



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

---

---

**DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES**

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RECURSOS  
HIDROLÓGICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO  
CALNALI, HGO.**

**TESIS PROFESIONAL**

Que como requisito parcial  
para obtener el Título de

**INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA:

**ELEUTERIO AGUILAR MORENO**

*Chapingo, México, Noviembre de 2010*



La presente investigación de Tesis titulada **“VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RECURSOS HIDROLÓGICOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CALNALI, HGO,** realizada por Eleuterio Aguilar Moreno, fue dirigida por el Dr. Alejandro Sánchez Vélez, revisada y aprobada por el siguiente comité revisor y jurado del examen profesional, como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Dr. Alejandro Sánchez Vélez  
Presidente

Dra. Rosa María García Núñez  
Secretario

Dr. Bernard E. Herrera y Herrera  
Vocal

Dr. Adolfo Palma Trujano  
Suplente

Mc. Guillermo Carrillo Espinosa  
Suplente

Chapingo, Texcoco Edo. de México, Noviembre de 2010

## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la universidad Autónoma Chapingo por permitirme formar parte de ésta gran institución y a la División de Ciencias Forestales por haberme formado profesionalmente.

Al Dr. Alejandro Saches Vélez, por su apoyo y seguimiento en la realización del presente trabajo, por la amistad, confianza, el espacio brindado y por las atinadas observaciones realizadas.

Al Dr. Adolfo Palma Trujano por el aporte de ideas al presente trabajo, por la amistad y confianza otorgadas y por ser más haya de un gran profesor, una persona ejemplar.

A los miembros del comité revisor: Dra. Rosa M. Gracia Núñez, Dr. Bernard Herrera Herrera y Mc. Guillermo Carrillo Espinoza, por el tiempo dedicado a la revisión de éste trabajo y por sus valiosas observación para su mejora.

A todos los profesores que compartieron sus conocimientos con mi persona y por su labor incansable en la formación de profesionistas con calidad humana, en especial mis profesores de secundaria, Prof. Demetrio y Mtra. María Elena, por alentarme a seguir adelante en mis estudios y metas de superación personal.

A todas las personas que han creído en mí, que me han acompañado en mi camino y me han dado su confianza. Este trabajo es una meta en la cual todos han puesto de su parte para alcanzarla.

*Eleuterio Aguilar Moreno*

## DEDICATORIA

A mis padres, Emilia Moreno Galindo y Adrián Aguilar Cruz, por darme la dicha de la vida, estar siempre a mi lado y alentarme para superarme y ser una persona de bien. Por todo su amor, comprensión y esfuerzo.

A mi abuelita, Catalina Luna Calderón, por su cariño, comprensión, por ser un pilar en mi formación como persona y quien a pesar de estar lejos de ella, sé que espera que regrese a casa con bien cada vez que es posible.

A mis hermanos, Lucia, Damián y Juan, por todos los momentos que hemos compartido, por lo que habremos de compartir y por el amor que a pesar de la distancia nos ha mantenido unidos en todo momento.

A mi “Manzanita”, por ser parte de mi inspiración, por su amistad, sus risas, por todos los momentos que compartimos y por ser la mujer más linda del mundo.

A J. Alfredo Jiménez R., por los verdaderos amigos, por estar en todo momento, por no rajarse y por el gusto de una cerveza con los amigos. ¡¡¡¡Salud!!!!

A la banda, Ely, Juanita, Any, Celene, Melbys, Roke, Martín, Diego, Cristo, Noé, por todo lo que ha implicado el conocernos. A los “Tepes”, Fernando, Cornelio, J. Alfredo (Cora), Favián, y a mi colega Samuel, por todos los anécdotas que vivimos y que quedaran para su recuento en el futuro. A mis amigos y compañeros la EST. 29, en especial a Raúl, Efraín, Naye, José Luis, Samara y Maye; a los amigos de Preparatoria Felipe, Rosario, Toño y Abisai, por la verdadera amistad.

*Con cariño y admiración  
“ELE”*

## RESUMEN

La valoración de los servicios hidrológicos generados por las cuencas en todo el país, representa una prioridad dentro del desarrollo económico de los pueblos que se encuentran dentro de ellas. El Municipio de Calnali se localiza dentro de la Sierra Madre Oriental, en la Región hidrológica del Río Pánuco, presentando una topografía moderadamente accidentada. La microcuenca del Río Calnali abarca un área de 5,130.38 ha y un perímetro de 37.696 km. Mediante la caracterización de la zona, se determinaron tres usos potenciales del suelo, Bosques mesófilo, Pastizales y Agricultura de temporal, los cuales abarcan 2,612.33 ha, 2,205.35 ha y 312.79 ha respectivamente.

Dentro del sistema hídrico, las entradas anuales de agua por precipitación son de 102,609,678.52 m<sup>3</sup> lo cual representa el 100 %. Su distribución dentro de los componentes del balance hídrico son: Intercepción, 21.96 %; Escurrimiento medio 36.03 %; Evapotranspiración 17.50%, Infiltración, 19.03 %; Recarga subterránea, 4.79 % y Agua entubada, 0.69 %.

El cálculo de la disponibilidad del recurso hídrico que proporciona la microcuenca y la demanda que generan las comunidades, se estimaron con base al balance hídrico, lo cual dio como resultado una oferta de 19,294,135.08 m<sup>3</sup>/año y una demanda de 895,800.65 m<sup>3</sup>/año. De la misma forma, el valor de los recursos hidrológicos se calculó mediante estimación del valor de captación, el valor de protección y el valor del agua como insumo dentro de la producción, lo que nos dio un valor promedio de \$ 670.67 /ha/año.

La caracterización morfométrica indica que la microcuenca presenta forma oval-redonda a oval- oblonga, lo cual sugiere que la zona puede presentar cierto nivel de peligrosidad si se considera además su pendiente y que los tributarios pueden descargar sus corrientes al afluente principal en un corto tiempo.

**Palabras clave:** *Caracterización, Balance hídrico, Valoración económica, Microcuenca.*

## SUMMARY

The valuation of hydrological services generated by the basins in the country represents a priority within the economic development of the peoples living within them. Calnali Township is located within the Sierra Madre Oriental, in the Pánuco River Hydrological Region, presenting a moderately rugged topography. The Calnali River microwatershed covers an area of 5130.38 ha (51.30 km<sup>2</sup>) and a perimeter of 37.696 km. Through the characterization of the area, identified three potential land uses, which are: cloud forests, pastures and rainfed agriculture, which cover 50.9%, 43% and 6.1%, equivalent to 2612.33 ha, ha 2205.35 312.79 has respectively.

Within the water system, the annual water inputs are m<sup>3</sup> 102,609,678.52 which represents 100%. Their distribution within the components of water balance are: Intercept (21.96%), runoff half (36.03%), evapotranspiration (17.50%), infiltration (19.3%), groundwater recharge (4.79%) and piped water (0.69%).

The calculation of the availability of water resources provided by microwatershed and demand generated by communities, were estimated based on water balance, the result was an offer 19,294,135.08 m<sup>3</sup>/year and demand 895,800.65 m<sup>3</sup>/year. Similarly, the value of water resources was calculated by estimating the Value capture, Value protection and Value of water as an input into production, which gave us an average of \$670.67 /ha.

Morphometric characterization indicates that the microwatershed has an oval-round to oval-oblong, which suggests that the area may have some level of risk when considering further its slope and its tributary streams can download the main tributary a short time.

**Keywords: Characterization, Water balance, Economic evaluation, microwatershed.**

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
RESUMEN .....	IV
SUMARY .....	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
3. OBJETIVOS.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
4.1. Marco conceptual .....	5
4.1.1. Manejo integral de cuencas.....	6
4.1.2. Funciones de la cuenca .....	6
4.1.3. Servicios Ambientales de los Bosques .....	8
4.1.4. Valoración económica de la producción de agua .....	10
4.2. Marco económico – ecológico del agua.....	13
4.2.1. Concepto general del valor .....	13
4.2.2. Valoración de los activos naturales .....	14
4.2.3. Clasificación de valores .....	16
4.2.4. El valor económico total de los recursos hidrológicos.....	17
4.2.5. El recurso hídrico como flujo permanente de ingresos .....	22
4.2.6. Valor del agua según su uso.....	23
4.2.7 Agua captada por la microcuenca.....	25
4.3. Marco político .....	26
4.3.1. Subsidio Ambiental .....	27
4.3.2. Programas nacionales .....	27
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	31
5.1. Ubicación.....	31
5.2. Edafología .....	31
5.3. Geología .....	33
5.4. Tipos de Vegetación.....	33
5.5. Fauna.....	33
5.6. Hidrología.....	34
5.7. Clima .....	34
5.8. Orografía .....	36
5.9. Crecimiento demográfico .....	36
6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	38
6.1. Caracterización de la microcuenca .....	38
6.1.1. Delimitación de área de estudio .....	38
6.1.2. Elaboración del mapa base .....	39

6.1.3. Control terrestre .....	40
6.1.4. Cálculo de la pendiente y el área por rodal .....	40
6.1.5. Vegetación y cobertura.....	41
6.1.6. Clases de suelo.....	41
6.2. Balance Hídrico .....	41
6.2.1. Precipitación .....	43
6.2.2. Intercepción .....	43
6.2.3. Evapotranspiración .....	44
6.2.4. Escurrimiento medio.....	45
6.2.5. Infiltración.....	46
6.2.6. Recarga subterránea .....	48
6.3 Valoración económica de los recursos hidrográficos .....	49
6.3.1. Cálculo de la oferta del recurso hídrico .....	49
6.3.2. Cálculo demanda del recurso hídrico .....	50
6.3.3. Valor de captación hídrica del bosque.....	50
6.3.4. Valor de protección de la microcuenca .....	52
6.3.5. Valor del agua como insumo de producción .....	53
6.3.6. Valor promedio del agua.....	54
6.3.7. Trabajo en Campo .....	54
7. RESULTADOS .....	55
7.1. Caracterización de la microcuenca .....	55
7.1.1. Área de la microcuenca.....	56
7.1.2. Perímetro de la microcuenca.....	56
7.1.3. Longitud del cauce principal .....	56
7.1.4. Relaciones de drenaje.....	56
7.1.5. Morfometría comparativa .....	62
7.1.6. Análisis general .....	71
7.1.7. Cálculo del área y pendiente por rodal.....	73
7.1.8. Vegetación y porcentaje de cobertura .....	75
7.1.9. Geología .....	80
7.1.10. Edafología y Textura .....	82
7.1.11. Riesgo de erosión.....	84
7.2. Balance hídrico.....	88
7.2.1. Volumen de agua captada en la cuenca .....	88
7.2.2. Intercepción de la precipitación .....	89
7.2.3. Escurrimiento medio.....	90
7.2.4. Evapotranspiración .....	91
7.2.5. Infiltración.....	92
7.2.6. Recarga de acuíferos y agua subterránea extraída.....	95
7.3. Valoración económica de servicios hidrográficos.....	97
7.3.1. Oferta del recurso hídrico .....	98

