades azonales (sombras pluviales o inversiones térmicas).

La cuenca del río Gavilanes está dividida en dos grandes sectores geográficos: paisajes de la tierra templada, y paisajes de la tierra subtropical. Estos dos complejos geográficos están diferenciados por la altura absoluta y por el grado de humedecimiento climático. La subdivisión en pisos obedece al cambio en las condiciones de calor y humedad según el gradiente aero-térmico característico de la zonalidad altitudinal. El grado de humedecimiento climático no varía significativamente entre los sectores debido a que ambos presentan una misma macroexposición ante los vientos húmedos provenientes del Golfo de México; sin embargo, la redistribución de la humedad se presenta de manera diferencial en función de la disección vertical o altura relativa ( $m/Km^2$ ) y horizontal o densidad de drenaje ( $Km/Km^2$ ) del relieve.

Sector "A" Paisajes de la tierra templada con montañas y lomeríos húmedos.

Los paisajes de la tierra templada pertenecen a la ladera baja del Cofre de Perote, con orientación SO hacia los vientos alisios del Golfo de México. Dicha posición dota a estos geosistemas de características muy particulares, entre las que destaca la influencia monzónica, la cual tiene repercusiones importantes en el régimen de precipitación, grado de humedecimiento, suelos y comunidades biológicas. Factores adicionales de vital importancia en la humectación territorial son la nubosidad, tormentas eléctricas y niebla.

El sector de la tierra templada se desarrolla entre los 1801 y 3200 m.s.n.m., donde la temperatura promedio anual oscila entre los 12° y 20° C y la precipitación anual está en el rango de 1500-1900 mm, concentrándose en el período de junio a octubre.

Es necesario señalar que este sector posee una gran importancia ecogeográfica, pues en su interior se desarrolla una marcada faja ecotonal entre el bosque mesófilo-encinar y el bosque de pino-encino.

Taxonómicamente, este sector está compuesto por tres localidades, las cuales están ligadas por su génesis (volcánico-erosivas), aunque existen importantes diferencias desde el punto de vista morfométrico (Montañas y Lomeríos) e hipsométrico (altura absoluta) por lo que ecológicamente funcionan diferente, lo que se manifiesta en el carácter de las formaciones vegetales, las cuales, esquemáticamente, varían desde los bosques Latifoliados en las estribaciones bajas de este sector, los Latifolios-Esclerófilos en una posición intermedia y los Aciculifolios-Esclerófilos en las partes más altas de la cuenca.

En este contexto, en la cuenca Gavilanes existen suelos profundos derivados de materiales volcánicos bajo un régimen bio-climático que ha favorecido su desarrollo, ellos son los Andosoles. La diversidad climática y geomorfológica del territorio ha dado lugar a un mosaico bien diferenciado de usos del suelo, los cuales son básicamente agropecuarios, predominando en lo pecuario la cría de ganado vacuno, caprino y ovino.

**Localidad I.** *Montañas Medias (2001 - 3000) volcánico-erosivas, ligera a medianamente disecionadas, formadas por Andesita, Brecha volcánica intermedia y Toba básica, con clima Templado Húmedo y Semifrío Húmedo, con Bosques Aciculifolios Esclerófilos, Bosques Latifolios-Esclerófilos, Bosques Latifolios y Vegetación Cultural sobre Andosoles.*

Cuenta con una extensión aproximada de 17.5 Km<sup>2</sup>, distribuyéndose en forma de faja, desde la altura de la localidad de Micoxtla hasta el Ingenio del Rosario. En su interior se asientan pequeñas localidades dispersas como son Buena Vista, Loma Alta, El Carrizal, Mesa del Laurel y Tierra Grande. Esta unidad se caracteriza por el predominio del un clima Templado Húmedo con lluvias en verano y con influencia monzónica. La temperatura media anual oscila entre los 13° y 20° C, con verano corto (4 meses) y fresco (10°-22° C). Como generalidad, la temperatura del mes más frío puede llegar a ser hasta de 12°C.

La precipitación promedio anual es de 1970 mm y se concentra entre los meses de junio-octubre, presentando efecto de canícula en los meses de julio y agosto. Es un paisaje de poca oscilación térmica  $-6.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ - característico de zonas montañosas húmedas. La estación que mejor caracteriza esta faja climática es Teocelo (clave 30179) y las principales características climáticas se pueden observar en la tabla No 1 y el Climograma en la gráfica No 2. Es necesario resaltar el importante papel que juegan los fenómenos meteorológicos adicionales como fuente de humedecimiento del paisaje, tal es el caso de la cobertura del cielo y la niebla, ésta última funciona como agente de regulación térmica y de constante aporte higroscópico.

En promedio, esta localidad presenta 25 días con niebla, ajustándose a los meses de sequía –ver tablas No 2 y 4-, es decir, entre noviembre y abril. En contraste, la cobertura de cielo presenta una distribución ajustada a la marcha anual de la precipitación (comparar gráficas 2 y 7). En esta localidad los días nublados son relativamente pocos pues casi la mitad del año permanece con cielo descubierto o parcialmente descubierto. (Ver gráfica No 8)

Su constitución litológica es netamente volcánica, predominando rocas como Andesita, Brecha volcánica intermedia y Tobas piroclásticas. La historia paleogeográfica del sitio sugiere una morfogénesis volcánica, la cual, con el predominio de un sistema bioclimático agresivo, ha dado lugar a un remodelado erosivo y erosivo-denudativo borrando casi todos los rasgos estructurales del relieve. La interacción constante de un clima de este tipo con rocas volcánicas ricas en hierro ( $\text{Fe}^{++}$ ), aluminio ( $\text{Al}^{++}$ ) y magnesio (Mg), principalmente, ha provocado el desarrollo de suelos amarillento-rojizos y rojizos con espesos horizontes de acumulación de arcillas. Dicho espesor está en función del ángulo de inclinación de las pendientes aumentando a medida que la pendiente disminuye y el grado de humedecimiento (en función a la Disección Horizontal y Vertical del Relieve). Debido a su origen vulcanógeno, los suelos encontrados presentan una constitución química rica en materiales amorfos (minerales de bajo grado de cristalinidad), lo cual fue corroborado en las expediciones de campo; estas características hace que a nivel tipo los suelos sean clasificados como Andosoles.

A pesar de la unidad genética que caracteriza a esta localidad, existe una variabilidad litológica que aunada a la variabilidad geomórfica provocan la aparición de dos subtipos de suelo: mollicos y ócricos.

La historia paleogeográfica del sitio ha provocado el desarrollo de laderas con diferentes grados de inclinación, desde 10°-15° hasta >45°. En este contexto geográfico, las formaciones vegetales están limitadas por el cambio en el balance de calor y humedad según el gradiente de altura. Las formaciones características son: acahual de bosque mesófilo de montaña, encinar con elementos de bosque mesófilo de montaña, encinar y bosque de pino-encino. Destacan aquellos usos socioproductivos del suelo vinculados a la ganadería y extracción forestal como son los pastizales y pastizales con árboles, así como acahuales jóvenes de vegetación natural.

Lógicamente, los relictos de vegetación primaria han quedado restringidos a las cañadas o laderas abruptas, donde la ganadería o la agricultura se hace prácticamente imposible, representando más costos que beneficios. Consecuentemente, los remanentes de vegetación primaria presentan un alto grado de fragmentación y de presión de los usos circundantes. Por el contrario, todos aquellos lugares que permiten el uso ganadero extensivo o que soportan alguna carga agrícola, han sido utilizados y sobreexplotados hasta provocar procesos de deslaves o erosión lineal, lo que se logra apreciar con claridad en la estereovisión a escala detallada (fotografías aéreas escala 1:20,000).

La mayor superficie del ANP "La Cortadura" se localiza dentro de esta localidad, ocupando parte importante de las comarcas 3, 4, 7 y 8, correspondientes a laderas mediana y fuertemente inclinadas (15°-20° y 20°-30°) con encinar y elementos de Bosque Mesófilo de Montaña y Pastizales. El suelo característico es el Andosol mollico.

**Localidad II.** *Lomeríos Medios (2001 - 3000) volcánico-erosivos, mediana a fuertemente disecionados, formados por Brecha volcánica intermedia, con clima Semifrío Húmedo y con Bosques Aciculifolios, Esclerófilos y Vegetación Cultural sobre Andosoles.*

Con una extensión aproximada de 1.5 Km<sup>2</sup> este paisaje representa el piso altitudinal más elevado de la cuenca, con un predominio del clima Semi-frío Húmedo con lluvias en verano e influencia monzónica, la temperatura promedio anual es 16°C con una oscilación térmica extrema de 8°C. La precipitación anual asciende a 1970 mm. Como ya se ha mencionado, hay factores climáticos de suma importancia en el balance regional de la humedad como son: nubosidad, tormentas eléctricas y niebla. Esta

localidad presenta una gran similitud en las condiciones meteorológicas con la localidad I.

Una característica que diferencia a esta localidad de las restantes es su constitución litogénica, la cual corresponde a un derrame de Brecha volcánica intermedia del Terciario Superior, lo que queda en evidencia en la configuración de la red de drenaje (**Ver Mapa de Paisajes Físico-Geográficos**), la cual denota una carencia de control estructural. La expresión geomorfológica de este depósito es de lomeríos redondeados, y su propia constitución hace que exista un predominio de los procesos erosivos y erosivo-denudativos. Los suelos derivados de estos depósitos son alteraciones químicas de los feldspatos, micas y piroxenos, los cuales son ricos en  $Fe^{++}$  y  $Mg^{++}$ , de ahí las coloraciones amarillo-anaranjadas. Sin embargo, estos suelos presentan una matriz clara con moteados anaranjados debido a la alteración química del material original. Estos suelos se denominan Andosoles ócricos (FAO-UNESCO, 1998).

Por lo anterior, existe un predominio de pendientes suave a ligeramente inclinadas, lo que favorece procesos de asimilación antrópica como la ganadería. Sin embargo, en las cañadas y lugares que ofrecen menos posibilidades de explotación aún se conservan manchones de bosques de pino-encino y en partes también se observan parcelas forestales en proceso de recuperación (acahual de bosque de pino-encino).

Las características climáticas han favorecido la expansión de una agricultura de temporal, sobre todo maíz y papa, ésta última con rendimientos de hasta 17 ton/ha. En la pequeña porción de este geocomplejo que se encuentra dentro de la cuenca no se reporta la existencia de algún asentamiento humano.

**Localidad III.** *Montañas Bajas (<2000) volcánico-erosivas, medianamente disecionadas, formadas por Andesita y Toba básica, con clima Templado Húmedo, con Bosques Latifolios-Esclerófilos, Bosques Latifolios, y Vegetación Cultural sobre Andosoles.*

Este geocomplejo y la **Localidad I** solo se diferencian en cuanto a la posición altitudinal que ocupan al interior de la cuenca. La Localidad I se clasifica como una montaña media (H=2001 – 3000), mientras que este geocomplejo es una montaña baja (H=<2000). Los efectos de estas diferencias se aprecian con mayor claridad en

los factores del clima (temperatura y precipitación) y en el balance de calor y humedad (nubosidad, tormentas, evaporación, niebla), en el carácter de los suelos (características químicas, color, textura, estructura, espesor) y las comunidades vegetales (tipo de vegetación, estratificación, composición específica, grado de esclerofilia).

En esta localidad, la temperatura media anual se aproxima a 16.6°C; se considera un clima extremo, ya que la oscilación térmica es de 8°C. La precipitación promedio anual es de 1509 mm, concentrándose en el período de junio-octubre.

Como todos los paisajes de esta cuenca, sufre una fuerte influencia monzónica sobre el comportamiento hidro-climático local, particularmente homogeneizando el grado de humedecimiento del paisaje. Los eventos meteorológicos adicionales juegan un rol clave en la regulación de las tasas de evaporación y en el grado de humedecimiento del paisaje.

Las características climáticas de este geocomplejo corresponden a los datos de la estación Coatepec (clave 30026) y el comportamiento de las condiciones meteorológicas se puede visualizar en las tablas No 1, 2, 3 y 4, así como en las gráficas No 1, 5 y 6. En cuanto a las tormentas eléctricas, cabe señalar que esta localidad posee una marcada diferencia con las anteriores, pues el promedio anual es tan solo de 5 días al año, ajustándose a los tiempos de lluvias, sobre todo junio-agosto. En cuanto a la niebla, este paisaje presenta un promedio anual de 28 días de niebla y su distribución temporal es inversa a la precipitación.

Los principales constituyentes litológicos son rocas volcánicas como la Andesita (del Terciario Superior) y la Toba Básica (reciente, del Cuaternario), los cuales han sufrido intensos procesos de alteración química gracias a la agresividad del clima y la vegetación, provocando la aparición de Andosoles mollicos con altos contenidos de hierro y aluminio, de coloraciones naranjas y rojizas.

Geomorfológicamente, este geosistema es de origen volcánico, aunque no se descarta la participación de eventos neotectónicos en la formación del relieve; existe un predominio de pendientes fuertes entre 20° y 45°, lo que favorece la agudización de los procesos denudo-gravitacionales y erosivos. La vegetación está sumamente

transformada, aunque aún quedan relictos de encinar con elementos de bosque mesófilo de montaña, bosque mesófilo de montaña y acahual de bosque mesófilo de montaña, el resto del territorio está ocupado por pastizales ganaderos, algunos de ellos con árboles aislados.

### **Sector "B" Paisajes de la tierra subtropical con montañas y lomeríos húmedos.**

Este sector posee una extensión aproximada de 14.4 Km<sup>2</sup> difundiéndose en la porción SE de la cuenca del río Gavilanes. El rango hipsométrico en el que se encuentra este geosistema es 1201-<2000 m.s.n.m. Los climas dominantes son el templado húmedo – en la parte superior del sector– y Semicálido húmedo en la porción baja de la cuenca. Aunque todo el sector es de origen volcánico, hay dos localidades diferenciadas según la intensidad en que los agentes exogénicos han actuado sobre el modelado del relieve: paisajes estructurales y denudativos. Predominan los suelos volcánicos tipo Andosol, aunque también existen Phaeozem.

Desde la perspectiva geo-botánica, es un paisaje sumamente transformado por las actividades agrícolas (cultivo de café, principalmente) y ganaderas (pastoreo de vacas, cabras y borregos), pues 19 de las 23 comunidades de la cuenca se ubican en este sector, por lo que ha perdido considerablemente su atractivo natural no obstante la presencia de algunos relictos de encinares con elementos arbóreos y de bosque mesófilo de montaña.

**Localidad. IV.** *Montañas Bajas (<2000) volcánico-estructurales, ligera a medianamente diseccionadas, formadas por Toba básica, con clima Templado Húmedo y Semicálido Húmedo, con Bosques Latifolios-Esclerófilos, Bosques Latifolios y Vegetación Cultural, sobre Andosoles.*

Esta localidad ocupa la mayor parte del sector "B", pues tiene un superficie de 13.1 Km<sup>2</sup>; dentro de ella se asientan 10 de las 23 comunidades de la cuenca, entre las que destacan, Pueblo Viejo, La Piaña, Hayas Coatas, Filo La Granada, Amatitla, El Rosario, entre otras.

Climatológicamente, este paisaje está representado por la estación meteorológica Las Ánimas (clave 30087), que a pesar de su lejanía geográfica, se encuentra en la misma faja térmica, lo que se puede corroborar analizando el mapa de efectos climáticos (INEGI, 1984). En este paisaje, la precipitación anual asciende a 1279 mm al año, el grueso de la lluvia se concentra en el período de junio a septiembre, con una marcada canícula (junio-agosto). En las tablas No 1, 2, 3 y 4, se pueden consultar las peculiaridades climáticas de este territorio.

Destaca que es el paisaje de mayor influencia de niebla (promedio de 76 días/año), la cual se concentra entre los meses de noviembre-abril, acentuándose en el mes de febrero. En cuanto a las tormentas, su posición geográfica hace que sean mínimas (promedio de 5 días/año), en comparación con otras localidades (p.e localidad II) debido a que no hay barreras montañosas que favorezcan la frecuencia de este fenómeno.

Las rocas que constituyen el paisaje son de origen volcánico, específicamente toba básica del terciario superior, las cuales han sido drásticamente alteradas debido a las características climáticas anteriormente descritas, resultando suelos arcillosos profundos de coloraciones amarillento-rojizas, con un horizonte orgánico altamente desarrollado. Debido a la configuración geomorfológica del territorio, pendientes fuertes y abruptas (30°-45°), los suelos son altamente frágiles e inestables. En el esquema FAO-UNESCO, 1998, estos suelos corresponden a Andosoles mollicos.

Las laderas varían en su ángulo de inclinación aunque predominan las pendientes fuertes. La configuración de la red hidrográfica refleja un intenso proceso evolutivo, destacando un marcado control estructural. Debido a las peculiaridades ya descritas, la vegetación que aquí se desarrolla corresponde a un ecotono donde se combinan elementos de bosque mesófilo de montaña, bosque mesófilo de montaña propiamente dicho, y un variado mosaico de usos socioprodutivos del suelo, principalmente ganadería extensiva de vacunos, caprinos y bovinos y algunas parcelas de café, maíz y frijol.

**Localidad. V.** *Lomeríos Bajos (<2000) volcánico-denudativos, fuertemente disecionados, formados por Toba básica, con clima Semicálido Húmedo, con Vegetación Cultural, sobre Phaeozem.*

Esta localidad se desarrolla en la parte más baja de la cuenca. Por su posición altitudinal el balance de calor y humedad provoca un clima Semicálido húmedo con una temperatura media anual de 17.7°C; se considera un clima extremo pues presenta una oscilación térmica de 8.41°C. Las lluvias se concentran en los meses de mayo-octubre con una marcada canícula en los meses de julio-agosto, el total anual asciende a 1300 mm. La estación meteorológica de Bella Esperanza (clave 30015) caracteriza esta faja térmica. (Ver Tabla No 1, Gráfica No 4).

Por otro lado, la cobertura del cielo es un parámetro muy importante desde el punto de vista ecológico. Si comparamos dos geosistemas contiguos espacialmente: la cobertura de cielo en esta localidad (estación Bella Esperanza, gráficas No 11 y 12), con la de la localidad anterior IV (Estación Las Ánimas, gráficas 9 y 10), notaremos que existe un marcado contraste en cuanto a la distribución de los días nublados, medio nublados y despejados.

La localidad IV presenta un predominio de días nublados (46.2%) distribuidos homogéneamente durante el año, 29% medio nublados y solo 24.9% de días despejados. Contrariamente, en esta localidad el 46.2% del año permanece con cielo despejado, 32.8% con cielo medio nublado, y solo el 21% del año se torna nublado. Por lo tanto, es de esperarse que en este paisaje la cantidad de radiación solar recibida sea mayor, así como la evaporabilidad y la transpiración vegetal.

La combinación de rocas volcánicas (predominantemente Toba básica del terciario superior) y pendientes suaves y ligeras (3°-5° y 5°-10°) en un sistema bioclimático agresivo, indica una morfogénesis de tipo volcánico-denudativa, favoreciendo el desarrollo de suelos profundos con horizonte orgánico bien desarrollado, fértiles y, por las características geomorfológicas del paisaje, aptos para la actividad agrícola, los cuales se nombran Phaeozem háplicos según el esquema FAO-UNESCO (1998). Estas características han hecho posible el desarrollo de un intenso uso cafetalero, el cual es difícil de identificar por medio de fotografía aérea ya que la sombra de éstas plantaciones se asemeja al estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña, por lo que la fotointerpretación fue verificada con puntos de control en campo.

TABLA 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Sector (Mapa de Paisajes)	Estación	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Temperatura media del mes más cálido (°C)	Temperatura media del mes más frío (°C)	Oscilación Térmica (máx.-mín.) (°C)
"A"	Teocelo 30179	1970	17.0	20	13	6.83
	Coatepec 30026	1509	16.6	20	12	8.00
"B"	Las Ánimas 30087	1279	18.4	22	13	9.39
	Bella Esperanza 30015	1301	17.7	21	13	8.41

TABLA 2. EVENTOS METEREOLÓGICOS ADICIONALES

Sector (Mapa de Paisajes)	Estación	Días con Tormenta Eléctrica	Días con Niebla
"A"	Teocelo 30179	49	25
	Coatepec 30026	5	28
"B"	Las Ánimas 30087	6	76
	Bella Esperanza 30015	46	57

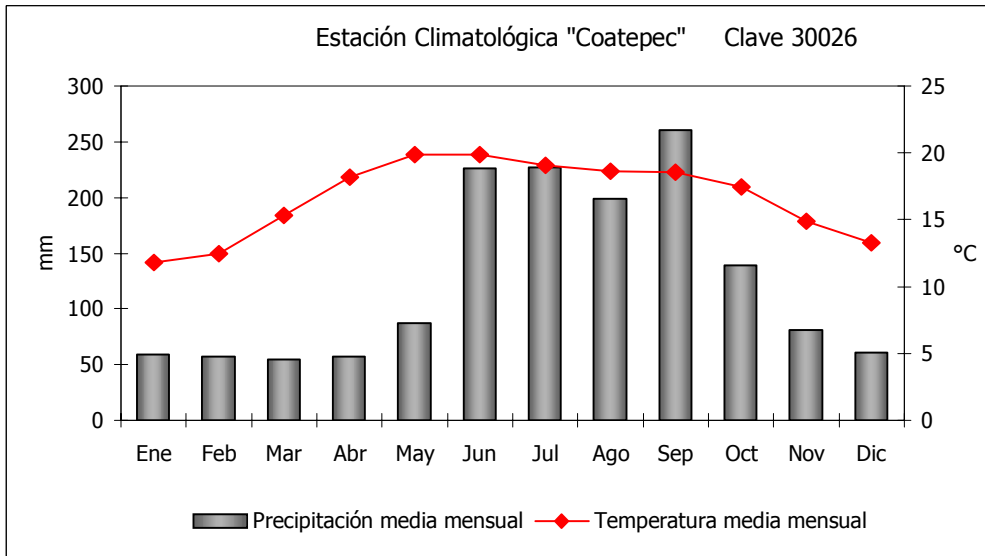
TABLA 3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LOS DÍAS CON TORMENTA ELÉCTRICA

Sector (Mapa de Paisajes)	ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
"A"	Teocelo 30179	1.6%	0.5%	3.1%	8.1%	16.2%	20.4%	18.0%	15.7%	11.5%	3.7%	0.8%	0.3%
	Coatepec 30026	0%	0%	2.9%	14.4%	7.2%	24.6%	7.2%	23.1%	13.0%	4.3%	2.9%	0%
"B"	Las Ánimas 30087	0.7%	1.3%	4.8%	4.8%	18.1%	32.4%	12.5%	11.1%	11.1%	1.4%	0.7%	0.7%
	Bella Esperanza 30015	0.7%	2.3%	5.3%	7.0%	12.9%	18.8%	13.0%	14.5%	14.6%	6.6%	2.8%	1.7%

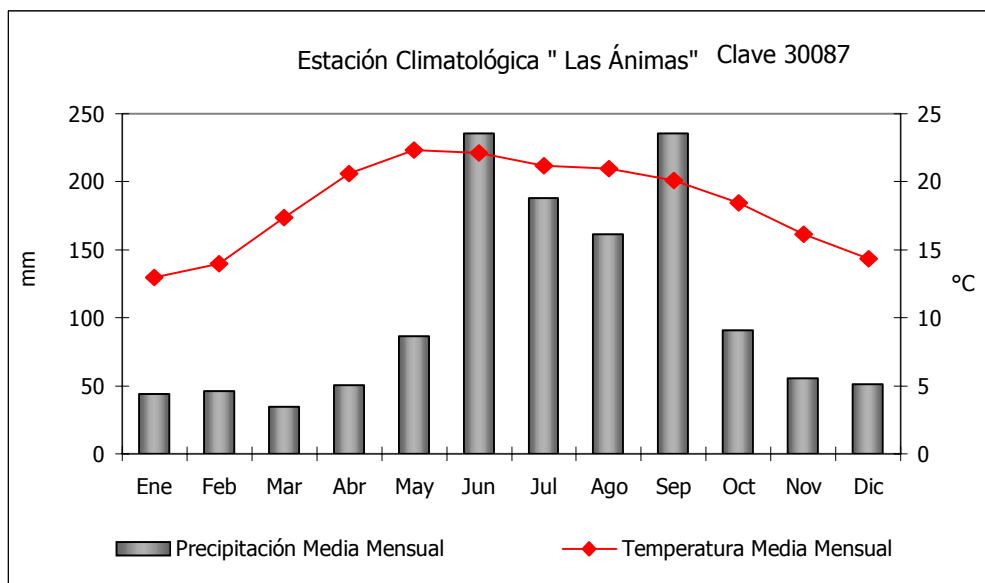
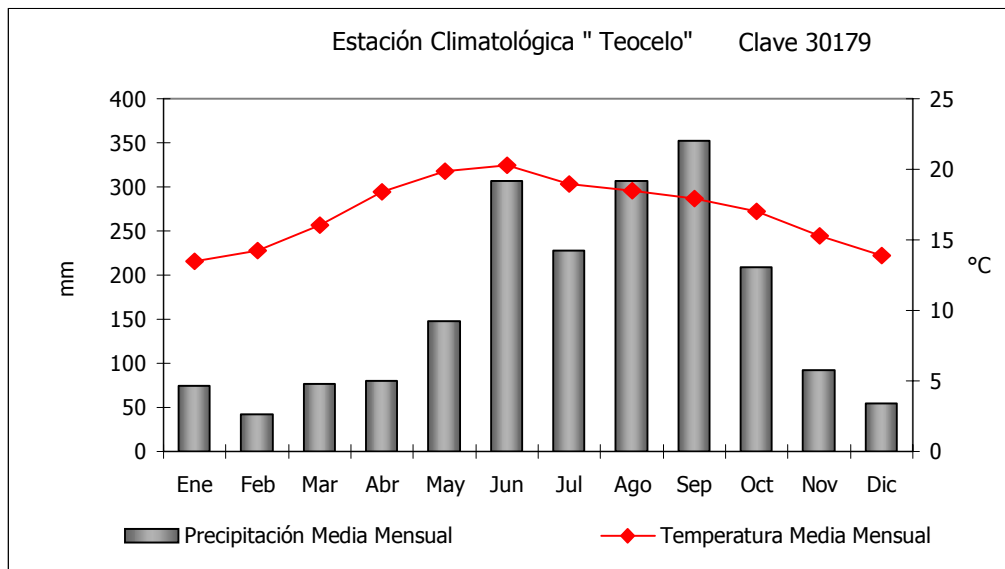
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LOS DÍAS CON NIEBLA

Sector (Mapa de Paisajes)	CLAVE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
"A"	Teocelo 30179	16.2%	25.0%	8.3%	11.8%	4.4%	3.9%	0.6%	0.5%	4.9%	5.9%	7.8%	10.7%
	Coatepec 30026	17.3%	23.9%	7.9%	8.3%	3.8%	5.1%	2.5%	0.3%	3.4%	4.5%	11.8%	11.3%
"B"	Las Ánimas 30087	12.2%	12.9%	8.9%	8.1%	4.5%	6.7%	5.1%	5.2%	6.7%	7.3%	10.5%	11.7%
	Bella Esperanza 30015	16.0%	16.6%	10.5%	8.2%	4.6%	4.6%	2.7%	2.6%	6.3%	5.7%	10.3%	11.9%

GRÁFICA NO 1. CLIMOGRAMA ESTACIÓN COATEPEC



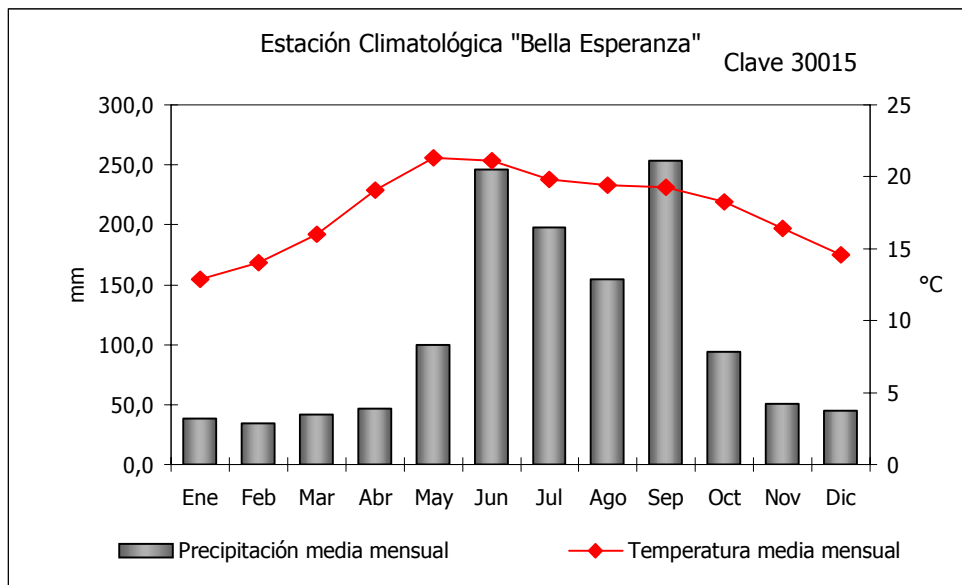
GRÁFICA NO 2. CLIMOGRAMA ESTACIÓN TEOCELO



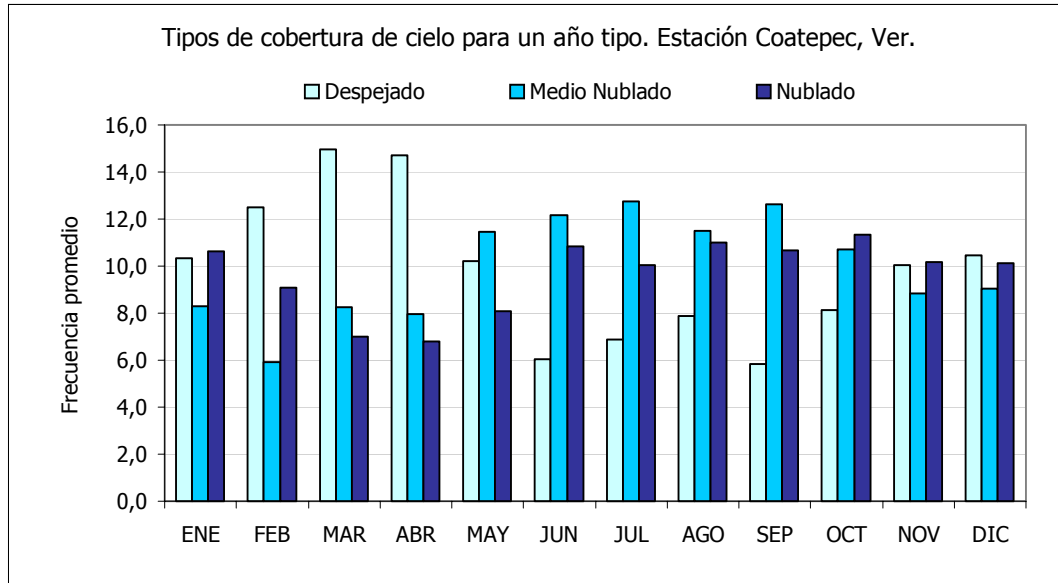
GRÁFICA NO 3.

# CLIMOGRAMA ESTACIÓN LAS ÁNIMAS

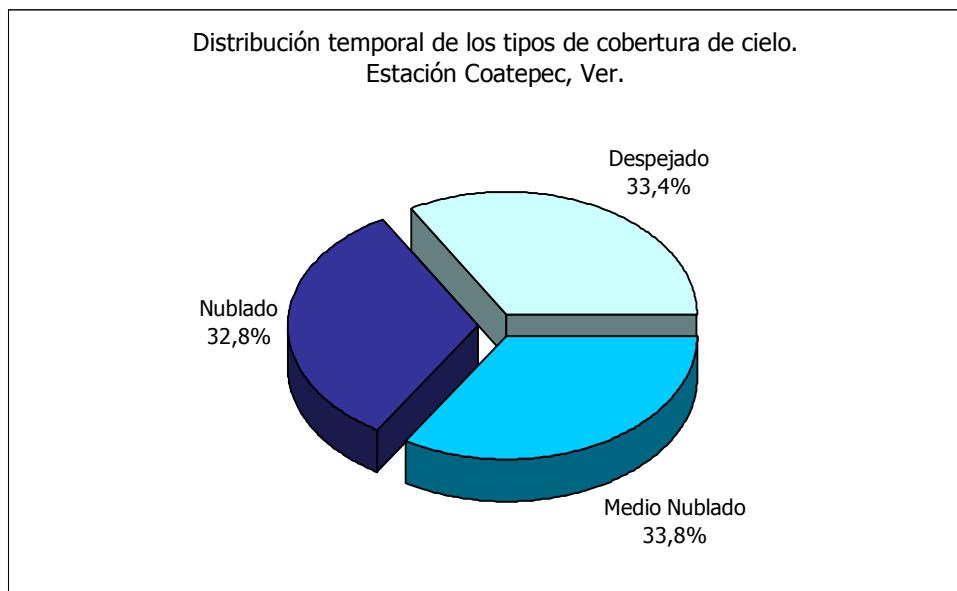
GRÁFICA NO 4.- CLIMOGRAMA ESTACIÓN BELLA ESPERANZA



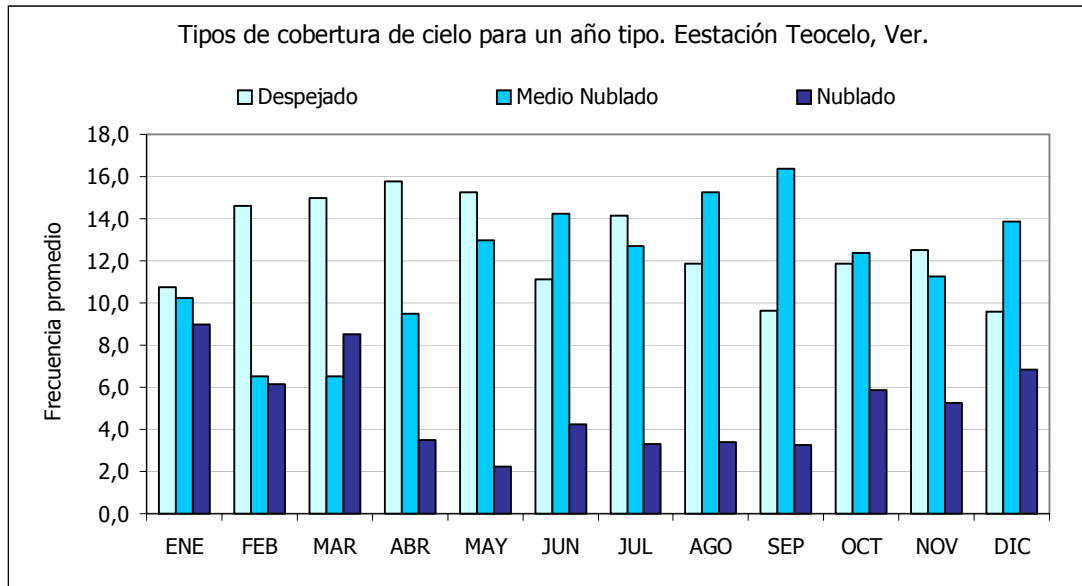
**GRÁFICA NO 5. COBERTURA DE CIELO, ESTACIÓN COATEPEC, VER.**



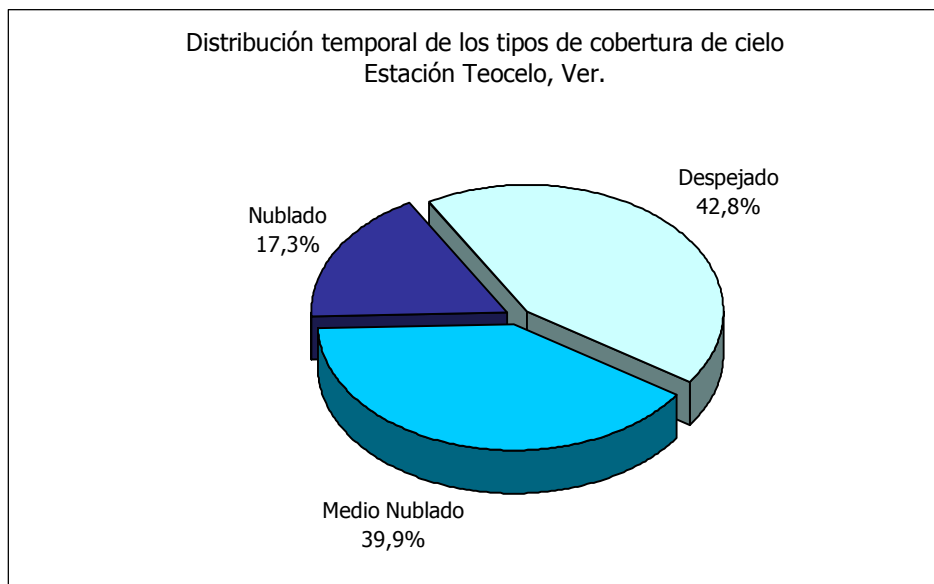
**GRÁFICA NO 6. COBERTURA DE CIELO, RESUMEN ANUAL, ESTACIÓN COATEPEC, VER.**



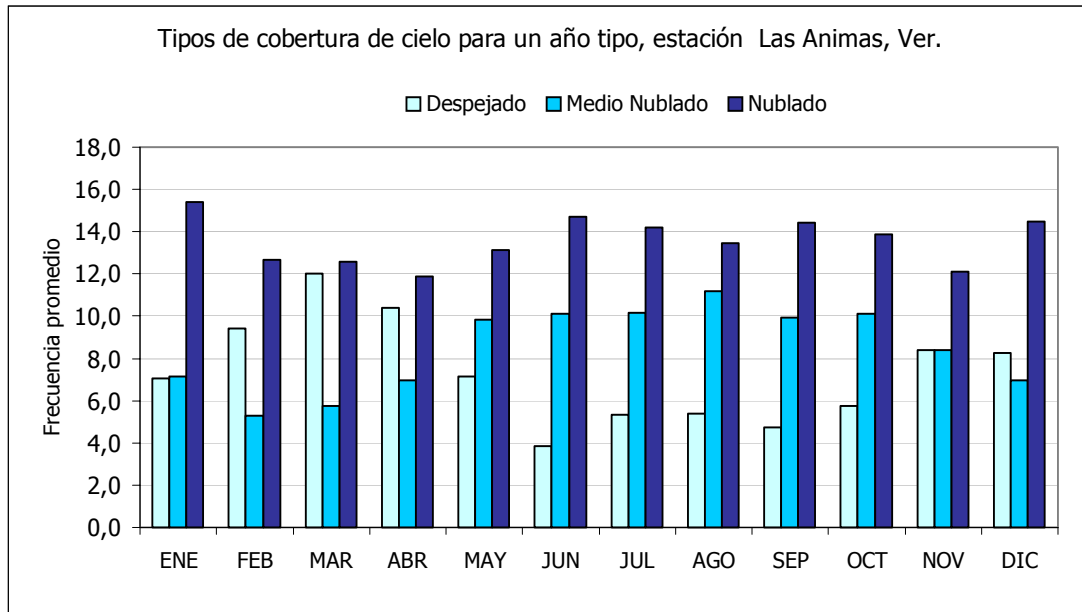
### GRÁFICA NO 7. COBERTURA DE CIELO, ESTACIÓN TEOCELO, VER.



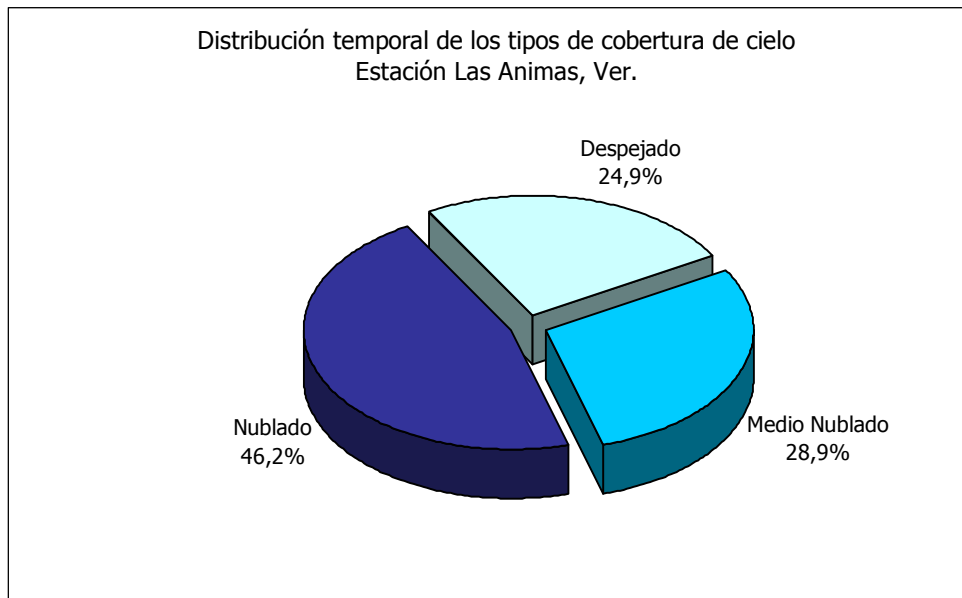
### GRÁFICA NO 8. COBERTURA DE CIELO, RESUMEN ANUAL, ESTACIÓN TEOCELO, VER.