7.3.2. Demanda del recurso hídrico.....	99
7.3.4. Valor de captación hídrica del bosque.....	100
7.3.5. Valor de protección y restauración de la microcuenca .....	102
7.3.6. Valor del agua como insumo de la producción.....	102
7.3.7. Valor promedio del bosque por la producción hídrica. ....	103
7.4. Estructura tarifaria .....	104
7.4.1. Estructura tarifaria general.....	105
7.4.2. Estrategia de cobros .....	105
8. PROPUESTAS DE MANEJO DE LA MICROCUENCA.....	106
9. CONCLUSIONES.....	109
10. RECOMENDACIONES.....	111
11. LITERATURA CITADA .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pag.
Fig. 1. Localización de la microcuenca del Río Calnali. ....	32
Fig. 2. Unidades climatológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali. ....	35
Fig. 3. Modelo digital de elevaciones de la microcuenca del Río Calnali.....	37
Fig. 4. Climodiagrama (Estación Tlanchinol) .....	43
Fig. 5. Delimitación de la microcuenca del Río Calnali, Hidalgo. ....	57
Fig. 6. Planta hidrográfica de la microcuenca del Río Calnali. ....	59
Fig. 7. Mapa de uso de suelo y vegetación. ....	79
Fig. 8. Unidades geológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali. ....	81
Fig. 9. Unidades edafológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali.....	83
Fig. 10. Mapa de Riesgo de erosión .....	87
Fig. 11. Componentes del Balance hídrico en la microcuenca del Río Calnali.....	97
Fig. 12. Propuestas de conservación y recuperación de la microcuenca de Calnali, Hgo. ....	108

## ÍNDICE DE CUADROS

---

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Valor económico total y técnicas de valoración económica .....	18
Cuadro 2. Apoyos otorgados por concepto de reforestación.....	28
Cuadro 3. Apoyos por concepto de restauración de suelos .....	28
Cuadro 4. Apoyos concepto de Servicios Ambientales.....	29
Cuadro 5. Evolución demográfica del municipio de Calnali, Hidalgo.....	36
Cuadro 6. Valores del coeficiente de intercepción por tipo de vegetación.....	44
Cuadro 7. Valores de C para el cálculo del escurrimiento .....	45
Cuadro 8. Clasificación de corrientes.....	58
Cuadro 9. Orden y número de corrientes .....	62
Cuadro 10. Determinación de $S_x$ y $S_y$ de la pendiente ponderada por el método de Horton. ....	68
Cuadro 11. Intersecciones de las cotas con los puntos de la malla. ....	70
Cuadro 12. Parámetros de la caracterización hídrica de la Microcuenca del Rio Calnali. ....	72
Cuadro 13. Parámetros topográficos de la microcuenca del Rio Calnali .....	72
Cuadro 14. Valores de área y pendiente por rodal.....	74
Cuadro 15. Numero de rodales y área por usos del suelo. ....	75
Cuadro 16. Especies forestales presentes en el bosque mesófilo. ....	76
Cuadro 17. Vegetación presente en pastizales de la microcuenca de Calnali, Hidalgo.....	77
Cuadro 18. Especies agrícolas presentes en Calnali, Hidalgo. ....	78
Cuadro 19. Unidades geológicas presentes en la microcuenca.....	80
Cuadro 20. Unidades Edafológicas presentes en la microcuenca y su porcentaje.....	82
Cuadro 21. Valores de Erosión Potencial y Tasa de Erosión Actual por uso de suelo .....	85
Cuadro 22. Erosión Potencial y Tasa de Erosión Actual por rodal .....	86
Cuadro 23. Clasificación del riesgo de erosión .....	86
Cuadro 24. Volumen de agua captada en la microcuenca del Rio Calnali.....	88
Cuadro 25. Determinación de la intercepción por rodal. ....	89
Cuadro 26. Escurrimiento superficial medio por rodal.....	90
Cuadro 27. Evapotranspiración por rodal.....	91
Cuadro 28. Infiltración media por rodal.....	94
Cuadro 29. Volumen de agua potable suministrada en la microcuenca del Rio Calnali. ....	95
Cuadro 30. Recarga de mantos acuíferos y agua entubada extraída de manantiales. ....	96
Cuadro 31. Balance de la cuenca del Rio Calnali, Hgo. ....	96
Cuadro 32. Demanda hídrica del Municipio de Calnali, Hidalgo .....	99

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de cuenca hidrográfica es definido como un área surcada por un sistema de corrientes formadas por los escurrimientos producto de la precipitación que fluye hacia un cauce común, ya sea en un afluente más grande (una laguna o el mar), obedeciendo a las variaciones topográficas del terreno (Sánchez, 1987). Hoy en día varios países al igual que México, han denominado a la cuenca geográfica como la unidad básica para la planeación, manejo y control de los recursos naturales, aprovechando la sinergia que se observa por parte de los componentes que la forman.

Es evidente que los recursos naturales con que cuenta el país, constituyen la base para el desarrollo económico y social de sus habitantes. Hasta hace algunas décadas, los recursos naturales renovables, solían tener un carácter de abundantes e ilimitados; hoy en día, debido al aprovechamiento no restringido de ellos, han adquirido la condición de escasos y agotables (Cardoza, 1990). México figura dentro de los tres países con más alta deforestación en América Latina con una pérdida anual de 348,000 hectáreas/año para la década comprendida entre 1990 y 2000 y de 260,000 hectáreas/año entre 2000 y 2005 (FAO, 2006).

Como parte de las estrategias tomadas en México, se ha puesto en marcha desde la década de los 90's el programa denominado Pago por Servicios Ambientales (PSA) como una de las alternativas más prometedoras con la cual el país busca promover la conservación de sus recursos naturales, haciendo partícipes a los poseedores y dueños de éstos (SEMARNAT, 2010).

Según la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de México (LGDFS) publicada por la Cámara de Diputados (2008), los servicios ambientales se definen como: *“los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales, tales como provisión de agua en calidad y cantidad; la captura de carbono y de contaminantes; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto*

*de los fenómenos naturales: la regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros”.* (Capítulo II, Art. 7: XXXVII).

En México, el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), es la forma en la cual se remunera económicamente a los poseedores de los bosques de montaña por mantener en condiciones óptimas la densidad del dosel, para promover la recarga subterránea y se garantice la existencia de las corrientes superficiales a la vez que son controladas las crecidas. En 2003, con la publicación de las reglas de operación del programa del Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en el Diario Oficial de la Federación (DOF), se marca el inicio de éste ambicioso proyecto, cuyo objetivo es complementar otras iniciativas de conservación a través de incentivos económicos. Para el 2008 se tuvo un ejercicio fiscal por éste concepto de 70 millones de pesos para la conservación de más de 25 mil hectáreas integradas dentro de este programa, de los 25 millones de hectáreas potencialmente elegibles para el PSAH (CONAFOR, 2010).

La microcuenca en estudio es la principal fuente de producción del recurso hídrico del Municipio de Calnali, Hgo., y poblaciones cercanas, por lo que es necesaria la valoración éste recurso que es utilizado dentro de las labores cotidianas e indispensable en las actividades productivas de la zona.

El recurso hídrico juega un papel importante en el desarrollo de los ecosistemas y de la calidad de vida de las personas, los cuales dependen indiscutiblemente del abasto éste en calidad y cantidad. Considerando que el agua es uno de los principales activos para el desarrollo de las actividades diarias, es necesario calcular su demanda y la oferta, con el fin de integrarlos dentro de un programa sustentable de pagos por concepto de la utilización de éste servicio y canalizar el recurso para el mantenimiento de la microcuenca.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Municipio de Calnali cuenta con gran diversidad de recursos naturales, los cuales han estado en constante deterioro a casusa de la intervención del hombre. Las zonas boscosas son las que presentan mayor perturbación. Es sabido que los bosques prestan varios servicios ambientales; los cuales, por presentar elementos que no son visiblemente cuantificables o medibles, han sido poco valorados económicamente. La perturbación de la parte alta de la microcuenca de Calnali, Hidalgo, ha provocado el deterioro del suelo y por consiguiente el arrastre de sedimentos, inundaciones, azolve de los causes y el arrastre de rocas, entre otros daños.

El Municipio se encuentra dentro de una zona en la cual el recurso hidrológico es abundante; sin embargo, la perturbación en la parte alta de la microcuenca ha causado que en épocas de lluvia el río incremente su caudal a tal grado de causar daños a la infraestructura vial, civil, de comunicación, a los cultivos, etc., causando daños económicos tanto a los pobladores como al Municipio. La microcuenca en estudio es una importante fuente de servicios ambientales, como belleza escénica, captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hábitat para la fauna y captación de agua entre otros; este último es el que presenta mayor importancia para nuestro estudio y para el bienestar el Municipio.

La reducción de las áreas boscosas es la principal problemática de la microcuenca y junto con esto, la disminución de la infiltración. Al no contar con una cubierta vegetal apropiada, se aumenta el trasporte de sedimentos y disminuye la calidad del agua. A lo anterior debemos añadir que dentro la zona no se cuenta con ningún tipo de estímulos que promuevan la conservación de los recursos forestales, provocando que éstos sean extraídos por sus dueños con el fin de obtener un ingreso económico, originando graves daños a la estructura del lugar.

### **3. OBJETIVOS**

La presente investigación plantea los siguientes objetivos:

#### **1) Objetivo general**

Estimar el valor económico del recurso hídrico en la Microcuenca del Río Calnali, para la recomendación de mecanismos efectivos de Pago de los Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH).

#### **2) Específicos**

1. Caracterizar a la Microcuenca del Río Calnali, Hidalgo.
2. Identificar el método de valoración económica más apropiado para las condiciones naturales de la Microcuenca del Río Calnali.
3. Cuantificar los servicios hidrológicos en las cuencas en función de sus principales usos.
4. Proponer un mecanismo de pago por el servicio ambiental hídrico, basado en los resultados del estudio.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

La cuenca ha sido considerada como la unidad básica para la planeación y ejecución de prácticas de conservación de ésta. La riqueza que se encierra dentro de nuestra unidad de estudio es comprendida por una gran lista de elementos de flora y fauna; los cuales, en los últimos años han venido sufriendo de la perturbación consecutiva y prolongada provocada por los cambios de uso de suelo, la deforestación y el mal manejo de los recursos existentes en la zona.

Dentro del mismo marco, se ha considerado a la valoración de los recursos, cualquiera que se encuentre dentro de la microcuenca tal como el maderable, plantas medicinales, fauna, belleza escénica, entre otras, como parte importante de la riqueza con la que se cuenta en el lugar y a la cual no se le ha podido otorgar un valor monetario, por no considerarse requerido o necesario ya que algunos de éstos bienes son vistos como intangibles.

La diversidad biológica puede entenderse como las varias formas de vida existentes, las funciones ecológicas que realizan y la diversidad genética que contiene (FAO, 1989). En los bosques ésta diversidad permite que las especies se adapten continuamente a condiciones ambientales cambiantes, mantengan su potencial de crecimiento y mejora de los arboles (para satisfacer las necesidades humanas de bienes y servicios y para cualquier nuevo uso final), y cumplan sus funciones en el ecosistema.

### **4.1. Marco conceptual**

Para el manejo de los recursos naturales se ha establecido a la cuenca como unidad básica de planeación e intervención, por integrar de forma especial los elementos naturales, sociales, económicos, culturales, etc. Para tener una visión objetiva es necesario conocer el tema, para lo que en los apartados siguientes se dan los aspectos básicos que intervienen en el manejo de cuencas y las funciones que desempeña en el desarrollo de los pueblos que se encuentran dentro de ellas.

#### **4.1.1. Manejo integral de cuencas**

Según la SEMARNAT (2010), el manejo integrado de cuencas puede ser entendido como el proceso de formular y aplicar un conjunto de operaciones y acciones de acuerdo con los problemas y a la situación actual en que se desenvuelve la cuenca para cumplir con ciertos objetivos propuestos.

Para Orosco (2003), el manejo integrado de cuencas es un proceso en el cual es necesaria la toma de decisiones sobre los usos y las modificaciones que pueden sufrir los recursos naturales dentro de una cuenca. Además, considera que para su manejo es necesaria la aplicación de conocimientos sobre las ciencias sociales y naturales, además de poner a la población como uno de los elementos más importantes para poder llevar a cabo la toma de decisiones, planificación y concertación de las actividades encaminadas al manejo de una cuenca.

Por otro lado, para poder comprender el funcionamiento y manejo adecuado del recurso hídrico en las cuencas, es necesario primero entender el comportamiento del ciclo hidrológico, de igual manera y no menos importante, es necesario considerar a la vegetación, las condiciones físicas del terreno, las características del suelo, los problemas del uso del suelo y del agua, ya que sin esto no sería posible que el ciclo hidrológico pudiera concluir, pues la recarga de acuíferos y la intercepción del agua de lluvia es realizada en primera instancia por la vegetación presente en la zona.

#### **4.1.2. Funciones de la cuenca**

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de sus elementos estructurales pueden ser vistos como un sistema, donde dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos. La cuenca presenta una gran variedad de funciones por lo que el Instituto Nacional de Ecología (INE), (2003), las ha agrupado de la siguiente manera:

### **a) Función Hidrológica**

- ✓ Captan agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- ✓ Almacenan agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- ✓ Descarga del agua como escurrimiento.

### **b) Función Ecológica**

- ✓ Proporciona diversidad de sitios y rutas (ríos y arroyos) a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- ✓ Provee hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

### **c) Función Ambiental**

- ✓ Constituyen zonas captadoras de CO<sub>2</sub>
- ✓ Alberga bancos de germoplasma.
- ✓ Regula la recarga hídrica.
- ✓ Conserva la biodiversidad.

### **d) Función Socioeconómica.**

- ✓ Proporciona recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- ✓ Brinda un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

Los principales componentes del Manejo Integral de Cuencas y los beneficios de su planeación con base a ésta, según la SEMARNAT (2010) son:

- ✓ Manejo y control de áreas degradadas o deterioradas, extensión comunitaria, manejo y conservación de suelos, manejo de ganado y pradera nativa, control hidráulico de cauces y torrentes.
- ✓ El concepto y la visión de cuenca generan en la población involucrada interés, capacidades y medios para realizar el manejo sostenible de los recursos naturales.
- ✓ Para comprender la importancia del manejo de cuencas es fundamental la comprensión del flujo del agua, o sea el ciclo hidrológico.
- ✓ El ciclo hidrológico es afectado si se modifica la vegetación, las características físicas del suelo, el uso del suelo y del agua.

#### **e) Beneficios de la planeación con base a las Cuencas Hidrográficas.**

- ✓ Producción de agua para el abastecimiento de poblaciones.
- ✓ Producción de agua para generar energía hidroeléctrica.
- ✓ Uso múltiple de todos los recursos de la tierra.
- ✓ Obtención de agua para riego.
- ✓ Producción de madera.
- ✓ Para labores agropecuarias.
- ✓ Recreación.
- ✓ Conservación de los recursos naturales.

#### **4.1.3. Servicios Ambientales de los Bosques**

Los servicios ambientales del bosque pueden ser considerados como aquellos beneficios que la gente recibe de los diferentes ecosistemas forestales, ya sea de forma natural o por la intervención del hombre mediante un manejo sustentable de los recursos, a nivel local, regional o global. Los servicios ambientales influyen directamente en el mantenimiento de la vida, generando beneficios y bienestar para las personas y las comunidades (CONAFOR, 2009).

Son varios los servicios que los bosques prestan a la sociedad, entre los cuales es posible mencionar la captación de agua, mitigación de los efectos del cambio climático, generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes, protección de la biodiversidad, retención de suelo, refugio de fauna silvestre y la belleza escénica, entre otros.

Si bien, la subsistencia y el desarrollo de la sociedad dependen del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, se hace inconcebible el grado de alteración que se le ha causado a los ecosistemas. El pago por estos servicios es la alternativa más prometedora para poder contrarrestar este problema.

Para esto Burstein et al., (2002 : 6) dice que: *“El Pago de Servicios Ambientales puede entenderse como la retribución por la mitigación del deterioro, restauración y/o incremento, en forma consciente, de los procesos ecológicos esenciales que mantienen las actividades humanas a través de la producción de alimentos, la salud, la generación de energía eléctrica, el mantenimiento del germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos, la estabilidad climática, la generación de nutrientes y en general el aprovechamiento de los recursos naturales”*.

El mismo autor reconoce, además del *capital financiero*, el *capital natural* y el *capital social*, relacionado con esquemas entre organizaciones y otros actores sociales, como fundamento del Pago por Servicios Ambientales (PSA). De la misma forma, y como existen en casi toda situación de mercado, se identifican como los tres actores básicos del PSA a los siguientes:

- ✓ El *beneficiario* o *usuario* del servicio ambiental; en particular se puede identificar al comprador o quien paga por el servicio ambiental.
- ✓ El *proveedor* del servicio ambiental, quien corresponde al dueño, usufructuario, o como término más general, el *poseedor* de la superficie o territorio donde se genera el servicio.

- ✓ Los *intermediarios* conforman la tercera clase de actores, y corresponden a las funciones de: (a) asistencia técnica, (b) certificación, (c) gestión de fondos, y (d) comercialización.

Sin embargo, la evaluación de los servicios ambientales que ofrecen los bosques conlleva una serie de dificultades y limitaciones, derivadas de poner un precio a la naturaleza. Junto al problema de la falta de mercado, el establecimiento de una clara relación causal que vincule al bosque con un determinado servicio es una de las limitaciones señaladas habitualmente dentro del pago por servicios ambientales (Landell-Mills y Porras, 2002).

La dificultad es más marcada en el caso de las funciones hidrológicas y climáticas, donde hay fuertes divergencias de apreciación. Por ejemplo, aunque la relación de la cubierta forestal con la calidad del agua y el control de la erosión es generalmente reconocida, su relación con la disponibilidad de agua y el control de inundaciones están sujetos a varias interpretaciones. El cambio en la percepción del valor total de los bosques y como deben ser utilizados está marcado por una concienciación creciente sobre la importancia de los servicios ambientales y por propuestas para captar parte de este valor. La evaluación económica de los servicios ambientales se ha centrado en cuatro bloques fundamentales: biodiversidad, fijación de carbono, servicios hidrológicos y belleza escénica / recreación. La conservación de la biodiversidad y la función protectora de suelos y cuencas hidrográficas son los servicios reconocidos desde hace más tiempo (Ruiz *et al*, 2007; Burstein, 2002).

#### **4.1.4. Valoración económica de la producción de agua**

Generalmente los servicios ambientales se dice que son beneficios intangibles, por no presentarse de forma física y que, a diferencia de los bienes o productos naturales como es el caso de la madera, los frutos y las plantas medicinales de los cuales la sociedad se beneficia directamente, los servicios ambientales no se “utilizan” o “aprovechan” de ésta forma, sin embargo otorgan beneficios como un buen clima, aire limpio, o simplemente un paisaje bello.

Orosco (2003), menciona que dentro de los proyectos productivos en los cuales se hace partícipe a la naturaleza no se consideran los costos por éste concepto, sino que solo se incluyen el costo de las obras de ingeniería necesaria para el funcionamiento, ignorando la conservación de las cuencas y el tratamiento de las aguas servidas.

El valor económico de un recurso existe cuando éste es escaso y cuando los usuarios están dispuestos a pagar un precio por él (Burstein, *et al*, 2002). En este sentido, el valor de un recurso se mide en términos de la contribución de éste dentro de las actividades productivas en las cuales es utilizado. El agua es el mejor ejemplo de la utilización de un recurso natural por participar en una gran cantidad de actividades productivas además de la utilización humana.

Valorar económicamente un servicio ambiental, en éste caso el agua, significa poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad, que permita compararlo con otros componentes del mismo; es decir, el valor que representa su uso dentro de cierta actividad. Para ello se debe utilizar un denominador común que ayude a medir su valor y que, en general, no es más que el componente monetario.

#### ***4.1.4.1. Métodos de valoración económica del agua***

Existen metodologías de valoración económica aplicables a diferentes bienes. Para la valoración de un recurso natural, generalmente se utilizan las metodologías indirectas que consideran aspectos como cambios en la productividad, cambios en las ganancias, costos de mitigación y preventivos, costos de reemplazo, costos de reubicación y costos de oportunidad, etc., y más generalmente las que consideran la relación beneficio-costos.

A continuación se describen algunos enfoques básicos para determinar el valor económico del agua según diversos autores:

### ***a) Estimación del valor del agua a partir de una función de producción***

Serrano (1990) menciona que, la valoración de los bienes no comerciales puede realizarse estimando la función de demanda para el bien en cuestión. El mismo autor menciona que esta técnica se ha utilizado en la valoración del agua de riego, donde se ha estudiado la respuesta de varios cultivos a la aplicación de agua; es decir, el agua es considerada un insumo más dentro del éste proceso de producción.

Por su parte, Pérez (2003) menciona que para que una función de producción sea correcta se deben reunir las siguientes condiciones:

- ✓ Identificar y cuantificar todos los insumos importantes
- ✓ Estimar adecuadamente la función y nivel de producción asociada con los insumos descritos arriba.
- ✓ Tener cuidado cuando el agua contribuye en una pequeña fracción al valor de la producción.

### ***b) Asignación residual***

Esta forma de valoración económica es uno de los métodos más aplicados para valorar agua, especialmente cuando se trata de agua de riego. En él se determina la contribución incremental de cada insumo en el proceso de producción. Si se pueden asignar precios apropiados a todos los insumos, menos a uno, este residual del valor total del producto se asigna al insumo residual (Pérez, 2003).