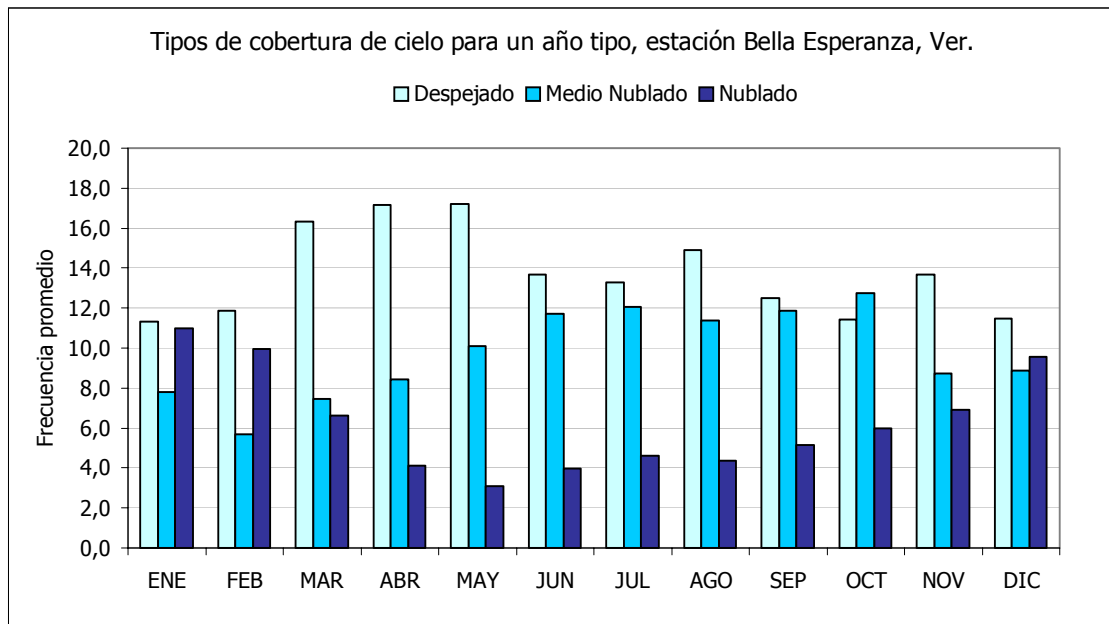
**GRÁFICA NO 9. COBERTURA DE CIELO, ESTACIÓN LAS ÁNIMAS, VER.**



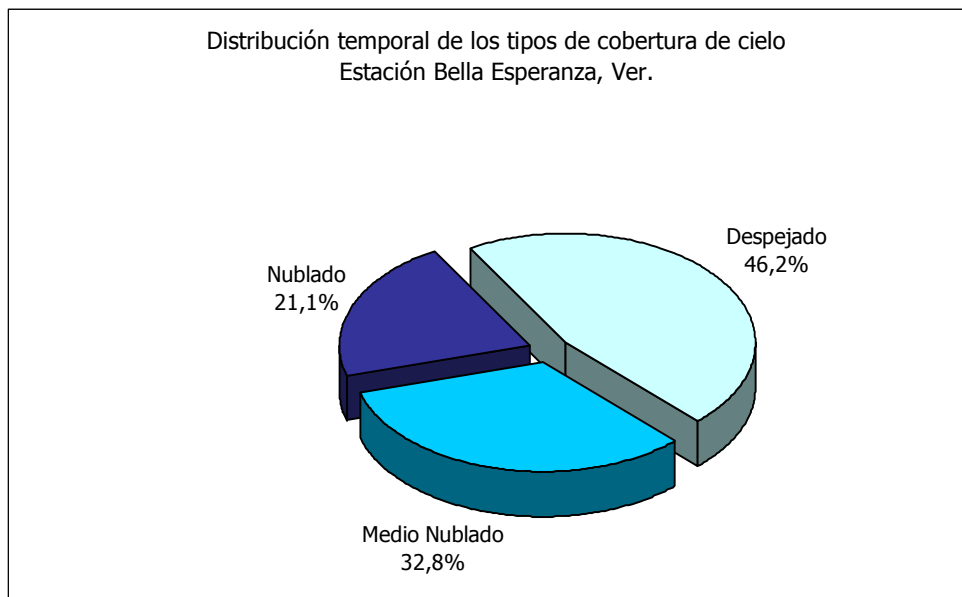
**GRÁFICA NO 10. COBERTURA DE CIELO, RESUMEN ANUAL, ESTACIÓN LAS ÁNIMAS, VER.**



**GRÁFICA NO 11. COBERTURA DE CIELO, ESTACIÓN BELLA ESPERANZA, VER.**



**GRÁFICA NO 12. COBERTURA DE CIELO, RESUMEN ANUAL, ESTACIÓN BELLA ESPERANZA, VER.**



#### IV. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA CUENCA DEL RÍO GAVILANES.

El municipio de Coatepec colinda al norte con Xalapa y Tlalnahuayocan; al sur con Teocelo y Jacumulco; al este con el municipio de Emiliano Zapata; y al oeste con Xico y Teocelo. El área del municipio es de 291 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 0.404% de la superficie del estado; tiene una población de 73,536 habitantes, equivalente al 1.06% de la entidad, y la densidad municipal es de 253 hab/km<sup>2</sup>.

La cuenca del río Gavilanes se localiza entre los municipios de Coatepec y Xico, en el estado de Veracruz y es la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Coatepec. El análisis socioeconómico de esta cuenca servirá como componente del diagnóstico integrado de la misma, en la perspectiva de elaborar un análisis enfocado a establecer un programa de pago por servicios ambientales.

#### **Localidades según número de habitantes en el municipio.**

El patrón de asentamiento de la población en el municipio de Coatepec no resulta distinto al observado en la mayor parte del territorio estatal y nacional.

LOCALIDADES SEGÚN NÚMERO DE HABITANTES. 2000

Habitantes por Localidad	Número de Localidades	Número de Habitantes	Por ciento de Localidades	Por ciento de Habitantes
1 – 99	82	1340	70.69	1.82
100 – 499	22	5449	18.97	7.41
500 – 999	5	3726	4.31	5.07

1000 – 2499	3	4154	2.59	5.65
2500 – 4999	2	7104	1.72	9.66
5000 – 9999	1	6424	0.86	8.74
15000 – 49999	1	45339	0.86	61.66
Totales	116	73536	100	100

Fuente: XII Censo de Población 2000. INEGI.

Así, si observamos la tabla anterior nos percataremos de que en el 70% de las 116 localidades tan sólo vive el 1.8% de la población total municipal. Es decir, que en 82 localidades con menos de 100 habitantes residen tan sólo 1340 personas, en tanto que el 60% de la población, 45 mil personas, habita en la cabecera municipal dando lugar a una gran dispersión-concentración de la población en el territorio, lo que agrava la dificultad para dotar de infraestructura básicos a todas ellas.

### **Crecimiento del número de las localidades y distribución de la población.**

El Censo de 1990 registró 59 localidades y 61,793 habitantes en el municipio. De acuerdo con el Censo 2000, en la actualidad existen 116 localidades y 73,536 habitantes. Como ya anotamos, 82 localidades tienen menos de 100 habitantes; 22 se ubican en el rango de entre 100 y 499; 5 localidades tienen entre 500 y 999 habitantes; 3 de ellas se ubican en el rango de entre 1000 y 2500 habitantes; 2 más tienen una población de entre 2500 y 4999; sólo una localidad se ubica en el rango de entre los 5000 y 9999, y una más que tiene más de 15000 habitantes (la cabecera municipal).

Área	Número de localidades	Participación en el Crecimiento de las	Concentración de la Población
------	-----------------------	--	-------------------------------

	1990	2000	Localidades del Municipio	1990	2000
<b>Cuenca</b>	7	16	15 %	0.7 %	0.6 %
Municipio	59	116	100 %	100 %	100 %

Fuente: XI Censo 1990 y XII Censo de Población 2000. INEGI.

En el periodo que va de 1990 al año 2000 se crearon 60 nuevos asentamientos en el municipio, 9 de los cuales se ubicaron al interior de la cuenca del río Gavilanes, los que representan el 15% del crecimiento habido en el municipio.

No obstante, la participación de la población de la cuenca como porcentaje del municipio tendió a disminuir en el mismo periodo al pasar del 0.7 al 0.6%. En números absolutos, la población pasó de 434 a 463 habitantes en una década. Si bien esta cuenca tiene una tasa de crecimiento poblacional positiva, aunque muy inferior a la del municipio, en números reales tan solo aumenta su población en esa década con 29 habitantes, lo que marca una desproporción muy marcada con el número de nuevos poblados creados en el mismo periodo. Lo que parece acontecer es que la población de la cuenca se encuentra en un proceso de redistribución espacial en su interior, manteniendo un equilibrio poblacional. En parte eso puede explicar que las tasas de crecimiento en el periodo 1990-2000 sean negativas para el conjunto de las localidades de la cuenca, es decir, no se trata de una zona expulsora de población.

### **Población Urbana y Rural**

De acuerdo a la manera en que la población se encuentra distribuida en las localidades podemos distinguir aquella población que se considera habitando en el medio rural de aquella que lo hace en condiciones de urbanización. De acuerdo a criterios del propio INEGI, se considera población urbana aquella que habita en localidades de 2500 y más habitantes. Bajo esta óptica tendríamos que el 80% de la población se encuentra viviendo en condiciones de urbanización, en tanto que el 20% lo haría en el medio rural. Sin embargo, otro de los criterios para establecer esta distinción es la que señala que debe considerarse urbana a la población residente en localidades de más de 15000 habitantes. De este otro modo

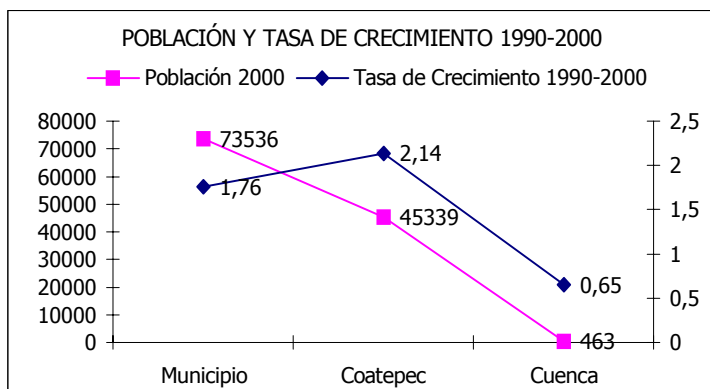
tendríamos que la población urbana en el municipio sería de 61%, en tanto que la rural agruparía al 39%. Bajo cualquiera de los criterios de distinción, es claro que la gran mayoría de la población del municipio se encuentra habitando en condiciones de urbanización debido sobretodo a su concentración en la cabecera municipal.

En el caso de las localidades que se encuentran en la cuenca analizada, todas ellas son consideradas rurales. Habría que señalar, sin embargo, que de acuerdo al censo de 1990 existieron dos localidades con 100 o más habitantes, en tanto que en el del 2000 ninguna localidad se coloca en esos parámetros, es decir, las localidades han tendido a disminuir su población.

### **Tasa de Crecimiento Poblacional y Social**

Entre 1990 y el año 2000 el municipio de Coatepec presentó una tasa de crecimiento poblacional de 1.76 promedio anual, superior a la del estado que fue de 1.04. No obstante, su tasa de crecimiento social muestra un carácter negativo de -0,03, indicándonos que es un municipio que presenta expulsión de población, aunque ésta sea muy débil.

Si bien este fenómeno se observa en el ámbito municipal, de acuerdo al Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca, así como a las tendencias demográficas analizadas, en la cuenca del río Gavilanes la emigración no es un problema aún.



Fuente: XI Censo 1990 y XII Censo de Población 2000. INEGI.

Tal como se puede apreciar en este gráfico, la tasa de crecimiento poblacional de la cabecera municipal es superior a la del propio municipio. La cuenca analizada, sin embargo, tiene ubicada su tasa muy por debajo tanto de la del estado como de la del municipio.

## Estimación de la población

Con base en los ritmos de crecimiento señalados anteriormente, en la tabla siguiente se presenta información acerca de las estimaciones de la población para los próximos diez años; tales cálculos presuponen que se mantienen invariables las tasas de crecimiento.

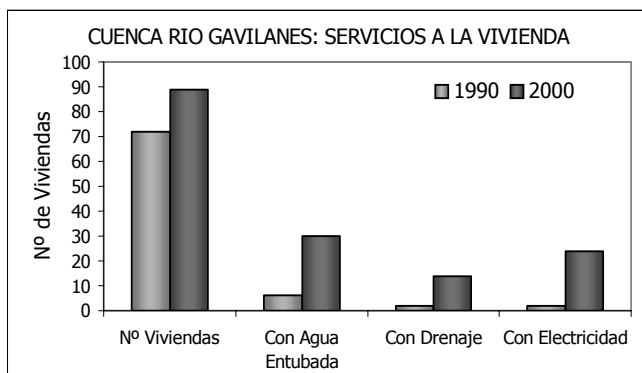
**PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN**

	2000	2005	2010
Cuenca	463	478	494
Coatepec	45339	50399	56024
Municipio	73536	80220	87511

Resulta claro que de mantenerse las condiciones para un crecimiento similar al mostrado en la década 1990-2000, la cuenca analizada aumentará su población con muy pocos elementos, situándose en cerca de los 500 para el año 2010. La cabecera municipal, por su lado, seguirá concentrando el crecimiento, esperándose que en el 2005 tenga una población de 50 mil habitantes, y para el 2010 una cercana a los 56 mil.

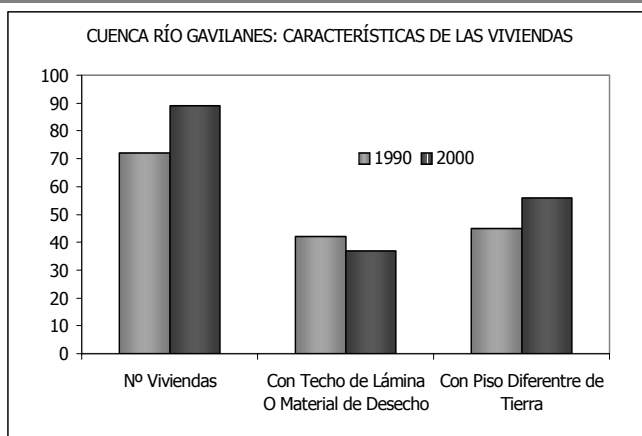
## Vivienda y Servicios

En la cuenca del río Gavilanes el número de viviendas varía muy poco entre un censo y otro. En 1990 existían 72, en tanto que para el 2000 se registran 89 viviendas. Ello se debe a que, como ya se indicó, la población tiene un ritmo de crecimiento poblacional bastante lento y, consecuentemente, las necesidades de nuevas viviendas son mínimas también.



Fuente: XI Censo 1990 y XII Censo de Población 2000. INEGI.

Llama la atención que la situación de las viviendas en cuanto a los servicios básicos con que cuentan tampoco ha variado sustancialmente, lo que denota que por alguna razón no han sido objeto de atención en estos aspectos. Así, tenemos que mientras que en 1990 solo 6 de las 72 viviendas tenían agua entubada, en el año 2000 la disponen 30 de 89; dos disponían de drenaje en 1990 y actualmente lo disponen 14; el servicio de electricidad lo poseen 14 viviendas de acuerdo al último censo, en tanto que en 1990 sólo lo tenían dos viviendas.



Fuente: XI Censo 1990 y XII Censo de Población 2000. INEGI.

Por otro lado, los materiales con se encuentran edificadas las viviendas no son los más adecuados. Una gran cantidad de ellas no cuenta con materiales permanentes ni en techos ni en pisos, por lo que las condiciones resultan francamente inadecuadas.

Con respecto al combustible utilizado en la preparación de los alimentos, de acuerdo a la información proporcionada en el último censo, tenemos que más del noventa por ciento de las viviendas de la cuenca utilizan la leña y sólo el 9% utiliza gas.

## Educación

En la siguiente tabla se presentan algunos de los indicadores sobre educación. Como se puede notar, el área de estudio revela condiciones adversas respecto al municipio y al estado en lo que se refiere a la tasa de alfabetismo y de asistencia escolar en el nivel de primaria. Consecuentemente, los niveles tan bajos en estos indicadores arrojan un grado promedio de apenas dos años y medio de escolaridad, situación que los coloca muy por debajo del promedio estatal y municipal. Por tanto, cualquier tipo de programa encaminado a la capacitación de los habitantes en algún rubro deberá tener presente la limitante de que sólo el 30% de la población, de acuerdo al censo 2000, es alfabeto.

ESCOLARIDAD	Tasa de alfabetismo	Tasa de Asistencia Escolar	Grado escolar promedio
Ciudad Coatepec	0.64	0.92	7.84
Cuenca Gavilanes	0.30	0.61	2.54
Municipio de Coatepec	0.62	0.90	7.14
Estado	0.56	0.90	6.42

Fuente: XII Censo de Población 2000. INEGI.

## Actividades económicas en el municipio de Coatepec

De acuerdo con el Censo Económico 1999 existen en el municipio 2,403 unidades económicas que ocupan a 6,853 personas. Agrupadas en grandes sectores productivos se tiene que la industria manufacturera representa el 15% de las unidades económicas y emplea al 40% de la planta laboral; en el sector comercio se encuentra el 50% de las unidades económicas y el 31% del personal empleado; dentro de los servicios (catalogados como no financieros) tenemos que, en lo que se refiere exclusivamente a las

actividades vinculadas al turismo y la recreación, representan el 12% de los establecimientos y emplean a 9% de los trabajadores; finalmente, en lo que hemos agrupado como otros servicios se ubican el 21% de establecimientos y el 19% del total de la planta laboral.

Dentro de las llamadas actividades manufactureras destacan las relacionadas con el beneficio y molienda de productos agrícolas, particularmente el café. Son importantes también la industria de la confección de prendas de vestir y las relacionadas con la fundición de piezas metálicas, también asociada a la industria cafetalera. En el sector comercio predomina el dedicado a las ventas al menudeo. Al interior del sector de servicios son importantes aquellos establecimientos dedicados a la prestación de servicios profesionales y de reparación y mantenimiento de distintos tipos de maquinaria. Desde luego, resultan también importantes los que se encuentran relacionados con el turismo y la recreación.

#### SECTORES PRODUCTIVOS MUNICIPALES

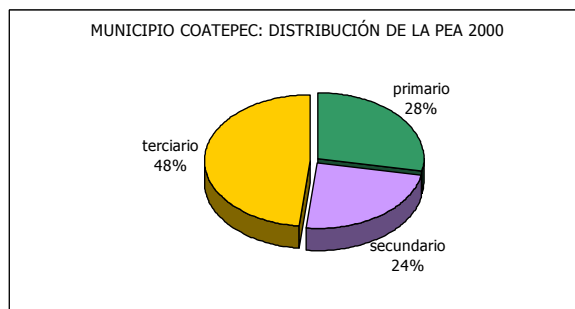
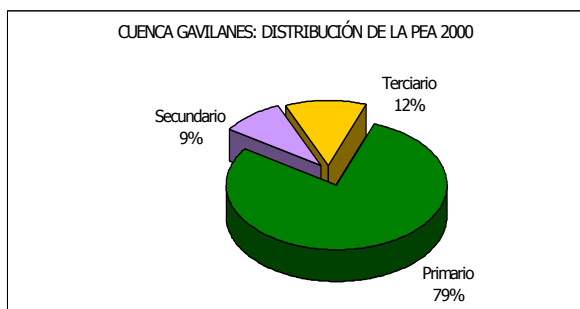
INDUSTRIA MANUFACTURERA		COMERCIO		SERVICIOS			
				RELACIONADOS CON EL TURISMO Y LA RECREACIÓN		DEMÁS	
Unidades Económicas	Personal Ocupado	Unidades Económicas	Personal Ocupado	Unidades Económicas	Personal Ocupado	Unidades Económicas	Personal Ocupado
367	2376	1211	2148	291	602	520	1305

Fuente: Censos económicos 1999. INEGI

#### Actividades económicas en la cuenca del Gavilanes

Las localidades de la cuenca se encuentran orientadas productivamente hacia las actividades primarias y por lo general con bajos niveles de incorporación tecnológica. Como puede observarse en las siguientes gráficas, el perfil laboral sectorial de la cuenca contrasta fuertemente con el del municipio: mientras que en éste último las

proporciones tienden a ser más equilibradas, en la cuenca del río Gavilanes la PEA dedicada a las actividades primarias agrupa a cerca del 80% de ésta.