El mismo autor menciona que esta forma de valoración del agua se basa en dos supuestos. Primero, se asume que unos productores quieren maximizar sus ganancias y por lo tanto agregarán insumos hasta el punto que el valor marginal del producto sea igual al costo de oportunidad del insumo. El segundo supuesto asume que el valor total del producto puede ser dividido en distintos recursos, los cuales son pagados de acuerdo a su productividad marginal.

### *c) Cambio en el ingreso neto*

Muchas veces el objetivo es estimar el valor que contribuye un incremento o reducción de agua, antes que la cantidad entera. Para esta situación, se usa el método del cambio en el ingreso neto, a veces conocido como método de cambio de productividad o valoración del cambio de productividad (Pérez, 2003).

Serrano (1990) menciona que este enfoque requiere los mismos supuestos que el enfoque de asignación residual; a decir, que los recursos son asignados óptimamente; que los precios de los productos y de los factores reflejan correctamente los valores sociales, y que todos los insumos son representados adecuadamente en los cálculos.

### *d) El método de costo de oportunidad*

El método de Costo de Oportunidad considera los costos en que se incurriría si se quiere evitar el deterioro o restablecer las cualidades de un determinado recurso de acuerdo con estándares considerados como aceptables (Montecillo, 2002, citado por Orosco en 2003).

## **4.2. Marco económico – ecológico del agua**

El agua es visualizada como un servicio ambiental, el cual tiene valor económico además de tener un valor ecológico y hoy en día un valor social, es proveedora de desarrollo y está estrechamente relacionada con la economía por el lugar que ocupa en la mayoría de los procesos productivos. Los siguientes apartados muestran lo antes planteado.

### **4.2.1. Concepto general del valor**

Al hablar del valor, es necesario primero mencionar el concepto de escases, el cual tiene un papel preponderante dentro del valor asignado a un producto o recurso. La materia prima que es esencial para un proceso y que a la vez es escaso, tendrá un valor alto; por el

contrario, si un servicio u objeto no es demandado para poder llevar a cabo un proceso productivo o para generar un servicio, independientemente de que sea escaso o abundante, este tendrá un valor bajo o nulo.

Leos (1994), citado por Cuenca (2005) menciona que el valor aparece si el recurso sirve para cubrir las necesidades o intereses de quienes les asignan valor. Y como se ha mencionado, la demanda de servicios proporcionados por la naturaleza se ha ido incrementando, y ahora son considerados como recursos escasos, los cuales deben contar con un costo.

Sin embargo, hasta ahora se ha mencionado el concepto de valor de forma general, por lo que referente a los recursos naturales se ha establecido el concepto de valor ecológico, el cual puede ser definido como “la suma de los bienes naturales dentro de un ecosistema y los procesos necesarios para reponer el bien natural desgastado y empleado, dado a la realización del potencial productivo del ecosistema” (Torres, 2001:39).

#### **4.2.2. Valoración de los activos naturales**

Cada vez con mayor frecuencia, los gestores públicos se enfrentan a la tarea de determinar el valor de algunos bienes y servicios que la naturaleza presta y que carecen habitualmente de precio del mercado o cuyo valor refleja escasamente la función o servicio prestado. Los servicios naturales son considerados por la sociedad como un patrimonio de alto valor cuya contribución innegable al bienestar social resulta difícil cuantificar. Razón por la cual no se tiene en cuenta su aportación al ingreso o al desarrollo (Esteban, 2006).

La percepción de que las funciones y servicios ambientales que prestan los bosques no son “gratis” no es ni mucho menos común y no solo desde la óptica individual sino incluso la colectiva. Parece que los ríos deberán mantenerse limpios, independientemente de los contaminantes que les aportemos, los bosques deberían absorber todas las emisiones de gases o el suelo debería mantenerse fértil aunque le se desprovisto de su cubierta vegetal.

Todas las acciones del hombre en las cuales se incluya a la naturaleza deben cobrar un precio, el cual generalmente es ecológico y en contra de nuestro bienestar. El grado en el cual influyamos dentro de los bosques puede hacer que la naturaleza no sea hasta cierto punto, capaz de mitigar naturalmente. Es por esto mismo que mantener éstos activos naturales en buenas condiciones de calidad y realizando funciones para la sociedad, cuestan esfuerzo, dedicación, trabajo y dinero, en consecuencia es necesario evaluar y cuantificar los servicios ambientales para que puedan ser contabilizados adecuadamente (Esteban, 2006).

Barrantes y Vega (2001) mencionan que mantener el equilibrio de las reservas de agua requiere de costos asociados con la protección de bosques y fuentes generadoras de agua (cuencas adecuadamente protegidas), para prevenir la disminución de la calidad o bien, para mantener un flujo constante todo el año. Estos costos se pueden obtener bajo la valoración indirecta no comercial.

Los servicios ambientales, en éste caso el hidrológico, son considerados bienes comunes por lo que no tiene un mercado directo en el cual figuren como un insumo más y se les asignara un valor de acuerdo a su participación dentro de los procesos productivos. Si bien al contrario, contarán con un mercado directo, sería fácil partir de la premisa de que cualquier activo puede ser valorado por el mercado que lo utiliza (Orosco, 2003).

Dentro de las actividades económicas presentes en la Microcuenca del Río Calnali destaca la forestal y la ganadería, las cuales representan los usos alternativos de los bosques. Lo anterior sugiere que para poder establecer a los servicios hidrológicos como la alternativa idónea del uso de los bosques, estos deben ser económicamente más rentables que el uso del suelo con fines de ganadería y extracción de madera.

Orosco (2003), menciona que los servicios ambientales generalmente presentan un tipo de valoración indirecta, ya que se consideran como bienes intangibles. En este sentido, la estimación de los costos generados por la protección del medio ambiente, los gastos en el restablecimiento y rehabilitación de las cuencas, se realiza con base a la disposición de la

gente a pagar para proteger la calidad del agua o de los gastos efectivos anuales en que se ha incurrido, para mitigar la degradación de la microcuenca en términos de costo por reforestación, preparación del terreno, plantación de árboles y otras labores de conservación. Para lo anterior, el costo de reemplazo es un método de valoración indirecto y puede ser utilizado para estimar los costos por concepto de la degradación de la calidad del agua y su agotamiento.

En síntesis, para la valoración del agua pueden utilizarse dos formas, la primera enmarcada en que existe un mercado meta y se puede vender un determinado servicio ambiental, en este caso el hidrológico, el cual posee un costo dentro de los procesos productivos; y el segundo, considerando que al no haber mercados, es necesario considerar la voluntad de pago de la gente, o disponibilidad a pagar del consumidor para la conservación de un recurso, ecosistema o por recibir un bien o servicio.

#### **4.2.3. Clasificación de valores**

Para poder asignar un valor a los recursos hidrológicos es necesario primeramente identificar las formas en los cuales se da éste proceso de valoración; según De Alba (1999), citado por Cuenca (2005), la valoración de estos recursos se puede llevar a cabo mediante los conceptos de uso y no uso.

El valor de uso hace referencia a los recursos que pueden ser aprovechados directamente; a la vez, éste se puede dividir en tres partes, el valor de uso indirecto, el valor de uso indirecto y el valor de opción; el primero hace referencia a los servicios o productos que son reconocibles a primera vista mediante el consumo o de la percepción de los individuos que lo utilizan; el segundo se refiere a los servicios que podemos recibir de la naturaleza de forma no tangible y el tercero contempla los usos potenciales de los recurso hidrológicos en lo futuro ya sea de forma directa o indirecta.

En lo que refiere al uso de los recursos hidrológicos, lo anterior corresponde al total de flujo de agua que puede ser aprovechado y que tiene valor como insumo y la parte de lo

captado por la microcuenca que es utilizado como insumo fijo que no tiene un uso económico directo, pero que es necesario para que los ecosistemas puedan mantenerse.

El valor de no uso abarca los de herencia y los de existencia; es decir, al valor que le podemos otorgar a estos recursos sin la necesidad de utilizarlos directamente. Burstein (2002), menciona que este concepto se puede dividir en dos, el valor opcional y el valor de existencia; el primero corresponde a los recursos que se utilizaran en el futuro, es decir, solo es posible evaluar el valor del recurso hidrológico que se utiliza en el momento, pero no el valor que puede tener en un futuro para las siguientes generaciones, el segundo valor, el de existencia, es el que adquieren los recursos ante la irreversibilidad de perderse; es decir, es el valor que todo recurso tiene por el simple hecho de contribuir a los aspectos estéticos, culturales o religiosos en cierto lugar.

#### **4.2.4. El valor económico total de los recursos hidrológicos**

Considerando los apartados anteriores se hace fácil entender el concepto de valor total; de forma simple, se puede hacer referencia a éste como la suma del valor de uso y de no uso, el cual aplicándolo a la valoración de los recursos hidrológicos toma en cuenta el valor de uso directo del agua como lo es el consumo para la industria, el comercio, la agricultura o el consumo doméstico; y el uso indirecto, el cual está relacionado al mantenimiento de las funciones de los ecosistemas como son el mantenimiento de otras formas de vida, funciones productivas del bosque, entre otras.

La valoración de los recursos naturales presenta un tipo de estimación especial dependiendo del servicio que presten a la sociedad. En la medida que los beneficios que brinda un bien o servicio se vuelven más intangibles, es más compleja su cuantificación, por lo que varias disciplinas se han dado a la tarea de proponer una serie de métodos y técnicas que permiten aproximar los valores de estos bienes y servicios naturales que no cuentan con un mercado explícito (Miranda, 2004).

Para poder calcular el Valor Económico Total por concepto del recurso hidrológico en la microcuenca, es necesario primero conocer el volumen que entra al sistema y el cual contempla a la vez el cálculo del balance hídrico, además de los volúmenes retenidos en embalses y el agua que es controlada de forma natural.

El Cuadro 1 presenta en forma sintetizada los valores directos, valores de uso, valores de opción y valores de existencia y los principales métodos con los que se puede abordar su estimación.

**Cuadro 1. Valor económico total y técnicas de valoración económica**

	Valor de uso			Valor de no uso
Valores	<b>1. Directos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Productos derivados del bosque.</li> <li>○ Productos no maderables (alimentos, medicinas, material genético)</li> <li>○ Educación,</li> <li>○ Usos recreacionales y culturales.</li> <li>○ Hábitat humano.</li> <li>○ Amenidades</li> <li>○ Agua embotellada.</li> <li>○ Agua como insumo productivo</li> </ul>	<b>2. Indirectos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Protección de cuencas.</li> <li>○ Retención de Nutrientes.</li> <li>○ Mitigación de gases de efecto invernadero.</li> <li>○ Regulación del microclima</li> <li>○ Retención de sedimentos.</li> <li>○ Regulación de flujos.</li> <li>○ Atenuación de inundaciones.</li> </ul>	<b>3. De opción</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Usos futuros.</li> </ul>	<b>4. Existencia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Biodiversidad</li> <li>○ Cultura, herencia</li> <li>○ Valores intrínsecos</li> </ul>
	Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Basados en precios de mercado-valoración directa</li> <li>○ Bienes sustitutos o relacionados</li> <li>○ Valoración contingente</li> <li>○ Precios hedónicos</li> <li>○ Costos de reemplazo</li> <li>○ Análisis de múltiples criterios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Función de producción</li> <li>○ Gastos preventivos</li> <li>○ Costos de reemplazo</li> <li>○ Análisis de múltiples criterios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Valoración contingente</li> <li>○ Análisis de múltiples criterios</li> </ul>

Fuente: Miranda *et al.* (2004).