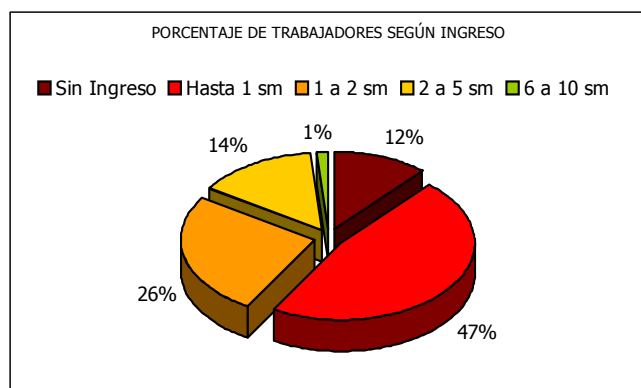


Fuente: XII Censo de Población 2000. INEGI.

Fuente: XI Censo 1990 y XII Censo de Población 2000.

INEGI.

### Ingresos por salarios en la cuenca



Fuente: XII Censo de Población 2000. INEGI.

De las 152 personas que conforman la población ocupada según el último censo, 16 de ellos no reciben ningún ingreso por sus tareas; 65 reciben el equivalente a un salario mínimo (s.m.); 36 reciben entre uno y dos s.m.; 20 perciben como retribución de su labor un salario ubicado entre los dos y cinco s.m.; finalmente, sólo 2 trabajadores reciben como ingreso un salario superior a los cinco s.m.

De acuerdo con el Programa Rector de Producción ya citado, el número de integrantes promedio de las familias que habitan en la cuenca es de 8 miembros; relacionando este promedio con el ingreso que percibe cerca del 80% de los trabajadores (incluidos los que perciben hasta dos s.m.), podemos afirmar que la capacidad adquisitiva de las familias resulta en la práctica sumamente crítica teniendo en cuenta, además, que en la zona el salario mínimo asciende a 38.30 pesos.

Tampoco las actividades agropecuarias resultan en ese aspecto satisfactorias, pues las condiciones de atraso tecnológico en que se practican, aunadas a las condiciones topográficas adversas, las hacen poco rentables.







Esta situación precaria, que se expresa en todos los aspectos (vivienda, educación, salud, etc) de la vida de los habitantes de esta región los ha llevado, desde hace mucho tiempo, a la búsqueda de alternativas que complementen el ingreso para la reproducción familiar.

## Prácticas productivas predominantes en la Cuenca del río Gavilanes

Las estrategias de supervivencia que han desarrollado los pobladores de esta cuenca consisten en la diversificación productiva, incorporando a la unidad familiar en las distintas tareas. Tales actividades pueden estar orientadas tanto a la satisfacción directa de las necesidades primarias, como puede ser la recolección de leña, como a la obtención de ingresos monetarios. En este último caso destaca la tala de árboles para la elaboración de vigas y tablonés de madera, la captura de aves de ornato, la extracción de maquique o de orquídeas para su venta. Desde luego, la variedad de actividades incluye la siembra de maíz y la práctica de una ganadería básicamente menor (cabras y borregos) ligada ésta última a la elaboración casera de quesos. Complementan estas actividades la práctica de una economía de traspato conformada por diversas aves y cerdos. Finalmente, dentro de las actividades no se excluye el hecho de que en ciertas épocas del año se emplean como asalariados.

De acuerdo al Plan Rector, la agricultura se encuentra representada por cultivos de maíz, papa, frijol y avena, normalmente con bajos índices de productividad. Con respecto al maíz, en promedio se cultiva una hectárea por agricultor, utilizando semillas criollas seleccionadas empíricamente y con rendimientos que varían desde los 400 kg/ha hasta los 1000 kg/ha, en dependencia principalmente de las características topográficas y el tipo de suelo de las parcelas. Este cultivo es de autoconsumo. Por su parte, la papa se cultiva también en pequeña escala, de media a una hectárea por agricultor, y su comercialización se realiza a través de intermediarios.

La ganadería practicada en esta zona es de tipo extensivo. Las condiciones poco favorables en que es llevada a cabo genera también bajos índices de producción: en promedio 5 litros de leche por vaca. La comercialización de la madera ha llevado a la deforestación del bosque: vigas, tablas, durmientes y carbón son el destino de decenas de árboles talados con una sola consideración: "el árbol está allí y necesito comercializarlo para sobrevivir junto con mi familia".

	
<p>Madera para vigas y tablonés</p>	<p>Ladera deforestada</p>
	
<p>Ganadería en valles y laderas</p>	<p>Cultivo de maíz en laderas con pendientes abruptas</p>
	
<p>Extracción de colmena de abejas nativas</p>	<p>Extracción de helechos arborescentes</p>

Por supuesto, la gran mayoría de estas actividades han resultado a la larga incompatibles con la preservación del entorno, y sus consecuencias se eslabonan en

una cadena ininterminable y progresiva de degradación tanto de las condiciones físicas del lugar, como de las posibilidades sociales de su aprovechamiento. Sin embargo, esta forma de aprovechamiento de los recursos naturales tiene su explicación en los niveles de marginación y las condiciones de vida que caracterizan a los pobladores de esta cuenca.

## Marginación

El índice de marginación es una manera de aproximarse a la desigualdad de oportunidades de participación en el proceso de desarrollo y el disfrute de sus beneficios. Indica directamente las privaciones de los habitantes de un lugar con relación a las variables (condiciones de vida) utilizadas en su construcción. Tal medida generalmente incorpora mediciones relacionadas con el rezago educativo, la ocupación de viviendas inadecuadas y el nivel de percepción de ingresos. Como resultado de ello, el índice de marginación permite identificar los lugares donde el menor desarrollo económico y social configura una precaria estructura de oportunidades sociales. (Conapo. Índices de Marginación por municipio 2000).

MUNICIPIO DE COATEPEC. LOCALIDADES POR GRADO DE MARGINACIÓN 1995.

Grado de Marginación	Número de Localidades
Muy Baja	12
Baja	8
Media	14
Alta	12
Muy alta	24

Fuente: Índices de Marginación 1995. CONAPO.

Atendiendo a los índices de marginación de las localidades del municipio para el año 1995, se observa que 12 localidades presentaron grado Muy Bajo; 8 se ubicaron con grado de marginación Baja; 14 localidades presentaban un grado Medio; Con grado de marginación Alta se ubicaron 12 localidades; por último, 24 presentaron un grado de marginación Muy Alto.

De las diez localidades existentes en la cuenca en el año de 1995, 8 de ellas presentaron grados de marginación catalogados como Muy Altos (ver siguiente tabla). Si bien esta información es del año indicado, no existen razones que sugieran que la zona ha cambiado en sus condiciones de vida en los últimos años, de forma tal que también se halla modificado significativamente su grado de marginación.

LOCALIDADES DE LA CUENCA GAVILANES POR GRADO DE MARGINACIÓN (1995).

NOMBRE DE LA LOCALIDAD	GRADO DE MARGINACIÓN
El Trianón	Media
Tapachapan	Alta
Cuesta del Pino	Muy Alta
El Pedregal	Muy Alta
Loma Alta	Muy Alta
Mesa del Laurel	Muy Alta
El Carrizal	Muy Alta
Puente Zaragoza	Muy Alta
Pueblo Viejo	Muy Alta
El Rosario	Muy Alta

Fuente: Índices de Marginación 1995. CONAPO

#### **IV.1. DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO**

La problemática que se presenta en la cuenca del río Gavilanes es múltiple, de diversos niveles de complejidad, y encuentra su origen en diversas causas subyacentes que se concatenan unas con otras.

Dentro del ámbito social, de acuerdo con los antecedentes descriptivos, es notorio que la población que habita en ella vive en condiciones no satisfactorias. Carencias básicas como la energía eléctrica, el agua y adecuados sistemas de drenaje, así como los bajos niveles de instrucción escolarizada, conllevan inevitablemente a que la zona en su conjunto presente grados de marginación que podríamos calificar de severos.

Por otro lado, tanto cuando se incorporan al mercado laboral, como cuando lo hacen como oferentes de productos, las desventajas con que lo hacen son patentes. Una mano de obra poco calificada (niveles de escolaridad) aunado a una limitada demanda y una deficiente red de caminos sumada a la baja calidad y productividad, dificultan por un lado, el acceso a mejores condiciones salariales, y por otro a mejores condiciones de intercambio de sus productos.

Otro de los problemas fundamentales presentes en la cuenca y ligado a las condiciones de supervivencia de sus moradores es el de la tala de árboles. Desde luego, se trata de una actividad que no por tolerada deja de ser ilegal.

Las formas de aprovechamiento de su entorno y las características que guardan las actividades agropecuarias (agricultura en laderas y sobrepastoreo) han generado problemas graves de deforestación y erosión, por mencionar los más preocupantes.

Resulta claro que las necesidades apremiantes de la población las ha conducido al establecimiento de relaciones altamente agresivas con su entorno; la degradación del ambiente, a su vez, imprime progresivamente una mayor adversidad a las mismas prácticas productivas. Es decir, nos encontramos frente a un proceso de *reproducción social-degradación del entorno* que se retroalimenta mutuamente. Aunque también es necesario señalar que las consecuencias tanto de la deforestación como de la erosión de los suelos tienen efectos más allá del territorio de la cuenca (pérdida de la capacidad de infiltración del agua de lluvia, y arrastre de sedimentos hacia los cauces de los ríos).

Las necesidades, entonces, también son variadas y de distinta índole. Sentar las bases para revertir la situación de atraso en la región implica generar, entre otras cosas, una serie de programas especiales de apoyo para la introducción de servicios como la energía eléctrica, el agua entubada, la instalación de sistemas de drenaje, y motivar la participación de los niños en los procesos educativos.

Por otro lado, las necesidades de transferencia de tecnología hacia las actividades agropecuarias de tal manera que incrementen la productividad de las labores, un programa de construcción y mejora de caminos, el fortalecimiento de las capacidades para el trabajo de los pobladores, así como el manejo sustentable de los bosques previa reforestación son acciones, entre otras, que deberán de impulsarse con la

participación de los pobladores de la zona para empezar a sentar las bases de un desarrollo que los involucre como beneficiarios primarios.

## V. DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE LA CUENCA GAVILANES

Una vez finalizada la etapa de caracterización geo-ecológica y socioeconómica del área de estudio, se procedió a hacer un diagnóstico integrado, analizando fundamentalmente el estado que guardan los recursos naturales en relación con los diferentes usos del suelo. Para este fin, resultaron muy útiles los mapas de Cobertura Vegetal a escala detallada (1:20,000) y el de paisajes hidrológicos que incluye información sobre hidrodinámica del relieve, tipos de suelos y pendientes (ver Mapa de vegetación detallada escala 1:20,000 y mapa de paisajes hidrológicos).

El análisis detallado de la cobertura vegetal es fundamental porque funciona como "eslabón" entre los procesos naturales de desarrollo vegetal (regeneración desde el – pastizal - acahual joven - acahual maduro - bosque primario) y la interrupción de éstos por diversas acciones antrópicas (tala, aclareo, manejo forestal, extracción no maderable, ganadería, agricultura, uso habitacional). Sin embargo, las pendientes, tipo de suelos, y la posición hidrológica de cada paisaje puede agudizar o minimizar su grado de **Fragilidad** y determinar en gran medida la **Intensidad de Uso** que se le puede dar.

Para los fines de un diagnóstico integrado se decidió construir los mapas de: **Intensidad de Uso del Suelo y Fragilidad Geoecológica**, mismos que dan un panorama general de la problemática socio-ambiental de la cuenca completa.

### V.1. INTENSIDAD DE USO DEL SUELO O APROPIACIÓN TERRITORIAL

En este estudio la intensidad de uso del suelo es un indicador cualitativo que refleja la suma de los impactos que un paisaje sufre debido al grado de artificialización del uso y la cantidad de usos distintos que se dan en una unidad de paisaje. Por lo tanto, para poder construirlo y cartografiarlo fue necesario conocer la diversidad de usos del suelo, entendida como la cantidad de usos diferentes que se dan al interior de una unidad de paisaje, elaborándose mapas parciales para cada uso del suelo. Como se verá después, el grado de artificialización juega como un factor de ponderación que refleja la profundidad en que el uso transforma al paisaje. Se construyó un modelo geográfico

de máxima probabilidad de aparición para cada uso del suelo y ellos están basados en la vegetación y la pendiente, como se muestra en las siguientes Tablas.

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO GANADERO BOVINO</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2° - 5°	4	1	Bosque denso de Pino-Encino	3
3	5° - 10°	4	2	Bosque ralo de Pino-Encino	5
4	10° - 15°	4	3	Achual denso de Bosque de Pino-Encino	3
5	15° - 30°	4	4	Achual ralo de Bosque de Pino-Encino	5
6	30° - 45°	3	5	Pastizal con árboles dispersos	16
7	45° - 60	2	6	Pastizal desnudo	15
			7	Cultivos Anuales	3
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	3
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	5
			10	Pastizal con pesma	12
			11	Achual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	3
			12	Achual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	4
			13	Cafetal de sombra	2

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO GANADERO OVINO-CAPRINO</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2° - 5°	2	1	Bosque denso de Pino-Encino	1
3	5° - 10°	3	2	Bosque ralo de Pino-Encino	8
4	10° - 15°	4	3	Achual denso de Bosque de Pino-Encino	1
5	15° - 30°	4	4	Achual ralo de Bosque de Pino-Encino	19
6	30° - 45°	3	5	Pastizal con árboles dispersos	6
7	45° - 60	2	6	Pastizal desnudo	6
			7	Cultivos Anuales	2
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	1
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	8
			10	Pastizal con pesma	8
			11	Achual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			12	Achual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	19
			13	Cafetal de sombra	2

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO AGRÍCOLA TEMPORAL</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	1

3	5°-10°	1	2	Bosque ralo de Pino-Encino	1
4	10°-15°	1	3	Achual denso de Bosque de Pino-Encino	1
5	15°-30°	1	4	Achual ralo de Bosque de Pino-Encino	1
6	30°-45°	1	5	Pastizal con árboles dispersos	1
7	45°-60	1	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	82
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	1
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Achual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			12	Achual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			13	Cafetal de sombra	1

### MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO AGRÍCOLA CAFETAL

Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	1
3	5°-10°	1	2	Bosque ralo de Pino-Encino	1
4	10°-15°	1	3	Achual denso de Bosque de Pino-Encino	1
5	15°-30°	1	4	Achual ralo de Bosque de Pino-Encino	1
6	30°-45°	1	5	Pastizal con árboles dispersos	1
7	45°-60	1	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	1
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Achual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			12	Achual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	1
			13	Cafetal de sombra	82

### MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO MADERABLE

Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	8
3	5°-10°	2	2	Bosque ralo de Pino-Encino	17
4	10°-15°	3	3	Achual denso de Bosque de Pino-Encino	7
5	15°-30°	3	4	Achual ralo de Bosque de Pino-Encino	8

6	30°-45°	3	5	Pastizal con árboles dispersos	1
7	45°-60	2	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	4
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	13
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	7
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	8
			13	Cafetal de sombra	12

### MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO EXTRACCIÓN DE TIERRA

Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	2
3	5°-10°	2	2	Bosque ralo de Pino-Encino	2
4	10°-15°	4	3	Acahual denso de Bosque de Pino-Encino	2
5	15°-30°	4	4	Acahual ralo de Bosque de Pino-Encino	2
6	30°-45°	3	5	Pastizal con árboles dispersos	2
7	45°-60	1	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	23
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	21
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	9
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	8
			13	Cafetal de sombra	7

### MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO EXTRACCIÓN DE FAUNA

Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	12
3	5°-10°	2	2	Bosque ralo de Pino-Encino	9
4	10°-15°	4	3	Acahual denso de Bosque de Pino-Encino	8
5	15°-30°	4	4	Acahual ralo de Bosque de Pino-Encino	6
6	30°-45°	4	5	Pastizal con árboles dispersos	2
7	45°-60	2	6	Pastizal desnudo	1

			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	12
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	9
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	8
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	6
			13	Cafetal de sombra	4

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO EXTRACCIÓN DE FLORA</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	2
3	5°-10°	2	2	Bosque ralo de Pino-Encino	2
4	10°-15°	4	3	Acahual denso de Bosque de Pino-Encino	2
5	15°-30°	4	4	Acahual ralo de Bosque de Pino-Encino	2
6	30°-45°	4	5	Pastizal con árboles dispersos	2
7	45°-60	2	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	23
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	21
			10	Pastizal con pesma	3
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	9
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	8
			13	Cafetal de sombra	6

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO EXTRACCIÓN DE LEÑA</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	12
3	5°-10°	3	2	Bosque ralo de Pino-Encino	8
4	10°-15°	5	3	Acahual denso de Bosque de Pino-Encino	7
5	15°-30°	5	4	Acahual ralo de Bosque de Pino-Encino	5
6	30°-45°	5	5	Pastizal con árboles dispersos	2
7	45°-60	1	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	12
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	8

			10	Pastizal con pesma	1
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	7
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	5
			13	Cafetal de sombra	10

<b>MODELO DE MÁXIMA PROBABILIDAD DEL USO ELABORACIÓN DE CARBÓN</b>					
Clave SIG	PENDIENTE	Ponderación	Clave SIG	VEGETACIÓN	Ponderación
2	2°-5°	1	1	Bosque denso de Pino-Encino	6
3	5°-10°	3	2	Bosque ralo de Pino-Encino	29
4	10°-15°	3	3	Acahual denso de Bosque de Pino-Encino	4
5	15°-30°	3	4	Acahual ralo de Bosque de Pino-Encino	8
6	30°-45°	2	5	Pastizal con árboles dispersos	2
7	45°-60	1	6	Pastizal desnudo	1
			7	Cultivos Anuales	1
			8	Bosque Mesófilo-Encinar denso	4
			9	Bosque ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	13
			10	Pastizal con pesma	1
			11	Acahual denso de Bosque Mesófilo-Encinar	2
			12	Acahual ralo de Bosque Mesófilo-Encinar	3
			13	Cafetal de sombra	1

Una vez finalizado el análisis de cada uno de estos modelos para todas las unidades de paisaje de la cuenca, se seleccionó aquellas unidades que más se acercaban al modelo teórico en cada uso del suelo. Una vez identificados, se codificaron en el SIG, de tal manera que hasta este momento, ya se conocía el número total de usos del suelo que se realizan en cada unidad de paisaje (**Diversidad de Usos del Suelo**). Se revisaron los resultados, observando que en una unidad de paisaje pueden producirse múltiples usos del suelo y aún así el paisaje puede mantener cierta naturalidad en su estructura, mientras que en otros geosistemas sucede que se presenta solamente uno o dos usos del suelo pero, por sus características excluyentes, esta actividad impide el desarrollo de otras, además de transformar fuertemente la estructura del paisaje (el mejor ejemplo de esto es la ganadería extensiva).

La artificialización de los usos se refiere a la profundidad de la huella que cada uso del suelo deja en el paisaje. La idea de ponderar el uso del suelo según su grado de artificialización se extrajo de las investigaciones realizadas por Godron (1983) y Poissonet (1983) y en algunos casos fue necesario ajustar la escala a las características propias del territorio. Este indicador nos refleja la fuerza invertida en la transformación del paisaje, la rudeza del uso del suelo para la integridad natural –particularmente sobre la estructura vertical de la vegetación– por lo que los sitios con mayor intensidad de uso del suelo son también los que presentan mayor deterioro ecológico. En la siguiente tabla se muestra el gradiente y los valores de ponderación utilizados en la fórmula.