De la misma forma, es necesario considerar una serie de componentes que están relacionados con los recursos hidrográficos y los cuales son necesarios para poder estimar un costo más cercano al que realmente poseen. Dentro de estos componentes se encuentran los siguientes.

### **A) El costo de oportunidad del uso alternativo del suelo**

El valor de los servicios ambientales que la microcuenca presta a la sociedad, depende de que tan asociado esté con las actividades productivas. El valor de estos servicios contempla actividades como la producción de madera, belleza escénica, sumideros de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), fauna silvestre y más; sin embargo, dentro de estas anteriores, hay actividades que remuneran económicamente más que otras. Son estas actividades las que establecen el valor del uso actual del suelo.

El cambio de uso de suelo se considera como la alternativa económica próxima más rentable de sustitución de una actividad por otra en una determinada área o superficie. El cambio de uso del suelo es justificable solo si la nueva actividad realizada iguala o supera el costo de oportunidad del valor que generan los recursos naturales (Castro y Barrantes, 1998; citados por Orosco, 2003).

Cada servicio prestado por la naturaleza es portador o generador de un valor, el cual puede ser comparado económicamente con otra actividad y en lo posible sustituida. Un ejemplo de lo anterior puede ser, el uso maderable de las áreas forestales contra el valor que generan éstas áreas al mantenerse sin alguna intervención del hombre y generando bienes como el recurso hídrico, belleza escénica y más. Lo anterior nos conduce a considerar que para poder mantener una determinada área de bosques dentro de los esquemas de producción de servicios ambientales (en éste caso hidrológicos) o solo con el fin de protección de los recursos naturales, es necesario considerar que el beneficio económico anual por hectárea debe ser mayor que el de la extracción de madera, leña o el uso agropecuario de éstas mismas áreas.

El cambio de uso de suelo no solo implica la estimación de la aportación económica de cada uso que se le dé a éste, sino la demostración social de alternativas económicas más rentables; es decir, es necesario demostrar que es mayor el valor que se genera por otros conceptos que el de los actuales, que en este caso es el uso forestal, por el de los servicios hidrológicos considerando cantidad y calidad del servicio prestado por el bosque.

## **B) Valor de la productividad hídrica del bosque**

Desde hace varios años, dentro de los servicios ambientales se ha introducido un concepto que advierte la utilización de los recursos naturales mediante una concepción de mantenimiento y de protección, con lo cual se asegure el aprovechamiento por las generaciones presentes, sin perjudicar su disponibilidad de éstos recursos para generaciones venideras, este concepto es el de sostenibilidad.

El concepto de sostenibilidad es aplicado a los recursos hidrológicos ya que es un servicio ambiental prestado por el bosque y el cual se puede considerar como el mantenimiento de la cantidad y calidad del agua, además de la persistencia del flujo del agua que es aprovechado por la sociedad; junto con lo anterior, se deben incluir otros benéficos que se reciben de parte del bosque como los que ya se han mencionado en aparatos anteriores y que son considerados como de uso no directo. Por lo anterior, se puede decir que los bosques son de gran importancia por su participación en procesos como la intercepción, infiltración, regulación de corrientes superficiales, etc.

El nivel de protección y de productividad de la microcuenca depende de la cubierta vegetal que presente, la cual será mayor si su densidad es más alta. En este sentido, el valor más cercano de los recursos hidrológicos es aquel que se acerca al costo de oportunidad y que corresponde a la sustitución de la extracción de madera, pastoreo y agricultura por producción de agua. Dentro de este marco, la generación de servicios hidrográficos por parte de bosques es considerada de las más importantes, por lo que se le puede dar un valor hipotético de hasta el 50% del costo de oportunidad de la mejor alternativa económica dentro de la microcuenca (Barrantes y Vega, 2001).

## **C) Valor de protección y mantenimiento de la cuenca**

Todas las actividades encaminadas al mantenimiento de los diferentes ecosistemas que se encuentran dentro de la microcuenca y las cuales generan beneficios como la disminución de la erosión, la recarga de matos acuíferos, el mantenimiento del flujo de agua, generan un

costo que es necesario contemplar dentro de la estructura de valoración de los recursos hidrológicos para su utilización (Orosco, 2003).

El estado en el que se encuentre una cuenca, determina como es el mecanismo del régimen hídrico dentro de ella (Cuenca, 2005). El porcentaje de áreas que carecen de una cobertura vegetal, la densidad del bosque, las áreas dedicadas a la agricultura, la ganadería, la pendiente, son algunos de los aspectos que determinan varias de las prácticas encaminadas para la mitigación de problemas como la erosión, deslaves, etc., que se pueden dar dentro del sistema hídrico.

El costo de las prácticas de conservación, deben estar contempladas dentro de los costos de producción de agua, pues el fin de éstas es aumentar la cantidad y calidad del recurso hídrico que utiliza la sociedad; dentro de los costos generados por estas prácticas, se pueden mencionar los gastos por concepto de salarios, transporte, combustibles, infraestructura, etc., además de otros gastos como pueden ser el de operación e incentivos utilizados para la protección ambiental.

Dentro del área de estudio no se cuenta con áreas altamente erosionadas; sin embargo una gran parte de ésta, está dedicada a potreros para el pastoreo intensivo de ganado bovino que junto con el uso agrícola abarcan un 49.1 % del área total de la microcuenca, lo que a la vez equivale a 2,518. 15 ha, es dentro de estas zonas donde se deben iniciar los trabajos de conservación mediante la implementación de prácticas de restauración y conservación de suelo, con el fin de recuperar la vegetación típica de la zona o en su caso de vegetación sucesional. Para el caso de las áreas de uso agrícola, se puede concebir la implementación de sistemas agroforestales, dentro de las cuales se pueda practicar la agricultura de protección junto con la utilización de especies arbóreas amigables con los cultivos.

Si se considera el costo por la rehabilitación de zonas erosionadas y las zonas dedicadas a la ganadería o agricultura, se puede afirmar que es más costoso recuperar las primeras; de la misma forma, es menos costoso mantener a la cuenca en buenas condiciones que pagar grandes sumas de dinero para rehabilitación o recuperación, realizando costosas y

numerosas prácticas de recuperación de suelos (Orosco, 2003). En México se han iniciado algunos programas forestales dentro de los cuales se puede hacer uso de recursos federales para la recuperación y conservación de suelo.

Los apoyos que se otorgan para la recuperación y conservación de suelos son autorizados por instituciones como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y pueden cubrir prácticas como la construcción de presas, suavización de taludes, reforestación, construcción de terrazas, zanjas trincheras, etc., sin embargo, el apoyo nunca es suficiente ya que éstos solo son un mero apoyo, el cual no cubre todos los gastos que implica la conservación de la microcuenca, por lo que la participación de las autoridades locales es un eslabón importante para poder iniciar estos tipos de trabajos.

#### **4.2.5. El recurso hídrico como flujo permanente de ingresos**

Las cuencas por medio de los bosques y de todas sus condiciones fisiográficas captan y suministran una gran parte del agua que se destina a satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas, industriales y ecológicas de las zonas río arriba, como las de río abajo. Dentro de los esquemas de sostenibilidad existen desafíos como el consistente en elevar al máximo esta gran variedad de beneficios multisectoriales de los bosques sin detrimento de los recursos hídricos ni de la función del ecosistema. Para afrontar este reto es necesario entender mejor la interacción de los bosques y los árboles con el agua (FAO, 2009).

Existe una competencia entre la conservación y los otros usos del suelo, lo cual afecta en forma directa la disponibilidad del agua. En las partes altas de la Microcuenca del Río Calnali, existen problemas de cambio de uso de suelo encaminadas a la práctica de ganadería intensiva y que en la mayoría de los casos es poco rentable, además del establecimiento de cultivos de subsistencia. La tendencia futura, manteniendo las condiciones actuales, es a una pérdida del bosque aún existentes, pero si se implementa un mecanismo y se crean incentivos para el mantenimiento del bosque, se podría proteger a éste y las condiciones mejorarían en gran medida.

Además, valorar al recurso con un enfoque económico y ecológico a través de la internalización de los costos ambientales y partiendo de que, los usuarios deben pagar por su uso, el ingreso que se obtiene por éste concepto como pago por los servicios ambientales, representa la base económica para el desarrollo sostenible de la microcuenca y a la vez transformarse en flujo permanente de ingreso (Barrantes y Vega, 2001).

El ingreso de recursos para el mantenimiento de la microcuenca, no solo depende de los servicios que se pueden obtener por medio de su conservación. El establecimiento de áreas dedicadas a la recreación representa una oportunidad rentable ya que se cuentan con zonas potencialmente utilizables como lo es la cascada Chahuaco, lo que a la vez puede contribuir a la generación de empleos y por consiguiente al desarrollo del Municipio.

#### **4.2.6. Valor del agua según su uso**

Las actividades que demandan la mayor cantidad de agua dentro de la zona son generalmente las relacionadas al consumo doméstico y algunos comercios establecidos en el lugar como son restaurantes y hoteles. Dentro del municipio son pocas las áreas en las cuales el recurso hídrico producido por la microcuenca es utilizado para fines de riego. Parte del impacto negativo que sufre el río es provocado por las poblaciones por el establecimiento de éstas en sus márgenes; por lo que, parte de la basura y desechos de la población termina en las aguas del afluente.

##### **a) Consumo doméstico**

El valor asignado al agua por concepto del consumo doméstico presenta un problema ya que éste produce bienes y servicios no tangibles, por lo que a vez no pueden ser cuantificables mediante términos económicos directos (Orosco, 2003).

La alternativa más propia para asignar un valor a este recurso, es mediante el concepto de costo de oportunidad, que es definida como: el precio que tenemos que pagar por tomar una

decisión y no haber escogido otras alternativas que representa mayor ganancia (Thompson, 2008).

El concepto contempla el valor que se pagaría por dejar de utilizar los recursos hidrológicos producidos por la microcuenca dentro de las labores del hogar y utilizar agua proveniente de otros lugares. De la misma forma, contempla el costo de todas las actividades y/o insumos que se utilizarían para poder proveer de agua a la misma comunidad y en las mismas cantidades. El costo de oportunidad sería al menos el costo por traer agua de otras cuencas por medio de tuberías, el costo de la apertura de pozos, el abastecimiento con pipas, etc., por lo que teóricamente el costo de oportunidad de dejar de utilizar el agua de la microcuenca y utilizar otra alternativa, es el ahorro de los gastos que implicaría el elegir la segunda opción.