ARTIFICIALIZACIÓN DEL USO DEL SUELO	VALOR PONDERADO DE LA INTENSIDAD DE USO
Agricultura de temporal	20
Ganadería bovinos	15
Ganadería caprinos-ovinos	15
Agricultura cafetal	12
Forestal extracción de madera	7
Forestal leña	2
Forestal tierra	2
Forestal flora	3
Forestal fauna	3

Esta visión nos permite utilizar el concepto de **Intensidad de Uso del Suelo**. La intensidad de uso del suelo (IUS) se puede expresar matemáticamente como la suma del factor ponderado de la *artificialización* para cada uso del suelo, sumado al número total de usos que en esa unidad se producen, de tal manera que la IUS puede medirse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{IUS} = \sum n^1(x^1)n^2(x^2) \dots n^n(X^n) + N$$

Donde:

IUS = Intensidad de uso del suelo

$n^1$  = Uso del suelo del tipo uno

$x^1$  = Factor ponderado de la *artificialización* para el uso del suelo de tipo uno

N = Total de usos del suelo en la unidad

El resultado del índice en cada unidad de paisaje se clasificó en 5 categorías (desde muy baja hasta muy alta) por el método de ruptura natural y se presenta en la cartografía correspondiente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CAPALCERA F. 1978. El problema de abastecimiento de agua potable de Xalapa. Tesis profesional. Fac. Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver.
- ESRI. 1996. Arc/Info Ver. 3.5, GIS. Environmental Systems research, Institute, Inc.
- ERIC II: Extractor Rápido de Información Climatológica. 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México DF.
- GEISSERT D, Dubroeuq D, Campos A, Meza E. 1994. Carta de Paisajes Geomorfoedafológicos de la región volcánica Cofre de Perote, Edo de Veracruz, México. INECOL, ORSTROM, CONACYT. Xalapa, Veracruz, México.
- HOFFMANN E. 1993. Rumbos y Paisajes de Xico. INECOL, ORSTROM,. Xalapa, Veracruz, México.
- GÉREZ P. 1984. Crónica del uso de los recursos naturales en la cuenca de Perote. En: El Cofre de Perote, investigaciones ecológicas en un área conflictiva, A. D. Golberg, comp., INIREB, Xalapa, Ver. pp 43-49.
- GODRON M. 1983. Le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et transcrption sur cartes perforées. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, France.
- HERRADOR J.L, García H. 1984. Análisis ecológico y económico del proceso productivo primario en una comunidad campesina del Cofre de Perote, Ver. Bases para el estudio, la planeación y el desarrollo comunitarios, Xalapa, Ver. 47 pp., inédito.
- INEGI. 1993. Carta Topográfica E14-B36, Escala 1:50,000. Dirección General de Geografía, NEGI. Aguascalientes Ags, México.
- INEGI. 1993. Carta Topográfica E14-B37, Escala 1:50,000. Dirección General de Geografía, NEGI. Aguascalientes Ags, México.

- INEGI. 1984. Carta Edafológica E14-3, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía, INEGI. Aguascalientes Ags, México.
- INEGI. 1984. Carta de Vegetación y Uso del suelo. E14-3, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía, INEGI. Aguascalientes Ags, México.
- INEGI. 1984. Carta Geológica E14-3, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía, INEGI. Aguascalientes Ags, México.
- INEGI. 1984. Carta de Aguas Superficiales. E14-3, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía, INEGI. Aguascalientes Ags, México.
- INEGI. 1984. Carta de Aguas Subterráneas. E14-3, Escala 1:250,000. Dirección General de Geografía, INEGI. Aguascalientes Ags, México.
- MATEO, J. 1984. Apuntes de geografía de los paisajes. Empresa Nacional de Producción y Servicios del MES, La Habana, Cuba.
- MATEO, J. 1991. Curso de Postgrado de Geoecología del Paisaje. Material de Apoyo. Universidad Central de Venezuela. Maestría en Arquitectura del Paisaje, Postgrado en Ordenamiento Territorial, 222 p.
- MATEO, J. 2002. Geoecología de los Paisajes. En prensa. 352 p. La Habana, Cuba.
- PLADEYRA S.C. 2000. Programa de Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río Bobos, Veracruz. Fases de Diagnóstico por Sistemas y Diagnostico Integrado. Gobierno del Estado de Veracruz Llave. Xalapa, Ver.
- PNUMA 1992. Instrucciones Metodológicas para los Estudios Nacionales de Biodiversidad de País. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi, Kenya.
- POISSONET, J. 1983. Modes d'exploitation et pratiques culturales. In : GODRON M. 1983. Le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et

transcription sur cartes perforées. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris , France.

PRIEGO-SANTANDER, A.G. 2002. Curso de Posgrado "Ecología del Paisaje". Notas de Clases. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, 71 p.

PRIETO G. 1968. Una excursión a Xalapa en 1875. Ed Citlaltepétl, México.

ROWI J.S. 1995. Eco-Diversity, the key to Diversity. En: A protected areas gap analysis methodology. WWF/Canada Discussion Paper, pp 2-9.

ROSSIGNOL J.P, Geissert. K.D, Campos. A., Kilian. J,. 1987. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec, Unidades Morfoedafológicas Escala 1:75,000. INECOL, ORSTROM, CIRAD. Xalapa, Veracruz, México.

SAGARPA, 2001. Plan Rector de Producción de la microcuenca del arroyo Gavilán, Opio. De Coatepec, Ver. Documento preliminar, Xalapa, Ver.

UNEP.1992. Guidelines for country studies on biological diversity. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya, 76 p.

URBAN D. L., R.V O'Neill y H.H. Shugart Jr. 1987. Landscape Ecology. BioScience, No 37, pp 119-127.

ZAVALA-JIMÉNEZ, M L. 1977. San Antonio Tenextepc. En: Siete ensayos sobre la hacienda mexicana 1780-1880, Enrique Semo (coord.), Colección Científica (55), INAH-Sup., México, pp. 67-98.

## VI. CICLO HIDROLÓGICO

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases: la forma en que el agua que se recibe por precipitación se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

De acuerdo con Sánchez San Román (2001), se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea. De esta definición deben remarcarse dos aspectos importantes: 1) la escorrentía subterránea es mucho más lenta que la superficial y esta lentitud le confiere al ciclo ciertas características fundamentales, como es que los ríos continúen con caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones y, 2) las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, y el desconocimiento de esta condición puede provocar que se exploten como si no tuvieran relación con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con los consecuentes resultados.

La ecuación de balance hidrológico es una expresión muy simple, sin embargo la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

En general podemos afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (precipitación =  $P$ ), una parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración =  $ETR$ ); otra parte escurre por la superficie (escorrentía superficial =  $ES$ ) confluyendo a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración =  $I$ ).

Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de **balance hidrológico**:

$$P = ETR + ES + I$$

## PRECIPITACIÓN

Es el agua que cae en una zona determinada (cuenca) y puede ser de distintas maneras: lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de la estación a través del tiempo.

La **precipitación horizontal** (agua en forma de niebla que condensa al entrar en contacto con la vegetación) adquiere importancia en aquellos lugares cubiertos con masas boscosas y con frecuencia de días con neblina; no obstante su importancia, el valor de esta precipitación no se cuantifica en las estaciones climáticas por lo que debe medirse en campo o estimarse mediante modelos que relacionen las variables que confluyen en la presencia de este fenómeno.



## EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado retener para el consumo de la vegetación. Se trata de un parámetro de difícil cuantificación, sobre todo por la ausencia de estaciones que midan estos parámetros, por lo que resulta necesario deducir, en primer lugar, el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) mediante fórmulas empíricas; una vez calculada la ETP, y tomando en consideración

las características de la cubierta vegetal y las posibles variaciones de la reserva de agua en el suelo, es posible estimar el valor de la ETR.

Aunque la evapotranspiración es el segundo término en importancia en un balance hidrológico –después de la precipitación– o el primero en zonas áridas y semiáridas, en la actualidad no existe una metodología para medirla a escala de cuenca, por lo que se estima a partir de la utilización de diferentes modelos. La dificultad de la modelación de la evapotranspiración radica en poder representar los complejos procesos y factores que la determinan de una manera simple.

## **ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

---



El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de a) escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la subsuperficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática); y b) escorrentía básica que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje.

---

## **INFILTRACIÓN**

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo. El agua de infiltración que se deduce de la resolución del balance hídrico es aquella que supera la retención superficial y alcanza las capas más profundas del suelo y subsuelo, conectando con el sistema acuífero; es decir el agua de recarga.

### **VI.1. MODIFICACIONES ANTRÓPICAS AL CICLO HIDROLÓGICO**

De acuerdo con la anterior descripción del ciclo hidrológico, si no existe intervención humana, el agua que precipita puede infiltrarse, escurrir sobre la superficie o evaporarse, de acuerdo con las características del medio natural. En zonas cubiertas con bosques, la mayor parte del agua o bien se infiltra en el suelo recargando los acuíferos o bien es absorbida por la vegetación, que más tarde la devuelve a la atmósfera a través de la transpiración. En estos ambientes, el escurrimiento superficial sobre las laderas suele ser escaso y el agua infiltrada reaparece en la superficie con un cierto retardo en los cursos de agua como resultado de la descarga.

Sin embargo, cuando la superficie del suelo es alterada por las actividades humanas, la dinámica hidrológica natural se ve drásticamente modificada; por ejemplo, cuando se elimina la cubierta de bosques para sustituirse por cultivos, el escurrimiento superficial tiende a aumentar de manera significativa, mientras que si se desarrollan bosques en áreas que previamente presentaban suelos desnudos opera el proceso contrario.

Según (Antón y Díaz Delgado, 2000), la agricultura provoca importantes efectos sobre el balance hídrico ya que de acuerdo con las prácticas agrícolas habituales, la instalación de los cultivos implica la eliminación de la vegetación existente como forma de eliminar la competencia para los futuros cultivos. Mientras el cultivo se desarrolla, el suelo se encuentra desnudo, lo que afecta drásticamente el destino del agua que cae sobre éste. Una vez que el cultivo ha crecido, el comportamiento hidrológico del área se modifica nuevamente –durante la estación de crecimiento los cultivos pasan por diversos estadios de desarrollo que determinan diferentes grados de cobertura del suelo– de forma tal que en la mayoría de los paisajes agrícolas el balance hídrico está controlado por las características de las actividades antrópicas relacionadas con los cultivos.

Por su parte, los procesos de urbanización modifican la dinámica natural del agua de manera aún más drástica: una porción considerable del suelo es removida y/o compactada y cubierta por superficies impermeables, lo que provoca que la infiltración y la evaporación prácticamente desaparezcan y la mayoría del agua se pierda como escorrentía; finalmente, el agua de lluvia que llega al pavimento y a los suelos es recolectada y sacada fuera de las ciudades mediante redes de conducción establecidas para evitar inundaciones. A su vez, las ciudades "importan" agua para satisfacer las necesidades de sus habitantes. Esta agua traída desde cauces, lagos o pozos se trata y almacena para después conducirla a las zonas de consumo para finalmente ser eliminada como aguas servidas. En la gran mayoría de los casos el agua es devuelta – con o sin tratamiento– al sistema hidrológico "natural" en un estado muy diferente a aquel en que originalmente fue extraída.

Estos procesos implican cambios ambientales radicales en las zonas urbanas ya que los ríos son canalizados o entubados, sus volúmenes y regímenes de flujo son sustancialmente modificados, y sus aguas son cargadas con sustancias producidas artificialmente, modificándose también los niveles y el flujo de agua subterránea, los cuales pueden descender como resultado del sobrebombeo, o subir debido al aumento de la infiltración o la obstrucción del flujo.

## **VII. BALANCE HIDROLÓGICO DE LA CUENCA GAVILANES**

### **VII.1. PRECIPITACIÓN HORIZONTAL**

Como se planteó anteriormente, el concepto de precipitación horizontal (PH) se refiere a la lluvia que es interceptada en forma de neblina por la vegetación de un paisaje. Se presenta cuando la neblina choca con las hojas y alcanza una temperatura óptima para la condensación, una parte del agua así captada escurre por las ramas y el tronco y otra porción cae directamente al suelo. Algunos autores han demostrado que este proceso juega un importante papel en el ciclo hidrológico, sobre todo en lo que respecta a la recarga del manto freático y los acuíferos en períodos secos del año.

Sin embargo, este proceso no se presenta en cualquier lugar pues requiere de condiciones ambientales muy específicas, entre las que se encuentran la latitud, altitud, exposición geográfica y tipo de formación vegetal. En este sentido, el bosque

mesófilo de montaña (BMM) característico de la cuenca del río Gavilanes sintetiza dichas exigencias y por ello resulta uno de los mejores captadores de precipitación por neblina, aunque no el único. Sobre el tema de la precipitación horizontal existe una amplia discusión, pues su estimación varía no sólo en función de las características biofísicas del sitio sino también en dependencia de los métodos utilizados para su medición en campo.

En un estudio realizado por Bruijnzeel y Proctor (1995; en Hofstede, 1997) utilizando colectores de niebla en un páramo de altura en Costa Rica, observaron valores de hasta 18% de la precipitación vertical (PV) en un páramo a 3 500 msnm, mientras que las investigaciones de Voronkov (1970, en Reynolds y Thompson, 1988) basadas en 4 años de observaciones y usando pabellones de condensación, demostraron que en los bosques de coníferas de latitudes boreales se captan alrededor de 30 mm por año, lo que equivale al 4% de la precipitación vertical anual.

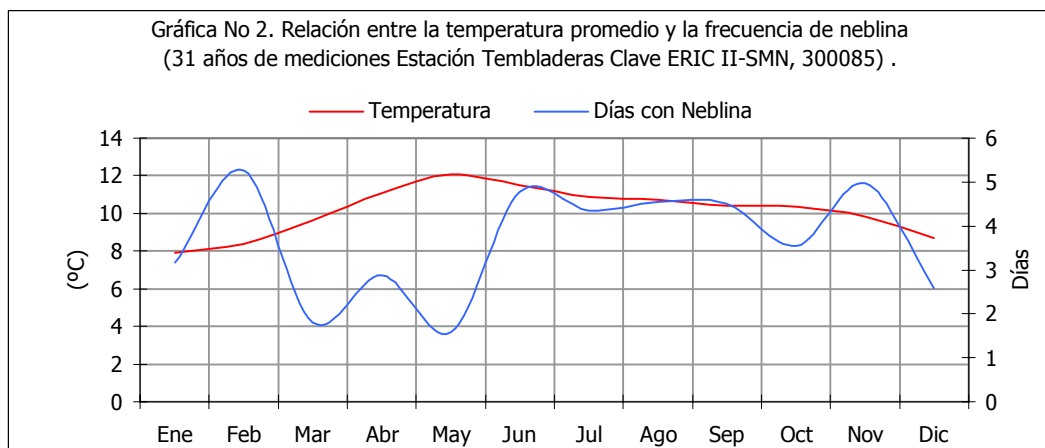
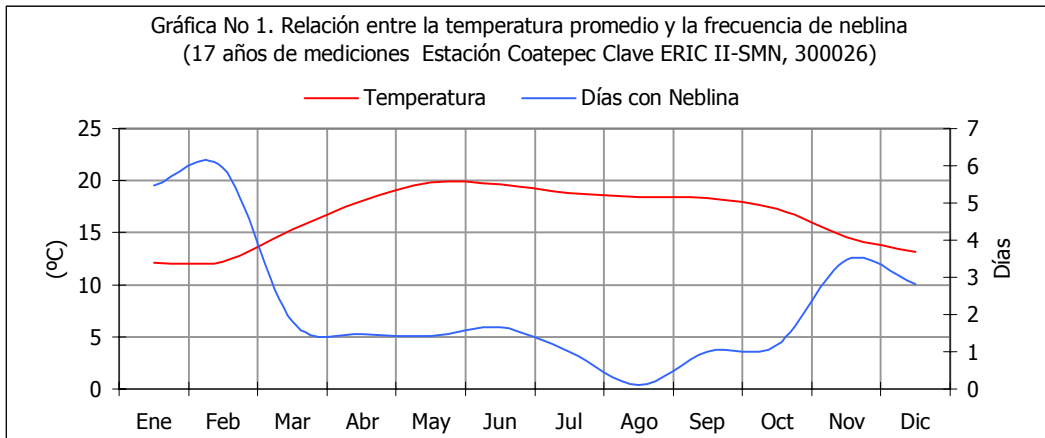
Por su parte, Protopopov (1975, en Reynolds y Thompson, 1988) estudió la PH en bosques de cedro en un sector de las Montañas Sayan al este de Siberia y demostró que en este paisaje se capta del 7 al 10% de la PV. En la misma región, Levedev (1982, en Reynolds y Thompson, 1988) estudió los bosques mixtos de cedro y estimó la PH de 2 a 3% de la PV. De hecho Went (1955) y Vogelmann (1973) ya enunciaban que los bosques de acículas son más eficientes en el proceso de captación de neblina que los de hoja ancha, entre otras cosas, porque la mayor cantidad de neblina aparece en paisajes de elevada altitud ( $H > 2000 < 3500$  m.s.n.m).

En Venezuela, Cavelier y Goldstein (1989 en Muñiz, sin fecha) utilizaron captadores de neblina y estimaron una PH de 70 mm/año en un bosque mesófilo de montaña situado a 3 100 msnm, mientras que Vogelmann (1973) reportó 940 mm anuales para un bosque mesófilo de montaña a 1300 msnm del este de México.

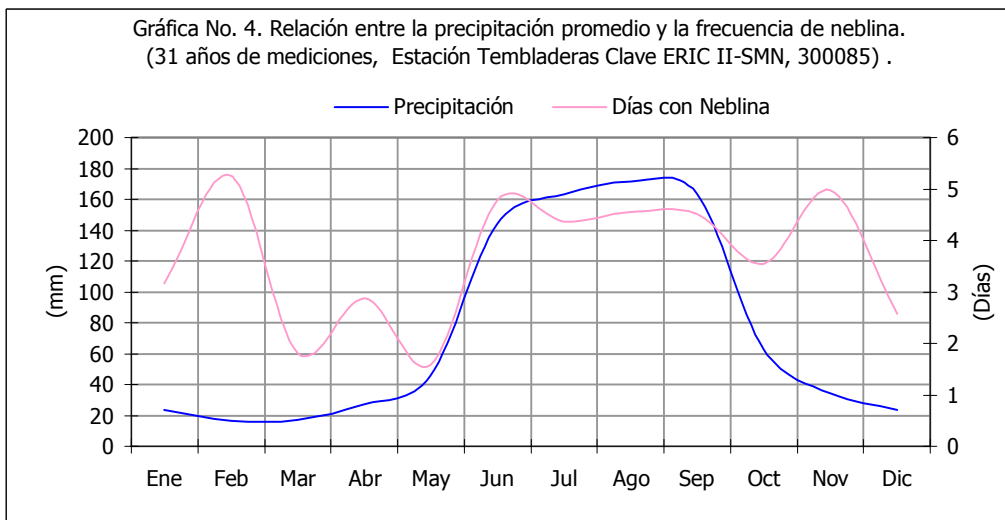
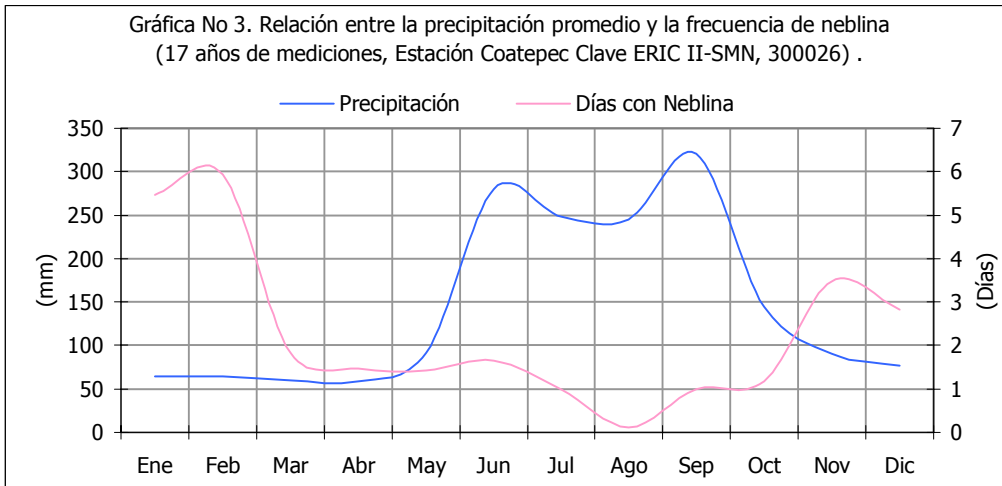
Dada la ausencia de mediciones directas en campo, para la estimación de la precipitación horizontal en los paisajes del río Gavilanes se consultaron diferentes bases bibliográficas y estudios realizados en territorios similares, a partir de lo cual se asumió que por cada día de neblina son captados 11 mm de agua. Realizado el cálculo, y en el caso particular del área de estudio, esto corresponde aproximadamente al 17% de la precipitación vertical o pluviométrica, lo que coincide con los estimados más recientes hechos para bosque mesófilo de montaña en latitudes tropicales y subtropicales (Bruijnzeel y Proctor, 1995).