#### **b) Consumo comercial**

La demanda de agua por el comercio establecido está concentrada en la cabecera municipal de Calnali, ésta demanda no representa una gran cantidad del recurso, ya que son pocos los establecimientos; sin embargo, es necesario cuantificarlos. Entre los comercios establecidos podemos mencionar los hoteles, restaurantes, cafeterías, etc.

La forma de valoración económica del agua por estos conceptos, es de tipo directo y presenta un tipo de costo intermedio dentro del servicio, ya que los propietarios de los establecimientos no consideran el valor de este insumo, sino solo los costos de operación e infraestructura. De forma práctica, el valor del uso del agua por los comercios está determinado por el nivel de intervención de ésta dentro del mismo.

El agua dentro del comercio genera beneficios que se reflejan en ganancias monetarios, estas ganancias se puede utilizar como base para calcular el valor del agua, ya que si no se contara con el recurso hídrico los ingresos de los establecimientos podrían ser menores o en su caso nulos (Orosco, 2003).

### **c) Consumo agrícola**

Sin duda, el agua es uno de los insumos más importantes en la agricultura y con mayor razón si ésta es de riego. La actividad agrícola junto con la forestal son las principales actividades económicas de la zona y es de régimen temporal por lo que no se tiene un uso directo y masivo del recurso hídrico producido por la microcuenca.

La ausencia de infraestructura de riego se debe a la falta de recursos y al régimen de lluvias, el cual es suficiente para poder establecer dos ciclos de cultivos en un año. Por lo anterior, el valor monetario del agua para el uso agrícola es mínimo.

#### **4.2.7 Agua captada por la microcuenca**

La cuantificación de las entradas y salidas de agua de la microcuenca son componentes importantes y necesarios para el cálculo del balance hídrico del sistema en estudio. El cálculo de las entradas totales de agua al sistema hidrológico de Calnali, se realizó con base a datos tomados de la estación meteorológica de Tlanchinol, que es la más cercana al municipio.

Para el balance hídrico, se ajustaron los datos a las condiciones hidrológicas y de uso económico de éste recurso en la microcuenca. Para el cálculo del área de ésta, se utilizó material cartográfico y programas de cómputo, con lo cual se pudo obtener información precisa.

##### ***4.2.7.1 Cuantificación de la demanda hídrica***

Los seres humanos utilizan intensivamente el recurso hídrico, tanto para sus necesidades biológicas y culturales básicas, como para las diferentes actividades económicas. Cada uno de los diferentes usos tiene unos requerimientos de calidad o características físico-químicas y biológicas particulares, por lo cual el análisis de oferta y demanda no puede realizarse exclusivamente en términos cuantitativos de rendimientos o caudales (IDEM, 2006).

Por lo anterior, la demanda del recurso hídrico se calcula a partir de los diferentes usos que se le dan al agua, como son las actividades productivas y humanas (uso agrícola, doméstico, industria, etc.), así como de la demanda ecológica con lo cual funcionan los ecosistemas.

Aunque el mayor uso de agua tiene lugar en las actividades agropecuarias, los aspectos más críticos de disponibilidad tienen relación con sus usos para el abastecimiento de agua potable para la población, para los procesos industriales y para la generación de servicios (IDEM, 2006).

#### ***4.2.7.2 Cuantificación de la oferta hídrica***

La oferta hídrica se basa fundamentalmente en el balance hídrico y está determinada principalmente por la cantidad de agua precipitada dentro del sistema. Sin embargo, no toda el agua que se capta en la microcuenca puede ser aprovechable directamente, una gran parte de ésta regresa a la atmósfera en forma de vapor a causa de la intercepción, otra parte se infiltra o escurre subsuperficialmente; lo restante es el agua de la cual se puede hacer uso (IDEAM, 2006).

Debido a las diferentes actividades del hombre dentro del bosque, gran parte de ésta agua disponible no presenta la calidad suficiente para algunos usos. El suelo no es el único material que puede perjudicar la calidad del agua. De acuerdo con el tipo de uso de la tierra, diversas concentraciones de otros contaminantes como fertilizantes, plaguicidas o combustibles también disminuyen la calidad de agua (FAO, 2009).

### **4.3. Marco político**

La planeación de actividades relacionadas con el medio ambiente, está sujeta a leyes de regulación que determinan las condiciones en las cuales se debe trabajar sobre ellas. A la

vez, existe toda una serie de normas y programas que regulan su manejo y apoyos directos para su conservación y recuperación.

#### **4.3.1. Subsidio Ambiental**

La producción de agua de la microcuenca no ha implicado gastos monetarios a sus usuarios, pues se ha considerado como bienes comunes y de utilización ilimitada; sin embargo, la población se ha beneficiado y en este sentido la producción del recurso a subsidiado el costo del consumo de agua para los pobladores.

Dentro del mismo concepto, es necesario generar una estrategia de cobros orientada a eliminar los subsidios para generar valores cada vez más cercanos a un valor social de los recursos naturales. Un recurso ambiental que es subsidiado y está siendo utilizado por la industria o una empresa como insumo para la producción, representa grandes pérdidas económicas para la sociedad.

#### **4.3.2. Programas nacionales**

Entre las instituciones gubernamentales dedicadas al mantenimiento de los recursos naturales y la protección de éstos y en específico a los forestales, se encuentra la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la cual otorga apoyos monetarios y asesoría técnica a los propietarios de estos recursos. Algunos apoyos otorgados por este concepto para el año 2010 son los siguientes:

##### **A) Reforestación**

La reforestación se encuentra entre las principales actividades utilizadas para la recuperación de zonas boscosas degradadas. El Cuadro 2 muestra los apoyos otorgados por este concepto.

**Cuadro 2. Apoyos otorgados por concepto de reforestación**

MODALIDADES	Monto de apoyo en pesos por ha	Superficie de apoyo en ha	Formas de otorga el apoyo
<b>Reforestación</b>	1,425 para reforestación o 2,280 para reforestación con preparación mecanizada del suelo Para terrenos de uso ganadero donde se lleve la reconversión con reforestación, se asignará un monto adicional de \$636/ha como costo de oportunidad.	De 10 a 100	50% al inicio, previa entrega del informe técnico de campo; el 50% restante a su terminación, previa entrega del dictamen de finiquito realizado por un asesor externo sin perjuicio de la verificación de CONAFOR.  El monto total por costo de oportunidad en terrenos de uso ganadero de \$636/ha se entregará en un solo pago, al concluir los trabajos.

**Fuente: Comisión Nacional Forestal. Reglas de operación 2010.**

### B) Conservación de suelos

La restauración de suelos degradados involucra un costo alto, dependiendo del nivel de éste; sin embargo, es una labor necesaria para poder incrementar la calidad de los servicios naturales otorgados por los bosques. El Cuadro 3 muestra los apoyos otorgados por CONAFOR por éste concepto.

**Cuadro 3. Apoyos por concepto de restauración de suelos**

Modalidades	Monto de apoyo en pesos por ha		Superficie de apoyo por ha	Formas de otorgar el apoyo
	Para actividades	Para asistencia técnica		
<b>Conservación y restauración de suelos</b>	2250/ha	300	De 10 a 150	50% al inicio y el 50% restante a la terminación, previa entrega del dictamen de finiquito.
<b>Mantenimiento de obras y prácticas de conservación de suelos.</b>	1050/ha	No aplica	De 10 a 50	50% al inicio y el 50% restante a la terminación, previa entrega del dictamen de finiquito.

**Fuente: Comisión Nacional Forestal. Reglas de operación 2010.**

### C) Hidrológicos

Existen varias modalidades de apoyo por concepto de generación de recursos hidrológicos, uno de estos es el que muestra el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Apoyos concepto de Servicios Ambientales**

Modalidad	Área de pago diferenciado y monto de apoyo		Superficie de apoyo		Compromisos de los beneficiarios
	Por el servicio ambiental	Por la asistencia técnica	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima	
<b>Hidrológicos</b>	Área 1 1100 /ha/año	De 100 a 500 ha = \$22,000 De 501 a 1000 ha = \$41,000 Mayor a 1000 ha = \$ 60,000	100 ha para personas físicas  200 ha para personas morales y otras agrupaciones	200 ha para Personas físicas 3000 ha para personas morales y otras agrupaciones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evitar cambio de uso de suelo.</li> <li>2. Conservación de la cobertura forestal y evitar la degradación.</li> <li>3. Colocar al menos 2 anuncios alusivos al Programa/5 años</li> <li>4. Evitar sobrepastoreo</li> <li>5. Para el caso de personas morales, el técnico deberá organizar al menos dos talleres por año para el fortalecimiento de capacidades del beneficiario en el tema.</li> <li>6. Realizar actividades de vigilancia y de prevención y combate de incendios, que incluya la formación de al menos una brigada.</li> <li>7. Elaborar, con apoyo del asesor técnico, un PMPM e iniciar su ejecución a partir del segundo año, basados en procesos de planeación participativa.</li> </ol>

**Fuente: Comisión Nacional Forestal. Reglas de operación 2010.**

Todos los apoyos contemplan una serie de condiciones para poder acceder a éstos, por lo que es necesario recurrir a las reglas de operación donde se especifican a detalle.

La Comisión Nacional Forestal del mismo modo, tiene dentro de su estructura al Fondo Forestal Mexicano (FNM) que es un organismo con fuentes públicas y privadas de financiamiento que otorga apoyos a los productores forestales, tiene dentro de sus recursos un programa para el Pago de Servicios Ambientales entre los que contempla el referente a los recursos hidrológicos.

Algunos de los objetivos que busca el Fondo Forestal Mexicano, según CONAFOR (2003), son:

- ✓ Promover el reconocimiento de los servicios ambientales.

- ✓ Apoyar el pago por servicios ambientales.
- ✓ Tiene como prioridad obtener la mayor cantidad de recursos de organizaciones internacionales para el pago por servicios ambientales.
- ✓ Promover la protección de dos montañas por entidad federativa como parte de la Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua, que entro en vigor en el año 2003.

## **5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Algunos aspectos generales del Municipio de Calnali, son abordados en los siguientes apartados. Se inició con la localización del área de estudio y la descripción climática que presenta la zona. De la misma forma, se aborda lo referente a la geología y edafología general, lo cual representa la base para iniciar el estudio del lugar.

### **5.1. Ubicación**

El Municipio de Calnali se encuentra a 28 km de Molango, Hgo., cerca de Lolotla y Xochicoatlán en plena Sierra Hidalguense, situado a 20°54' latitud norte, 98°35' latitud oeste y la cabecera municipal de encuentra a 960 msnm. Al Norte limita con los Municipios de Tlanchinol, Huazalingo y Yahualica; al Este colinda con los Municipios de Yahualica y Tianguistengo, al Sur con los Municipios de Tianguistengo y Xochicoatlán, y al Oeste con los Municipios de Lolotla y Tlanchinol. (Fig. 1).