Por lo anterior, al realizarse el balance hidrológico de la cuenca del río Gavilanes se consideró importante estimar el volumen de agua que ingresa al sistema en forma de precipitación horizontal. Para ello se analizaron todos los elementos climáticos disponibles, básicamente precipitación, temperatura, evaporación y días con neblina de las estaciones de Coatepec (cuenca media) y Tembladeras (cuenca alta), siendo éste último parámetro el insumo principal para la construcción de los mapas de precipitación horizontal. Así mismo, se elaboraron gráficas que facilitarían la comprensión de este fenómeno. Para este caso, se relacionaron la frecuencia de

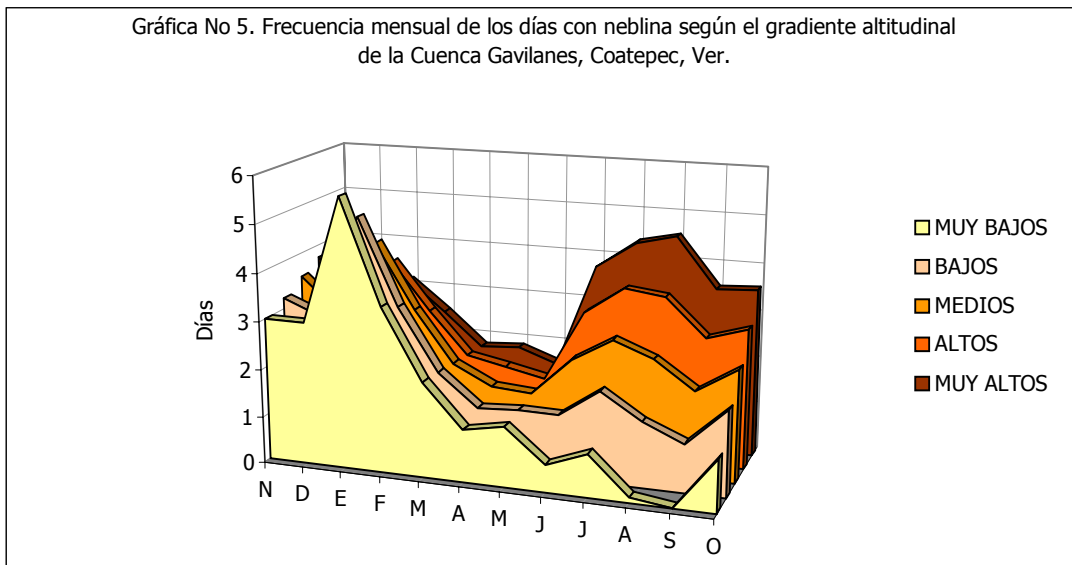
neblinas con la precipitación vertical, así como con la temperatura promedio anual. Como se puede observar en las gráficas 1 y 2, la frecuencia de neblina está asociada básicamente a la temperatura, de forma tal que cuando la temperatura es inferior a los 11° C la frecuencia de neblina se torna más elevada, por lo que la encontramos con mayor frecuencia en los paisajes localizados a mayor altitud en la cuenca.



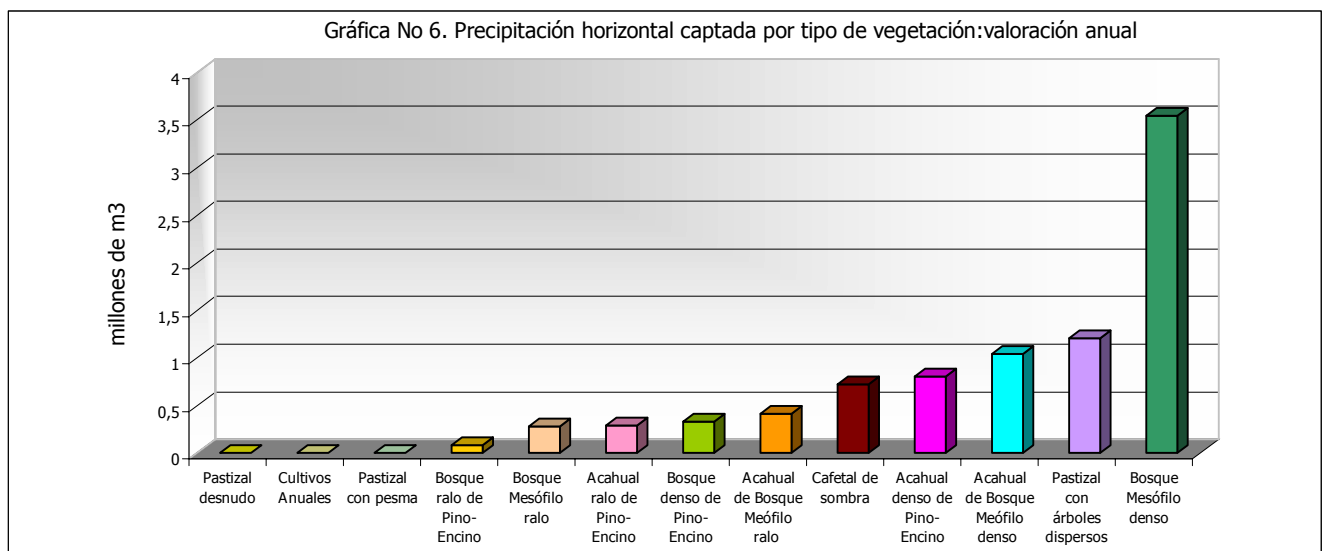
En las gráficas 3 y 4 se observa la relación entre la temporalidad de la lluvia vertical y la frecuencia de neblina, lo que resulta de mucho interés ya que no siguen un patrón similar: la estación de Coatepec presenta la mayor frecuencia de neblina (y por tanto de PH) en los meses secos de menor precipitación –noviembre a febrero-, mientras que la estación Tembladeras se comporta de manera inversa, ya que la mayor frecuencia de neblina se reporta para los meses de lluvia –junio a septiembre-. Como conclusión, podemos decir que la lluvia horizontal está íntimamente relacionada con la temperatura, la que a su vez es controlada a nivel local por la altura sobre el nivel del mar.



En la gráfica 5 se aprecia como varía la frecuencia de neblina según la época del año y la altura de cada unidad de paisaje, lo que demuestra el razonamiento antes expuesto.



Desarrollados los criterios anteriores se elaboró la gráfica 6, donde se muestran las contribuciones hídricas en función del tipo de vegetación, de donde se desprende el importante papel que juegan las masas forestales en la **relación bosque/agua**. Sí se eliminara la cubierta forestal que aún existe en la cuenca, las pérdidas en volumen de agua que no se condensarían serían elevadas, máxime que la mayor parte de la PH no escurre por vía superficial sino que se infiltra en las capas superiores del suelo y, en dependencia del ángulo de inclinación de las pendientes, la posición hidrológica y el tipo de roca que subyace a la unidad, éstos aportes hídricos penetrarán a los acuíferos o se incorporarán al escurrimiento superficial encauzado.



Como síntesis de esta evaluación se elaboró la **Carta de Precipitación Horizontal**, constituida por 13 mapas, 12 de los cuales representan la dinámica mensual de la

precipitación horizontal, la que está fuertemente influida por la altitud así como por la cobertura vegetal que sostiene. El mapa central es el resumen anual de dicho comportamiento, y se resaltan en orden cuantitativo las zonas que actualmente captan la mayor proporción de precipitación horizontal en la cuenca. Dichas zonas corresponden a superficies con alta frecuencia de días con neblina y que presentan una cobertura vegetal capaz de interceptar y condensar esta neblina, tal es el caso del bosque mesófilo de montaña (BMM) y los bosques de pino-encino (BPE), así como los acahuales en diferentes estado de desarrollo derivados de estas formaciones clímax.

Es importante resaltar que el fenómeno de la precipitación horizontal no se produce exclusivamente en formaciones vegetales intactas; por el contrario, diversas evaluaciones han demostrado que los bosques fragmentados pueden captar mayor cantidad de agua a través de este proceso ya que incrementan la superficie de exposición, dejando penetrar la neblina y condensándola ya sea en el interior de los parches o en los árboles aislados. Lo anterior se puede observar en la gráfica No 6 donde se muestra la estimación del volumen anual captado por los diferentes tipos de vegetación presentes en la cuenca del río Gavilanes.

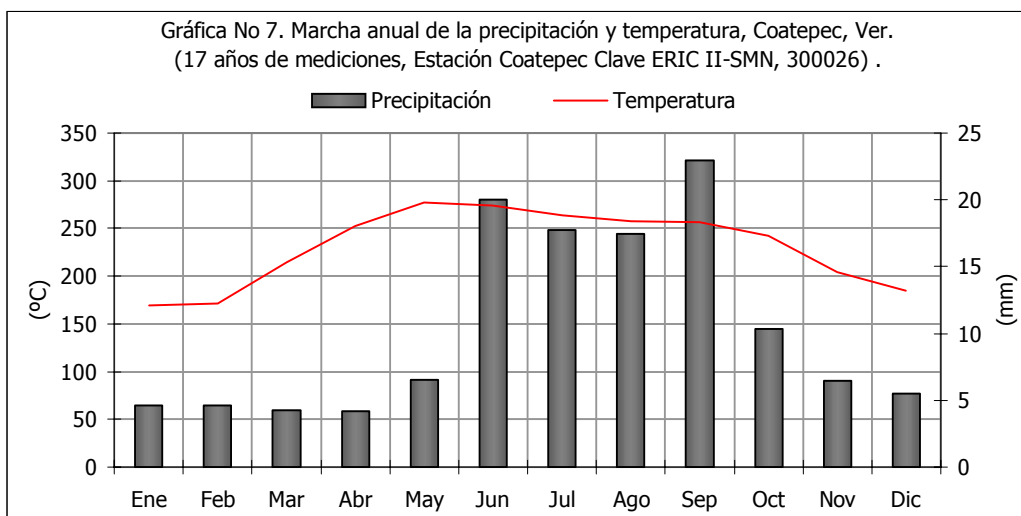
## **VII.2. CAPTACIÓN NETA**

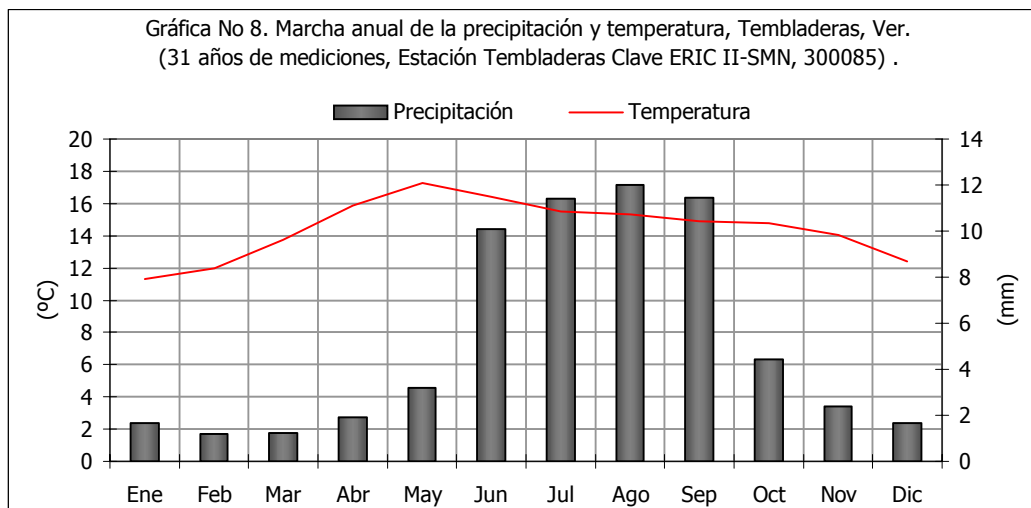
La captación neta es la suma de la precipitación vertical (PV) o pluviométrica, y la precipitación horizontal (PH) o precipitación oculta por unidad de área. Conocer la captación neta por unidad de paisaje hidrológico es el primer paso en la elaboración de un balance hidrológico, pues se llega a definir el volumen teórico de agua que cada paisaje capta a lo largo de todo el año. Los diferentes cálculos que se elaboran posteriormente en el balance hidrológico parten de dichos estimados.

Para conocer la captación vertical se utilizó el mapa climático del estado de Veracruz elaborado por PLADEYRA en el 2001 (inédito) para el Ordenamiento Ecológico del Estado de Veracruz, en el que se tomaron en cuenta todas las estaciones climáticas que contaban con 10 o más años de mediciones. Para generar la información sobre PV a nivel mensual fue necesario descubrir la distribución temporal -dinámica- de la PV, para lo cual se utilizaron los porcentajes promedio mensuales de la precipitación en la estación Coatepec (Clave ERIC II No 30026) que cuenta con 17 años de mediciones.

Se recurrió a este método ya que revisando los climogramas de los puntos altitudinales extremos de la cuenca (Estación COATEPEC y TEMBLADERAS -Clave ERICII N° 300026 y 300085-, respectivamente) se observó que ambos presentan una distribución temporal similar, donde lo que cambia es la cantidad de lluvia que cae, pero no los tiempos en que ésta se produce. Esto se debe a que la ocurrencia de la precipitación está determinada casi en su totalidad por fenómenos meteorológicos a nivel macro-regional como son la circulación de los vientos.

En las gráficas 7 y 8 se muestran los climogramas de las estaciones analizadas, y en ellos es fácil observar la similitud en la distribución de la precipitación vertical, así como la marcha anual de la temperatura. Al igual que en las demás cartas del balance hidrológico, en la **Carta de Captación Neta** se presenta la dinámica actual de la captación hídrica neta mensual por unidad de paisaje y el mapa central con el resumen anual de dicho comportamiento.





### VII.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL E INFILTRACIÓN

La evapotranspiración se define como el proceso de transmisión de agua desde la superficie del suelo -evaporación- y desde la vegetación -transpiración- hacia la atmósfera. En este proceso influyen diversos factores naturales e incluso antrópicos. Entre los naturales se pueden citar la cantidad de radiación solar (dada por la latitud) la temperatura ambiente (definida por la altitud) y el tipo de formación vegetal, mientras que los factores antrópicos se refieren básicamente a los diferentes tipos de uso del suelo. Diversos autores afirman que en ambientes húmedos de latitudes tropicales y subtropicales, aproximadamente el 75% de la precipitación anual escapa a la atmósfera por este proceso, constituyendo parte importante de la fisiología de los ecosistemas y actuando de manera directa en la regulación hidroclimática a nivel regional.

Debido a la diversidad de factores que influyen en la evapotranspiración, es difícil medir con exactitud los volúmenes de agua que circulan hacia la atmósfera gracias a este proceso; sin embargo, se han desarrollado multitud de fórmulas para poder estimar cuantitativamente y con alguna precisión este fenómeno.

Para efecto de esta investigación se consultaron 17 índices de evapotranspiración, detectando que la mayoría de ellos son aplicables a grandes escalas ya que utilizan como premisas la temperatura y la dirección e intensidad de los vientos, así como factores de corrección para suplir el enorme vacío de información existente. De los 17

índices consultados solo dos resultaron apropiados para la escala y objetivos del trabajo: uno es el índice de Evapotranspiración Real de Holdridge (1987) que mediante deducción matemática establece factores de corrección según la latitud geográfica y la complejidad de la estructura vegetal, es decir número de estratos y tipo de hojas. Sin embargo, al analizar los resultados, los autores coincidieron en que los estimados se tornaban exagerados. El índice que finalmente se aplicó al balance hidrológico fue el de Blaney-Cridle, (1984; en Shuttleworth, 1993), cuya ecuación se expresa así:

$$\mathbf{EVP = 2.54 KF}$$

Donde:

EVP= Evapotranspiración potencial

K= Coeficiente que depende de la vegetación

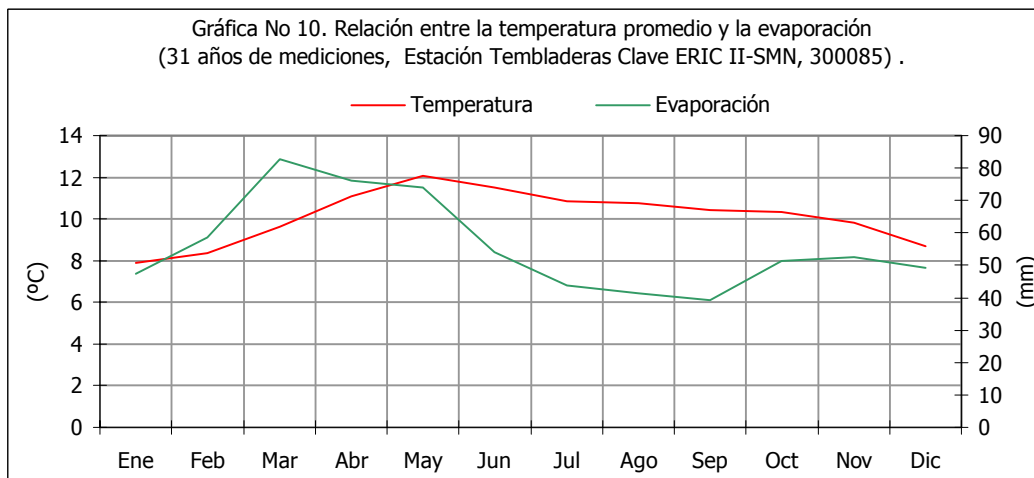
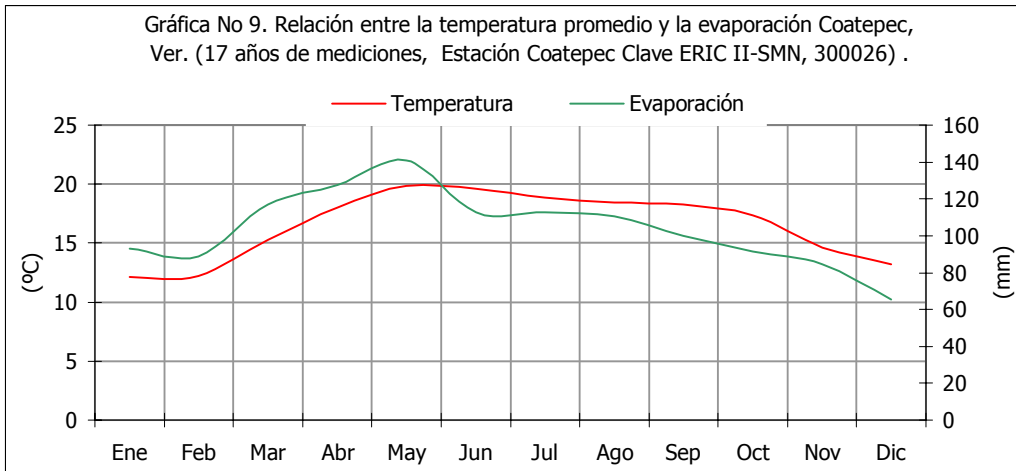
F= suma  $(Ph * Tf)/100$

Ph= Porcentaje de horas sol al día para cada mes

Tf= Temperatura promedio mensual en ° F.

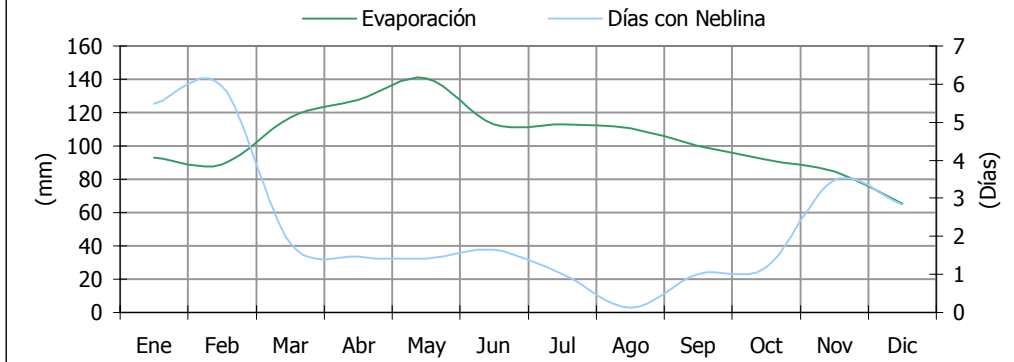
Los resultados obtenidos se presentan en la **Carta de Evapotranspiración e Infiltración**, en la que se representa la dinámica mensual de la evapotranspiración constituida por 12 mapas, se calcula la altura de la evapotranspiración mensual, y en un extremo se muestra la estimación anual de este proceso.

Al analizar estos mapas y compararlos con el Mapa de Vegetación de la cuenca del río Gavilanes (escala 1:20 000), es fácil percibir que los manchones de bosques son los que funcionan como hidrorreguladores de la cuenca y que la variación en la cantidad de agua liberada a la atmósfera oscila según el gradiente térmico propio de la cuenca en estudio. Este patrón en las temperaturas tiene su reflejo en las tasas de evaporación que han sido medidas en las estaciones climatológicas consultadas, lo que se puede observar en las gráficas 9 y 10.

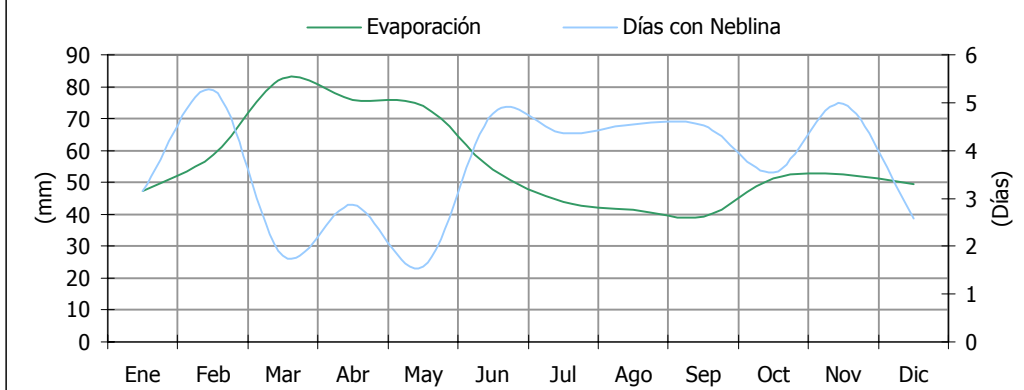


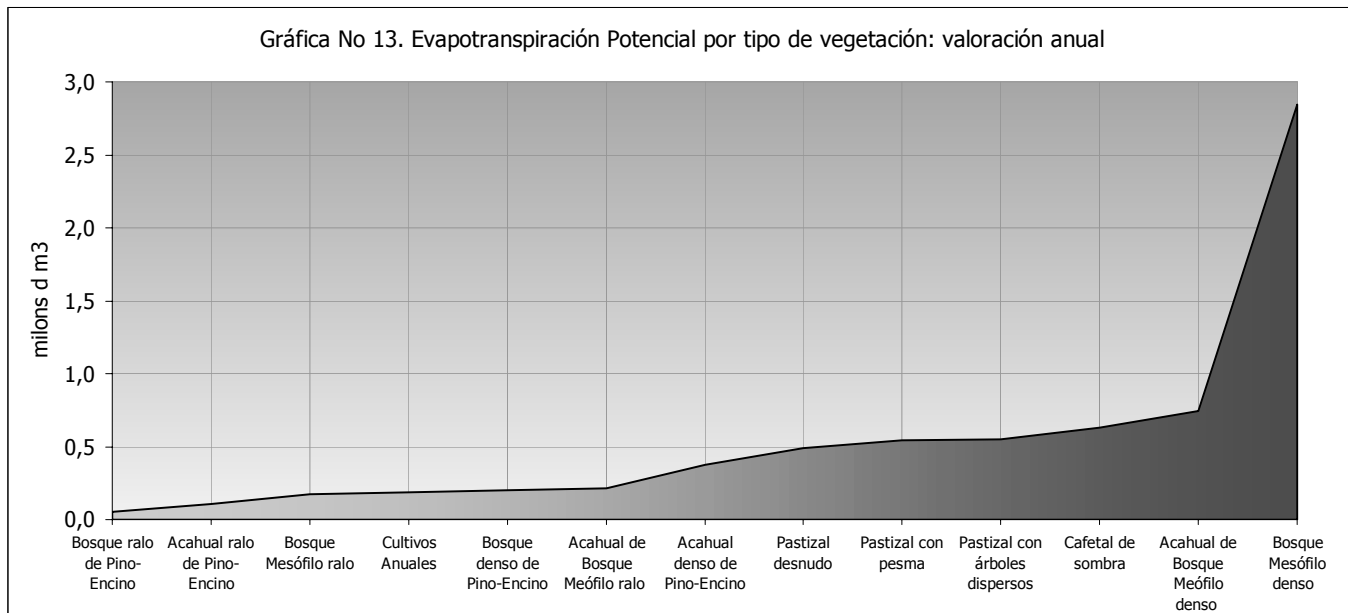
Sin embargo, el comportamiento contradictorio de ambas estaciones en cuanto a la relación evaporación/días con neblina hace suponer que el aporte de neblina en la época de secas y en los paisajes de menor altitud (Coatepec) regula de alguna manera las pérdidas por evapotranspiración, por lo que no sería raro que nuestra estimación sea exagerada en algunos casos (Ver gráficas 11 y 12). Así mismo, en la gráfica 13 se exponen los volúmenes de evapotranspiración potencial de acuerdo con la formación vegetal.

Gráfica No 11. Relación entre la evaporación promedio y la frecuencia de neblina.  
(17 años de mediciones, Estación Coatepec Clave ERIC II-SMN, 300026) .



Gráfica No 12. Relación entre la evaporación promedio y la frecuencia de neblina.  
(31 años de mediciones, Estación Tembladeras Clave ERIC II-SMN, 300085) .

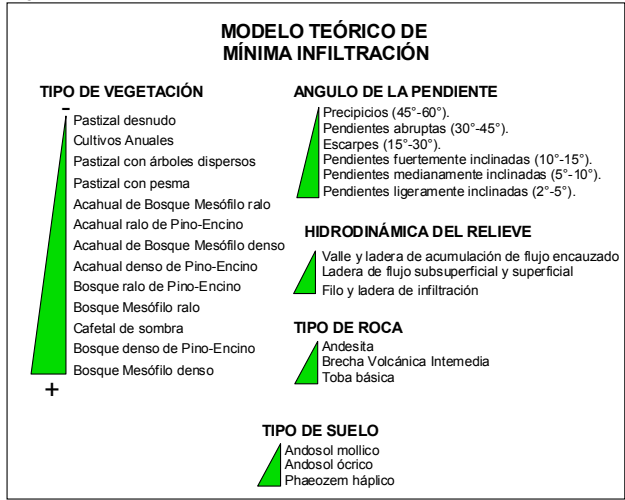




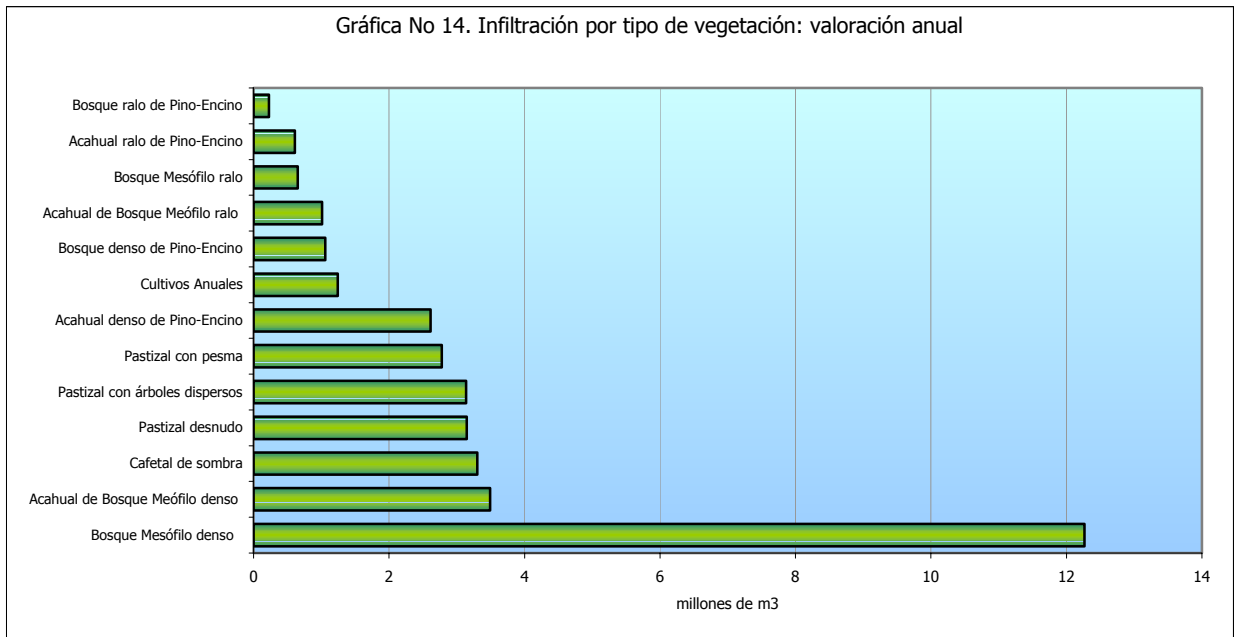
En la **Carta de Evapotranspiración Potencial e Infiltración** también se presentan 3 mapas referentes a las estimaciones de infiltración hídrica, la que definimos como el proceso físico a través del cual el agua controlada por la fuerza de gravedad penetra en el suelo y se filtra, en dependencia de la permeabilidad del sustrato, la estructura de la roca y la pendiente, recargando el manto freático o incorporándose a los acuíferos existentes. Al inicio de esta investigación se construyeron los 12 mapas referentes a la dinámica mensual de la infiltración por unidad de paisaje, pero debido a que este proceso está condicionado por elementos del paisaje que varían poco en el tiempo (pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, hidrodinámica del relieve y vegetación) lo que representaban los mapas realmente era la captación hídrica.

La forma de medir el fenómeno de infiltración es compleja y requiere de información casi siempre inexistente o que no está disponible, sin embargo, son bien conocidos los factores que determinan su acción, por lo que son sujetos de modelación geográfica. En el caso de la presente investigación, se construyó un modelo geográfico basado en los siguientes componentes y condiciones del paisaje: tipos de roca, suelos, vegetación, ángulo de inclinación de las pendientes, y posición hidrodinámica del relieve. En la figura No 1 se presenta el modelo teórico de mínima infiltración con la forma de ponderación utilizada para estimar el porcentaje de infiltración de acuerdo con la combinación de estas características.

Figura No. 1



Finalmente, en la gráfica 14 se pueden ver las contribuciones de cada tipo de vegetación en el volumen anual de infiltración.



Como resultado de este balance hidrológico se estimaron los volúmenes acumulados de agua en cada uno de los procesos dentro de la cuenca del río Gavilanes, obteniéndose los siguientes valores:



CAPTACIÓN NETA = 80.4 MILLONES DE METROS CÚBICOS  
EVAPOTRANSPIRACIÓN = 7.13 MILLONES DE METROS CÚBICOS  
INFILTRACIÓN = 35.53 MILLONES DE METROS CÚBICOS  
ESCURRIMIENTO = 37.74 MILLONES DE METROS CÚBICOS

## BIBLIOGRAFÍA

- Antón, D. J.; C. Díaz Delgado (Eds.) 2000. Sequía en un mundo de agua. San José/Toluca, Piriguazú Ediciones / CIRA-UAEM, 420 p.
- Bruijnzeel, L.A. y Proctor, J. 1995. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? En: Tropical Montane Cloud Forests (L.S. Hamilton; J.O. Juvik y F.N. Scatena, eds.). Ecological Studies 110. May, 1991; San Juan, Puerto Rico. New York: Springer. p. 38-78
- Hofstede R. 1997. La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo. Ecopar. <http://www.condesan.org/infoandina/Foros/cdpp31.htm>
- Holdridge L.R. 1987. Ecología basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica.
- Llorens, P. 2003. La Evaluación y Modelización del Balance Hidrológico a Escala de Cuenca. Ecosistemas 2003/1 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas031/opinion1.htm>).
- Muñiz-Castro M.A. Captura y retención de agua por el Bosque Mesófilo de Montaña, un servicio ambiental vital. Artículo del curso sobre manejo de recursos forestales. Postgrado en ecología y manejo de recursos naturales. Xalapa, Veracruz, México.
- Pladeyra (Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S.C.) 2001. Ordenamiento Ecológico del Estado de Veracruz. Fase Descriptiva del Medio Físico. Inédito.
- Reynolds E.C, Thompson F.B. 1988. Forest, Climate, and Hydrology. The United Nations University. Tokio, Japan.
- Sánchez San Román, F. J. 2001. El Ciclo Hidrológico.
- Shuttleworth, W. J. 1993. Chapter 4: Evaporation. In: Haidment, D. R. (ed.) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc. New York, pp. 4.1 – 4.53

Vogelmann, H.W. 1973. Fog precipitation in the cloud forest of eastern Mexico. *Bioscience* 23(2):96-100.

Went, F.W. 1955. Fog, mist, dew, and other sources of water. In *Yearbook of Agriculture* 1955. USDA Dep. of Agriculture. pp 103-109.

## **VIII. ZONIFICACIÓN HIDROECOLÓGICA PARA EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES: AGUAS SUPERFICIALES Y RECARGA A ACUÍFEROS.**

El objetivo central de esta investigación fue identificar los paisajes hidrológicos de la cuenca del río Gavilanes (Coatepec, Ver.) que por sus características naturales y de presión por uso circundante, presentasen mayor potencial para ser beneficiados con el pago por servicios ambientales, en este caso particular por la recarga al manto freático y los acuíferos así como por su contribución al escurrimiento superficial. Los criterios utilizados fueron, por un lado, las tasas de infiltración y escurrimiento superficial extraídas del balance hidrológico realizado para este estudio, y por otro, el riesgo de deforestación al cual están sometidos los paisajes de la cuenca, índice que fue construido y cartografiado como se describe más adelante.

Para desarrollar este objetivo en primer lugar se estableció la premisa teórica del modelo, la cual asume que las zonas prioritarias para ser beneficiadas por este pago deben ofrecer altos o muy altos beneficios hídricos (ya sea por su aporte a las aguas superficiales o a las subterráneas), y además estar sujetas a un alto o muy alto riesgo de sufrir una modificación en el uso del suelo, es decir, una remoción de su cubierta forestal.

Los mapas del balance hidrológico utilizados en este modelo son los que muestran tanto el acumulado anual de escurrimiento superficial como de infiltración por paisaje hidrológico (medidos en  $m^3/m^2$ ), es decir que permiten ubicar los paisajes donde se presenta la mayor acumulación anual de aguas superficiales y/o subterráneas (ver mapas **Acumulado Anual de Escurrimientos Superficiales** y **Acumulado Anual de Infiltración**). A continuación se explica el procedimiento seguido para la elaboración de los mapas de Riesgo de Deforestación y de Zonificación para el Pago por Servicios Ambientales tanto para la recarga de acuíferos como para el aporte por escurrimiento superficial.

### **VIII.1. RIESGO DE DEFORESTACIÓN**

Se concibe al riesgo de deforestación (RD) como la situación en la cual los paisajes hidrológicos están expuestos ante uno o más factores de perturbación capaces de cambiar la estructura y composición de la vegetación debido a que existen condiciones ambientales favorables para ello, mismas que al tiempo estimulan el cambio en el uso del suelo, regularmente en la secuencia forestal–agrícola–ganadero, característica de los cambios de uso del suelo en esta región.

A partir de este concepto se seleccionaron dos criterios que a nuestro juicio pueden funcionar como indicadores de este riesgo: ***presión de uso circundante (PUC)*** y ***ángulo de inclinación de las pendientes (AIP)***. La presión de uso circundante (PUC) refleja la forma en que un parche de vegetación es empujado al cambio por las diferentes influencias que ejerce un medio circundante modificado que lo presiona y al que denominamos matriz. La matriz será más presionante entre mayor sea su grado de artificialización y la cantidad de usos del suelo que se en ella se practiquen, por lo que establecemos un modelo en el que una mancha urbana presiona más que un cultivo temporal, el cultivo más que un pastizal con árboles, y este último presiona

menos que un pastizal sin árboles. Mientras aumenta la "naturalidad" de la matriz, la presión hacia los parches de vegetación arbórea disminuye.

El indicador se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{PUC = \sum P \times P_u \dots\dots\dots (1)}$$

Donde:

P = porcentaje del perímetro con vecindad X

P<sub>u</sub> = factor de ponderación del uso del suelo

Los factores de ponderación se asignaron siguiendo la escala de artificialización de la vegetación contenida en la carta de ***Intensidad de uso del suelo***. El Ángulo de Inclinación de la Pendiente (AIP) fue incorporado como otro factor de ponderación, el cual multiplica al valor resultante de la PUC, por lo tanto, el índice de Riesgo de Deforestación (RD) se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RD = valPUC \times F_p \dots\dots\dots(2)}$$

Donde:

ValPUC = Valor del índice de Presión de Uso Circundante

F<sub>p</sub> = Factor de la pendiente

En este sentido, el modelo plantea que existe mayor riesgo de deforestación en aquellos lugares donde la pendiente es baja y la presión de uso circundante es alta, mientras que un fragmento de bosque ubicado sobre una pendiente fuerte presenta menor riesgo de ser deforestado debido a la inaccesibilidad y a que el valor del suelo es bajo comparado con paisajes que ofrecen pendientes suaves donde después de eliminada la vegetación se pueden practicar actividades económicas más rentables.

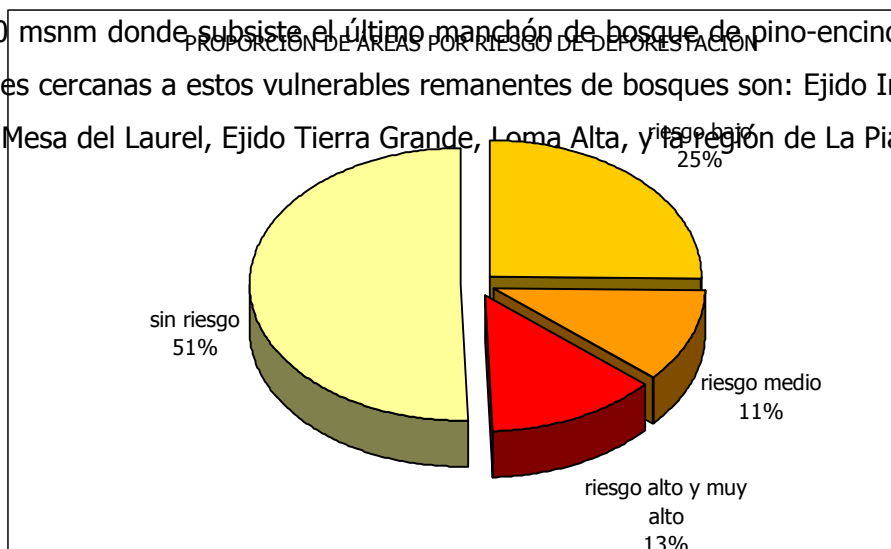
Con frecuencia, particularmente en zonas montañosas, el grado de inclinación de la pendiente es el factor que condiciona la distribución de los usos del suelo, por lo que no es difícil encontrar la zonalidad (distribución en zonas) de la agricultura sobre pendientes suaves a moderadas y, aunque esto no siempre se cumple, sí puede ser utilizado como criterio dado que del ángulo de inclinación de la pendiente también depende parcialmente el costo de la inversión para hacer productivo un sitio, a pesar de que también es común ver cultivos en lugares de pendientes fuertes, sobre todo en territorios donde predomina la economía de autoconsumo como es la cuenca del río Gavilanes. Sin embargo, al ordenar esta situación en un gradiente, el ángulo de la pendiente juega aumentando el riesgo de deforestación a medida que la pendiente se

suaviza. Finalmente, los resultados de este indicador fueron clasificados en 5 clases por el método de rompimiento natural, y en la cartografía correspondiente se usan los símbolos lineales y el fondo cualitativo como forma de representación.

## VIII.2. DISCUSIÓN

Como se observa en el **Mapa de Riesgo de Deforestación** de la Cuenca del Río Gavilanes, las zonas con cubierta forestal que presentan el menor riesgo de deforestación se localizan en paisajes de difícil acceso debido a lo abrupto del relieve y por esta razón presentan una presión de uso circundante baja, se trata de unidades contiguas muy bien conservadas. Los fragmentos de bosque calificados como de bajo riesgo de deforestación se ubican cercanos a localidades como El Carrizal, Buena Vista, La Cortadura, y partes del Ejido Tierra Grande, todas ellas en la porción alta de la cuenca y cubriendo una superficie de 1195 ha, equivalente al 23% del área total de la cuenca.

Las áreas con grado medio de deforestación se difunden entre las zonas de muy alto y alto riesgo y las de muy bajo y bajo riesgo de deforestación y funcionan como unidades de *contacto-amortiguamiento* entre los bosques bien conservados y los altamente transformados, de ahí su importancia como zonas estratégicas a restaurar a mediano y largo plazo; esta categoría abarca el 10% de la cuenca, es decir 374 ha. En este orden, las clases de alto y muy alto riesgo de deforestación abarcan un total de 440 ha que constituyen el 12% del territorio analizado; se trata de masas forestales en grave peligro de ser sustituidas por otras formas de uso del suelo como la extracción forestal y subsecuentemente las actividades agropecuarias. Estas áreas se localizan desde la cota de los 1 300 msnm (a la altura del poblado de Puente Zaragoza) hasta los 2 900 msnm donde subsiste el último manchón de bosque de pino-encino. Algunas localidades cercanas a estos vulnerables remanentes de bosques son: Ejido Ingenio del Rosario, Mesa del Laurel, Ejido Tierra Grande, Loma Alta, y la región de La Piña.