### **5.2. Edafología**

Debidos los tipos de rocas presentes en el lugar, son pocas las clases de suelos que se presentan en la microcuenca. Basados en el Mapa Digital de México publicado en la página del INEGI (2009), las clases de suelos existentes en la Microcuenca son los Ultisoles, Entisoles y Alfisoles (Duchaufour, 1984) según la clasificación norteamericana.

Los suelos presentan profundidades muy variadas, debido a lo accidentado de la zona y a los tipos de rocas presentes. En general, en su parte más superficial se presenta una capa de materia orgánica. En los horizontes siguientes los suelos presentan una coloración amarillenta oscura y una consistencia arcillo-limosa.

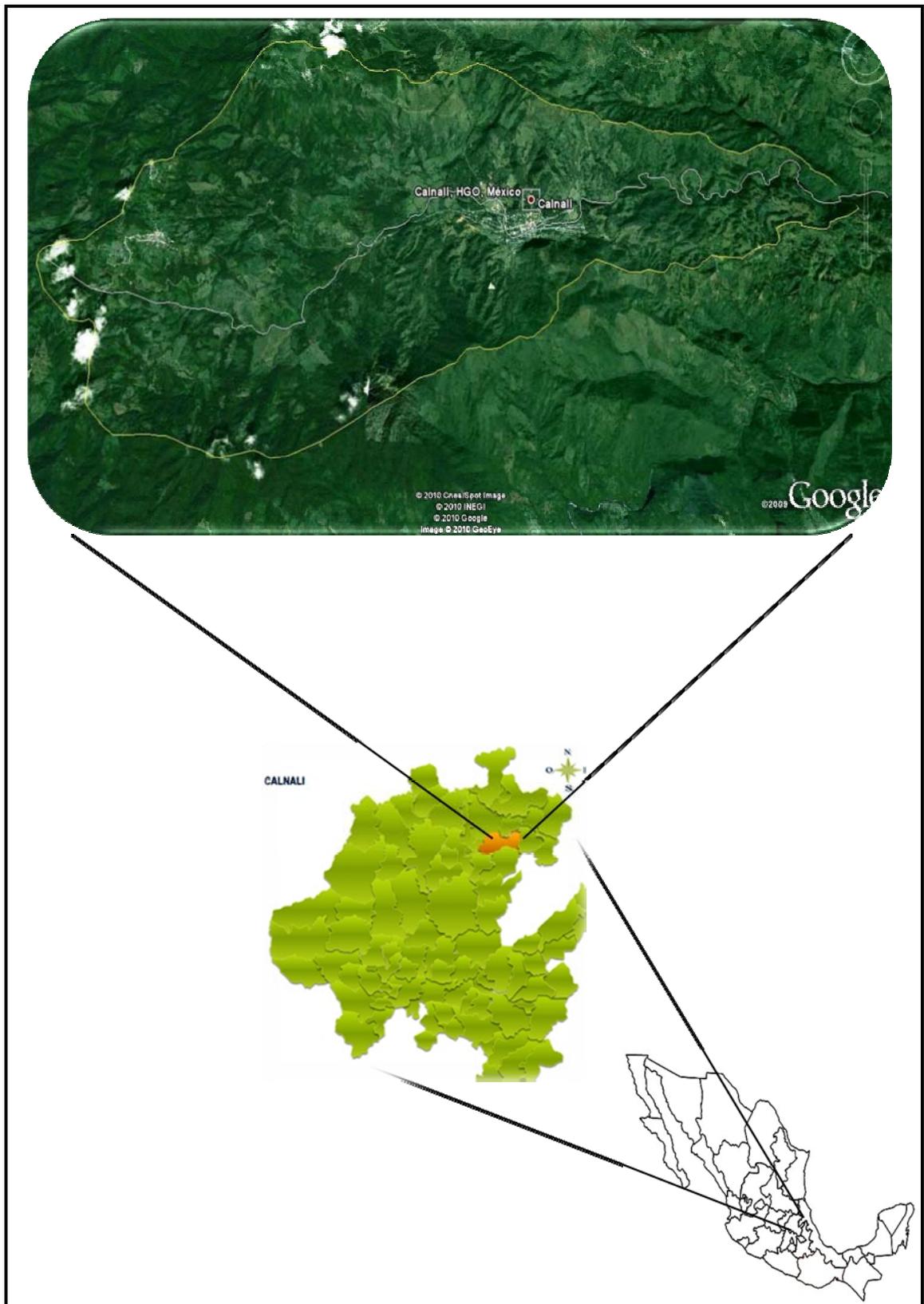


Fig. 1. Localización de la microcuenca del Río Calnali.

### 5.3. Geología

La formación geológica de la microcuenca se ha dado durante varias etapas o periodos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes: Cretácico (34%), Paleógeno (28%), Pérmico (20%), Neógeno (15%), Jurásico (2%) y Cuaternario (1%), según la carta Geológico-Mineral F14D52.

Las unidades geológicas presentes en la zona se pueden dividir en ígneas extrusivas, sedimentarias y el suelo aluvial. La identificación de los tipos de rocas se hizo con base al mapa Geológico-mineral F14D52 correspondiente al Municipio de Calnali.

### 5.4. Tipos de Vegetación

La flora de la microcuenca es abundante y muy variada, en la parte correspondiente a clima templado se desarrolla el cuatlatan, encino, ocote, xuchiate, palo escrito y roble; en clima caliente se encuentran presentes ejemplares como el chijol, aretillo y pata de vaca. Además de árboles exóticos como naranja, lima pagua, la pomarroza, el durazno, la granada y otros.

Entre la vegetación forestal se encuentran especies como la Guasuma (*Guazuma ulmifolia*), Encino (*Quercus crassifolia*), Encino (*Quercus mexicana*), Encino (*Quercus candicans*), Mezquite (*Prosopis laevigata*), Cojón de toro (*Cojoba arborea*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Palo mulato (*Bursera simaruba*), Pino rojo (*Pinus greggii*), Pino (*Pinus patula*), Liquidámbar (*Liquidambar macrophylla*), Álamo (*Platanus mexicana*), Guarumbo (*Cecropia obtusifolia*), Cedro blanco (*Cupressus lusitánica*), Cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), Hule (*Hevea sp.*).

### 5.5. Fauna

La fauna está representada por venado (*Cervus elaphus*), jabalí (*Sus scrofa*), tigrillo (*Leopardus tigrinus*), gato montés (*Felis silvestris*), liebre (*Lepus sp*), tejón (*Meles meles*),

mapache (*Procyon lotor mexicanus*), armadillo (*Dasypis novecinctus*), conejo (*Sylvilagus cunicularis*), ardillas (*Sciurus aureogaster*), zorro (*Vulpes sp*), zorrillo (*Corepatus mesoleucus*), águila (*Aquila chaysaetos*), zopilote (*Caragyps atratus*), guajolote (*Meleagris gallopavo*), así como una gran variedad de reptiles, insectos y arácnidos (Enciclopedia de los municipios, 2005).

## **5.6. Hidrología**

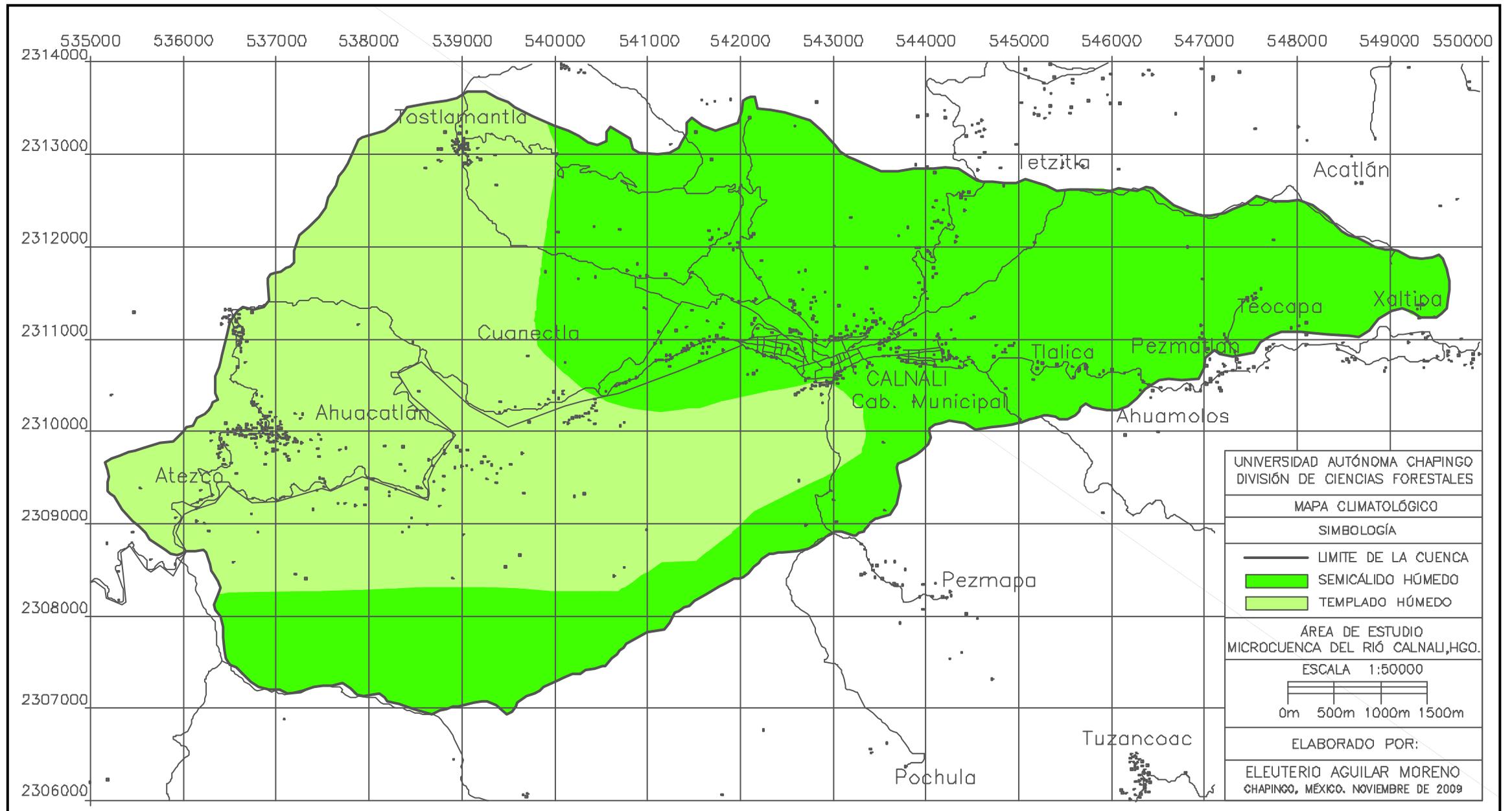
En lo que respecta a la hidrología del municipio, Calnali, se encuentra posicionado en la región del panuco, en la cuenca del río Moctezuma, de la cual deriva la subcuenca del río los hules regando el 100% de la superficie municipal.