Como elementos auxiliares de análisis se puede señalar que las clases de muy bajo y bajo riesgo de deforestación se componen principalmente de bosque mesófilo de montaña (BMM) y acahuales densos de BMM y pino-encino (BPE), con pequeñas proporciones de BMM ralo y acahuales ralos de BPE. La categoría intermedia de riesgo está compuesta en su mayor parte por BMM denso y acahuales densos y ralos de este mismo tipo de vegetación, mientras que las clases de mayor riesgo se caracterizan por una composición más heterogénea donde predominan los acahuales densos y ralos de BMM pero también se observan proporciones significativas de BMM denso, BPE denso, BPE ralo, así como acahuales ralos de pino-encino.

En general se pueden esclarecer patrones particulares de riesgo. Resalta el hecho de que en las clases de alto y muy alto riesgo de deforestación la proporción de BMM denso sea menor en comparación a las categorías intermedia o bajas, lo cual se explica porque estos relictos de bosque mesófilo denso se localizan en zonas abruptas muy inaccesibles. De la misma manera, es sintomático que la proporción de las masas forestales ya intervenidas como es el acahual denso de BMM aumente en las clases de mayor riesgo de deforestación. En contraste, se observa que la proporción de BPE denso y ralo es más alta en las categorías de mayor riesgo de deforestación, mientras que los acahuales de este mismo tipo se concentran en las clases de bajo riesgo.

Por otro lado, las unidades ecológicas *presionantes* son pastizales desnudos, pastizales con pesma (helecho rastrero), pastizales con árboles dispersos y (en mucho menor medida) los cafetales, que en conjunto abarcan el 45% del territorio, lo que refleja el intenso proceso de asimilación económica que han sufrido los paisajes de esta cuenca. La distribución de estas unidades no sigue un patrón específico, aunque se observa que las limitaciones que impone la pendiente han dirigido de cierta manera la expansión de los potreros y cultivos lo que resulta mucho más rentable económicamente, aunque provoque efectos negativos en las condiciones ecológicas del paisaje.

## **IX. ZONAS PRIORITARIAS PARA PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES**

### **IX. 1. AGUAS SUPERFICIALES**

Como su nombre lo indica, el **mapa de Zonas Prioritarias para el Pago de Servicios Ambientales (Aguas Superficiales)** se construyó con el objetivo de resaltar aquellas porciones territoriales que por su alta contribución al escurrimiento superficial neto y por estar sujetas a un riesgo alto de deforestación es preciso atender mediante el pago por servicios ambientales. El modelo asume que se debe orientar el pago de manera prioritaria hacia los paisajes que generan servicios ambientales (en este caso cosecha de agua superficial) pero que además se encuentran amenazados por la presión de alguna influencia externa que permite prever un posible cambio en el uso del suelo que afectaría de manera negativa el ciclo hidrológico a nivel local y micro-regional. Para el caso concreto de la cuenca del río Gavilanes, esta metodología se enfoca a estimar y ubicar los paisajes que contribuyen a la cosecha de agua vía superficial de la cual se ve beneficiada gran parte de la población de Coatepec, Ver.

Para construir el mapa se hicieron interactuar en un sistema matricial de 5 x 5 clases las tipologías de los mapas de Riesgo de Deforestación (RD) y de Escurrimiento Superficial (ES), agrupando las combinaciones resultantes en 3 clases: Baja, Media y Alta Prioridad. En este mapa fue posible combinar dos variables de diferente naturaleza como son el Riesgo de Deforestación (naturaleza cualitativa) y el Escurrimiento Superficial (naturaleza cuantitativa) dando como resultado un indicador cualitativo que refleja las zonas de mayor interés hidroecológico, así como un gradiente de prioridad para emprender acciones de protección ambiental como es el pago por Servicios Ambientales. La cartografía resultante utiliza símbolos lineales, fondo cualitativo y ashurado como forma de representación.

MATRIZ PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS						
BENEFICIOS HÍDRICOS SUPERFICIALES		RIESGO DE DEFORESTACIÓN				
		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	Muy Bajo					
	Bajo					
	Medio					
	Alto					
	Muy Alto					

### IX.1.1. DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los datos refleja que la clase de baja prioridad para el pago por servicios ambientales (PSA) ocupa el 79% de la cuenca (4104 ha) y en ella se agrupan los paisajes que presentan una cobertura vegetal transformada en cuanto a su estructura y composición florística, como es el caso de los pastizales desnudos, pastizales con pesma, pastizales con elementos arbóreos, cultivos temporales y cafetales.

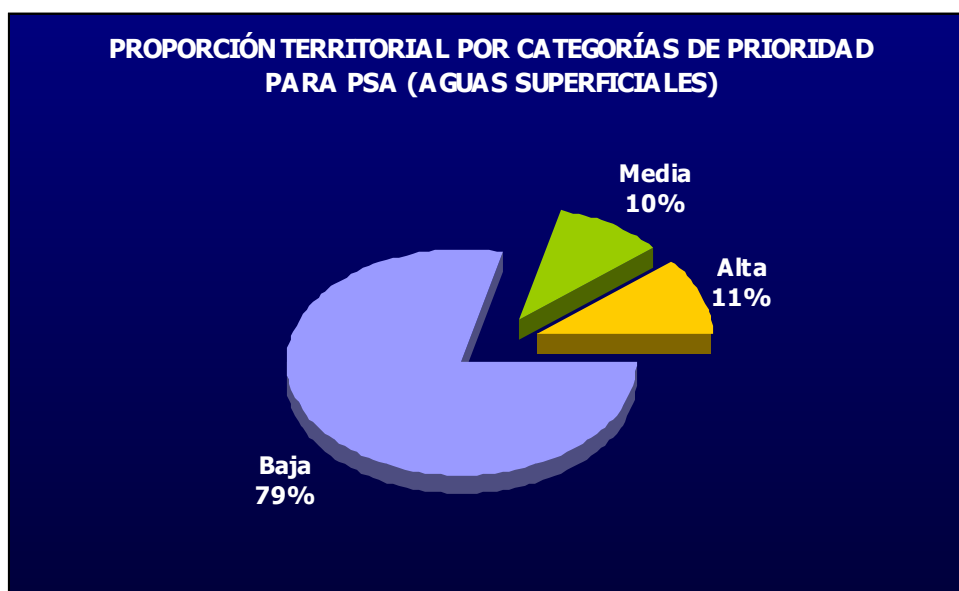
Cabe destacar que en esta categoría también se encuentra una extensión considerable de bosque mesófilo de montaña y bosque de pino-encino bien conservados (denso), además de algunos acahuales perturbados (ralos) de bosque mesófilo de montaña. Sin embargo, estos relictos se localizan en paisajes de muy difícil acceso, donde además, no existe potencial para actividades agrícolas o ganaderas debido a lo abrupto de las pendientes; por lo mismo, estas unidades resultan con un Riesgo de Deforestación bajo, de donde se deriva que no sean zonas de alta prioridad para el Pago de Servicios Ambientales aunque posean un papel relevante en la regulación hidrológica a nivel de cuenca, lo que se puede constatar en los mapas de Evapotranspiración preparados para esta investigación.

La mayor parte de los asentamientos humanos se asientan en paisajes de esta categoría, siendo las más representativas en la parte baja: Amatitla, Ojo de Agua, El Trián, El Pedregal y Pueblo Viejo; en la porción media: El Capulinar, Loma Alta, La Cortadura y partes del Ejido Tierra Grande; y en la porción alta: Mesa del Laurel e Ingenio del Rosario.

La categoría intermedia de prioridad para el Pago de Servicios Ambientales ocupa 519 ha que equivale al 10% de la superficie de la cuenca. Está compuesta por unidades con acahuales densos de bosque mesófilo de montaña y manchones de bosque mesófilo de montaña bien conservados, aunque también se presentan restos de vegetación secundaria y zonas de pastizales con árboles dispersos, que por sus características climáticas (alta captación neta), edáficas (suelos arcillosos de alta permeabilidad) y geomorfológicas (pendientes fuertes) contribuyen de manera significativa al escurrimiento superficial, lo que los ubica en una posición importante en cuanto a los beneficios hídricos. Estas comunidades, por estar en una condición de alta contribución hidrológica –aunque sin una cobertura vegetal que aportaría mayor eficiencia al proceso–, deberían ser atendidas a corto y mediano plazo mediante

acciones de restauración o inducción de cambio en el uso del suelo a través de alternativas productivas sustentables. La mayor parte de los polígonos pertenecientes a esta clase se difunden desde los 1 500 msnm –a la altura de Hayas Cuatas– hasta los acahuales de bosque de pino-encino cercanos al Ejido Ingenio del Rosario localizado a 2 850 msnm.

Finalmente, las zonas de alta prioridad para pago de servicios ambientales por su aporte a los escurrimientos superficiales ocupan el 11% de la superficie de la cuenca, equivalente a 571 ha. Esta zona está integrada exclusivamente por paisajes cubiertos con vegetación primaria y secundaria, principalmente acahuales densos y ralos de bosque mesófilo de montaña, así como bosque mesófilo de montaña denso y bosque de pino-encino ralo. En estas unidades se combinan los factores críticos de Riesgo de Deforestación con las mayores contribuciones hídricas al escurrimiento superficial. Las zonas bajo esta categoría se localizan principalmente en la porción central de la cuenca, colindando o dentro de las localidades de El Carrizal, Mesa del Laurel, Buena Vista, y parte del Ejido Tierra Grande.



## IX.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS

Este mapa pretende dar a conocer el gradiente de prioridad para el pago por servicios ambientales, en este caso por su importancia en el aporte a la recarga a manto freático y/o a los acuíferos. Para tal fin, se utilizó la tipología en 5 clases del mapa de infiltración (IN), así como el mapa de riesgo de deforestación (RD) dado también en 5 clases, los que se hicieron

interactuar en un sistema matricial obteniéndose la tipología final que se agrupó en 3 clases: Baja, Media y Alta.

MATRIZ PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS						
Beneficios hídricos subterráneos		Riesgo de Deforestación				
		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	Muy Bajo					
	Bajo					
	Medio					
	Alto					
Muy Alto						

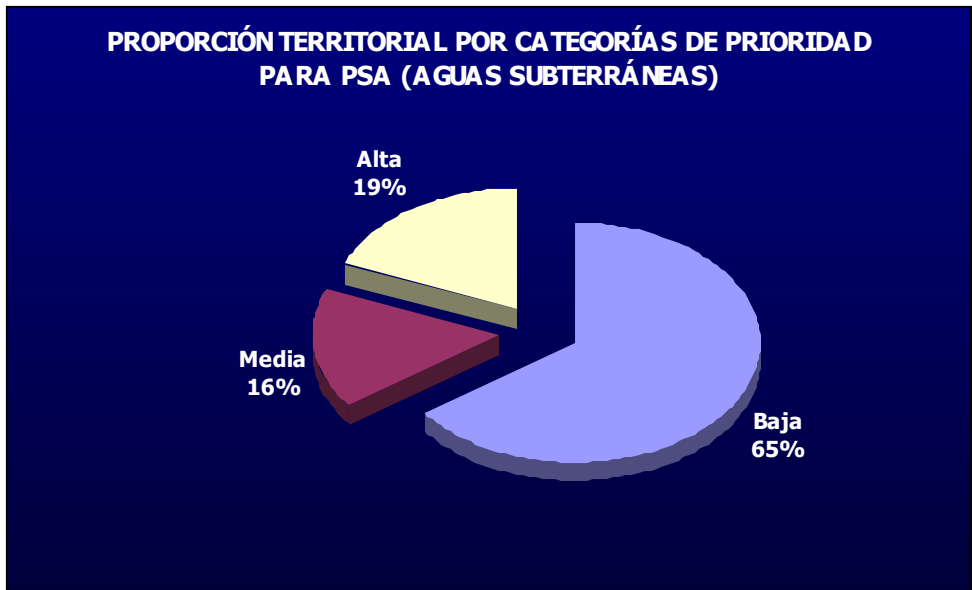
### **IX.2.1. DISCUSIÓN**

La clase de baja prioridad por recarga a aguas subterráneas representa el 65% (3376 ha) del área de la cuenca, difundiéndose a lo largo de los puntos altitudinales extremos. Por ello, en su composición figuran BMM, y también BPE, aunque no son predominantes, sí lo son toda la gama de vegetación cultural como pastizales desnudos, pastizales con pesma, pastizales con árboles y cultivos; por otra parte, una importante proporción es ocupada por la vegetación secundaria de BMM, representada por acahuales ralos y densos. Esta categoría se encuentra distribuida por toda la cuenca y su patrón espacial está íntimamente relacionado con las zonas de intenso uso del suelo en las que las características biofísicas de los paisajes han sido drásticamente modificadas.

Ocupando 831 ha, equivalente al 16% del área de trabajo y con una composición muy heterogénea de tipos de vegetación, la clase de media prioridad se difunde desde los extremos altitudinales de la cuenca, es decir desde el cafetal hasta los acahuales y BPE. A pesar de la diversidad de tipos de vegetación que hay al interior de esta clase, predominan el acahual denso de BMM y el BPE ralo, apareciendo también zonas de cultivo y pastizales.

Cabe destacar que los pastizales y demás vegetación cultural que por su posición hidrológica (filos y laderas de infiltración) y características naturales (suelo, roca y relieve) aparecen como zonas de mediana prioridad, deben tomarse en cuenta en proyectos de reconversión del uso del suelo a mediano y largo plazo, pues estas unidades son muy productivas en cuanto a cosecha de agua subterránea.

La categoría de prioridad máxima para pago de servicios ambientales por su aporte de aguas subterráneas abarca una extensión considerable de aproximadamente el 19% del área de la cuenca, lo que equivale a 987 ha, y la mayor parte de los remanentes de bosque se localizan en la parte central de la misma. Los tipos de vegetación que componen esta categoría están conformados exclusivamente por vegetación primaria y secundaria: acahual denso de BMM, acahual ralo de BPE, BMM ralo y denso y BPE denso.



### **IX.3. ZONAS PRIORITARIAS POR BENEFICIOS HÍDRICOS COMBINADOS**

Una vez delimitadas las áreas prioritarias para pago por servicios ambientales por sus beneficios hídricos tanto en la captación de aguas superficiales como subterráneas se elaboró un mapa basado en un sistema matricial que permitiera determinar aquellas zonas que resultan prioritarias para ambos procesos hidrológicos, de forma tal que se identifiquen espacialmente los predios que se consideran de alta prioridad por sus beneficios combinados.

El sistema matricial combina las diferentes categorías de prioridad por aporte de aguas superficiales con las de prioridad por recarga a aguas subterráneas de la siguiente manera:

Prioridad por aporte de aguas subterráneas	Prioridad por aporte de aguas superficiales		
	Baja	Media	Alta
Baja			
Media			
Alta			

El mapa correspondiente permite observar que la mayoría de las zonas establecidas como de alta prioridad por sus beneficios hídricos combinados (superficial + subterráneo) se localizan en la porción nororiental y central de la cuenca del río Gavilanes y en todas ellas existe una cubierta forestal –primaria o secundaria– de bosques de pino encino en la porción alta y bosques mesófilos de montaña en la zona media de la cuenca.

La proporción de alta y media prioridad ocupa el 12.3% y 12.4%, respectivamente, mientras que la superficie de baja prioridad corresponde al 75.3% de área analizada.

En superficie territorial las zonas de alta prioridad ocupan 45.45 hectáreas y están conformadas por 99 polígonos; las áreas de prioridad media ocupan 45.7 hectáreas con 94 polígonos, mientras que las zonas de baja prioridad abarcan 277.75 hectáreas.

Cabe resaltar que de acuerdo con estos resultados, el pago por servicios ambientales debe orientarse en primer lugar hacia los propietarios de las zonas calificadas como de alta prioridad ya que son áreas que brindan beneficios hídricos tanto para la recarga de aguas subterráneas como para el escurrimiento superficial del que se abastece directamente la ciudad de Coatepec, privilegiando a los pobladores que se encuentren viviendo bajo condiciones de alta marginación; no obstante, las zonas evaluadas como de prioridad media deberán considerarse también, principalmente en su integración con proyectos que favorezcan la restauración ecológica.

## **X. CONCLUSIONES GENERALES**

El Pago por Servicios Ambientales es un mecanismo estratégico del desarrollo sustentable ya que con su instrumentación se pretende asegurar la conservación de procesos naturales que benefician a los seres humanos. En el caso del pago de estos servicios por *cosecha de agua* es necesario resaltar la dificultad para medir con precisión la cantidad y direcciones que adquiere el agua subterránea en su paso por los paisajes.

En la revisión bibliográfica se constató que existen importantes antecedentes relacionados con las técnicas y métodos para la realización de balances hidrológicos con fines de investigación básica y también enfocados a la planeación y gestión del uso del agua.

Los criterios o premisas teóricas para realizar este tipo de investigaciones son claros: es necesario contar con bases de datos sobre hidroclimatología con más de 10 años de mediciones periódicas, bases cartográficas de geología superficial, geomorfología, edafología y cobertura vegetal reciente. Las bases de datos son el insumo principal de la evaluación, sin embargo no son suficientes para concretar el análisis por lo que se requiere desarrollar modelos geográficos con sólidas premisas teóricas que faciliten la deducción de una serie de fenómenos de los cuales por el momento no existen datos y

deben estimarse, como por ejemplo la ***precipitación horizontal***, proceso que se sabe está asociado a territorios con presencia de neblina, cubierta forestal y a un gradiente aerotérmico muy particular que no debe extrapolarse mecánicamente a todo tipo de paisajes.

Al respecto, consideramos que el enfoque de paisajes geocológicos (Mateo, 1984 y 1991) e hidrológicos (PLADEYRA, 2001) desarrollados en este estudio permitió conocer la estructura ecogeográfica de la cuenca, lo que a su vez facilita la operación de modelos matemáticos y geográficos, pudiendo manipular e intercambiar bases de datos así como representarlas espacialmente en unidades geográficas integrales. La asistencia de sistemas de información geográfica resulta imprescindible para poder trabajar con volúmenes de información de tal magnitud y, de la misma manera, la utilización de sistemas matriciales permite combinar indicadores de naturaleza disímil tales como las tasas de infiltración o escurrimiento superficial (variables cuantitativas) con el riesgo de deforestación (variable cualitativa), obteniendo así indicadores adecuados para la toma de decisiones.

Por otro lado, la evaluación realizada brinda resultados interesantes que permiten concluir que la cuenca del río Gavilanes –dadas sus características climáticas, de cubierta forestal e hidrológicas– presenta un alto potencial para el pago por servicios ambientales, que la convierten en una de las mayores surtidoras del vital líquido a la ciudad de Coatepec, Ver.

Las zonas de mayor prioridad para el pago por servicios ambientales se ubican en la parte central y alta de la cuenca, donde se concentran unidades ecológicamente conservadas, pero rodeadas por paisajes con intensos usos del suelo, situación que pone en riesgo la continuidad de los procesos hidrológicos y por tanto el abastecimiento de la ciudad. Sin embargo, también es importante mencionar el papel que juega la vegetación secundaria en el mantenimiento de la estabilidad de los procesos hidrológicos. Si bien los acahuales densos y ralos han perdido parte importante de su estructura, al igual que han sufrido una notable alteración en la composición florística, esto no afecta de manera significativa el papel hidrológico de estos fragmentos. Es por esto que entre las clases de alta y muy alta prioridad aparece una proporción importante de vegetación secundaria o en proceso de recuperación, dado que la vegetación primaria se localiza principalmente en zonas de poco

accesibilidad por lo que el riesgo de deforestación es relativamente bajo. La prioridad en cuanto al pago por servicios ambientales debe contemplar entonces la intención de garantizar la recuperación ecológica de estas unidades al tiempo de estimular la continuidad de los procesos hidrológicos que tantos beneficios ambientales nos brindan.

Como se resaltó en la fase descriptiva de este estudio, la característica fundamental de los poblados de esta cuenca es su alto grado de marginación, lo que resulta contrastante con la riqueza natural del territorio y los beneficios ambientales que brinda a los habitantes de la ciudad de Coatepec. La principal amenaza hacia las masas forestales y por tanto hacia la sustentabilidad del recurso agua es la pobreza; mientras no existan actividades económicas alternas más rentables que la cría de ganado extensivo o los cultivos de autoconsumo, la necesidad y la falta de perspectiva conducen a los pobladores hacia la deforestación y los usos extractivos de los recursos naturales. Por lo anterior, las alternativas de conservación del patrimonio hidrológico deben dirigirse fundamentalmente a modificar las actuales estructuras de producción, encaminándolas hacia formas más sustentables que permitan elevar el nivel de vida de los pobladores partiendo de reconocer la inequidad existente.