Las corrientes de agua que conforman el municipio son; Calnali, Tetila Quetzalongo, Acuapa-Huazalingo, Chahala-Pochula, Xontla, Atempa, Chichayotla, Techimico, Agua Salada, Contzintla y Agua Bendita (Enciclopedia, 2005).

## **5.7. Clima**

El municipio presenta clima semicálido húmedo con lluvias todo el año en las localidades de Chichayotla, Coyula, Atempa, Papatlatla y la propia cabecera. Registra también un clima templado húmedo con lluvias todo el año en localidades como Ahuacatlán (Fig. 2). Su temperatura anual es de 19°C y su precipitación pluvial oscila entre los 1,900 mm a 2,100 mm al año.

En este municipio llueve intensamente por los meses de agosto y septiembre, también durante mayo, junio y julio aunque no con la misma intensidad debido a que son aguaceros aislados y momentáneos. En los meses de noviembre, diciembre y enero caen lloviznas que dejan sentir el frío con espesas neblinas en las partes altas (INEGI, 2005).



**Fig. 2. Unidades climatológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali.**

## 5.8. Orografía

Las condiciones orográficas de la microcuenca están determinadas por la Sierra Madre Oriental, dentro de la cual se encuentra localizada. Cuenta con mesetas, un valle, llanuras, cerros y lomas; algunas de sus principales elevaciones se dejan ver a largas distancias, como es el caso del cerro Paxtepetl que presenta una altitud de 1,700 metros sobre el nivel del mar (msnm), así como el cerro de la Aguja o punta aguda. Existen también los cerros de Teacal, Huehuenco, Mahuaquitepetl, Ixpatlax, Xalchi y Cuitlanolo importantes por la altitud que tienen desde los 1,200 msnm hasta 1,700 msnm (Enciclopedia, 2005). La Fig. 3 muestra las condiciones orográficas generales de la zona.

## 5.9. Crecimiento demográfico

La Microcuenca abarca la mayor parte del área del Municipio de Calnali y junto con ello, los poblados con mayor índice demográfico. Según el conteo de población y vivienda llevada a cabo por el INEGI, el Municipio de Calnali contaba para el 2000, con una población de 16,381 habitantes; de la misma forma, se estimó que para el mismo año habitaban en el municipio 4,539 personas que hablan alguna lengua indígena (INEGI, 2010). Con base a los censos de realizados desde el año 1980 al 2000, se ha estimado su evolución demográfica en una tasa de crecimiento anual de 1%. El Cuadro 5 lo descrito anteriormente.

**Cuadro 5. Evolución demográfica del municipio de Calnali, Hidalgo.**

<b>Evolución demográfica de Calnali, Hidalgo</b>			
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Año</b>	<b>Población</b>
<b>1980</b>	15737	<b>2005</b>	16463.77
<b>1990</b>	15864	<b>2010</b>	16622.54
<b>1995</b>	16,129	<b>2015</b>	16781.31
<b>2000</b>	16,381	<b>2020</b>	16940.08

Se estima que para el año 2025, en el municipio se cuente con una población aproximada de solo 17,099 personas, esto con base a la tasa de crecimiento que se estimó.

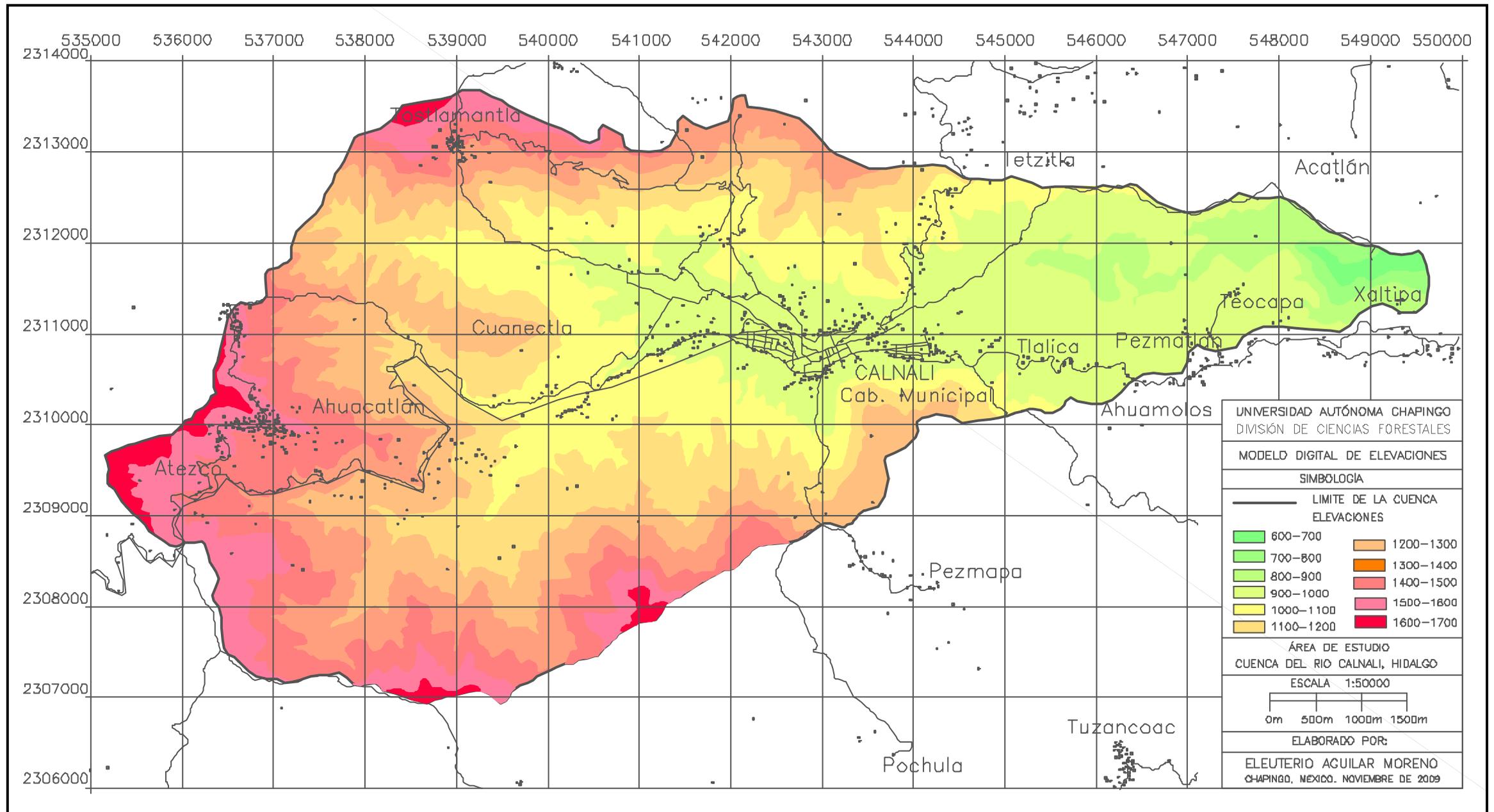


Fig. 3. Modelo digital de elevaciones de la microcuenca del Río Calnali.

## **6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

La metodología utilizada para valorar económicamente los recursos hidrológicos de la Microcuenca del Rio Calnali, está basada en procedimientos tomados de varios autores con el fin de obtener datos precisos de los parámetros calculados. De esta manera, se siguió la metodología propuesta por Sánchez (1987), para la estimación de los parámetros morfométricos; la metodología para el cálculo del balance hídrico fue tomada de Lee (1980) y Chang (2003) citados por Sánchez (2007); y la valoración económica se llevo a cabo mediante el procedimiento propuesto por Barrantes y Vega (2001).

### **6.1. Caracterización de la microcuenca**

La caracterización hidrográfica es un procedimiento mediante el cual, con la utilización de material cartográfico se obtiene información relevante sobre las cuencas. Algunos materiales generalmente utilizados en éste tipo de trabajos son los mapas temáticos, imágenes aéreas, ortofotografías digitales y más recientemente las imágenes de satélite. De la misma forma, son necesarios una serie de instrumentos para su análisis y programas de cómputo especializados.

#### **6.1.1. Delimitación de área de estudio**

Para la delimitación de la microcuenca en estudio, fue necesaria la utilización de la carta topografía F14D52, correspondiente al Municipio de Calnali Hidalgo, en una escala de 1:50000., las ortofotografías digitales F14D52A, F14D52B y F14D52D escala 1:75,000 de Diciembre de 1995 y el programa AutoCAD Map 2010.

Además de la delimitación de la microcuenca, se identificaron las carreteras, la red hidrológica, los principales poblados y algunos aspectos referentes a las condiciones geográficas y de relieve que se encuentran dentro del área en estudio.

### 6.1.2. Elaboración del mapa base

Para la elaboración del mapa base se requiere del apoyo de material cartográfico del cual se obtienen datos e información detallada de interés en éste estudio. Los materiales más comúnmente utilizados en estos trabajos son las fotografías aéreas; sin embargo, en este caso se tuvo la oportunidad de utilizaron ortofotografías digitales, las cuales abarcan una mayor superficie y son fácil de manipular.

El mapa base sirve para recopilar e imprimir nuevos detalles, información fundamental obtenida de las ortofotografías digitales por medio de su interpretación. El mapa base está dado por la ubicación relativa y absoluta de los puntos principales y puntos auxiliares centrales o de enlace de las fotografías aéreas en la cuadrícula plana, además de los puntos de apoyo o de control terrestre (Palma, 1989).

El manejo de la ortofotografías se realizó con el software AutoCAD Map 2010, con el cual se importaron las ortofotografías al programa de acuerdo a las especificaciones sobre sus dimensiones y se georeferenciaron. Las ortofotografías digitales utilizadas tienen las siguientes especificaciones: 5860 columnas y 7025 renglones, y cada pixel tiene 2 metros de resolución espacial. La ortofotografías F14D52A es en la cual se encuentra la mayor parte de la microcuenca y tiene la siguiente georeferenciación:

Coordenadas de la esquina Noroeste

Coordenadas de la esquina Sureste

Este: 534570.0

Este: 546290.0

Norte: 2322300.0

Norte: 2308250.0

El manejo de las ortofotografías se hizo en escala 1:1 ya que como se muestra, la georeferenciación ésta dada en la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), la cual considera coordenadas X y Y, por lo cual se puede decir que se trabajó en escala real. A la información obtenida de la ortofotografías digitales se les asigno una escala de 1:50,000. Lo cual se logró reduciendo el tamaño de la imagen a las dimensiones

correspondientes, esto es: si la escala es uno 1:50,000, entonces cada 2 cm de papel impreso corresponde a una longitud de 1,000 metros en el plano.

### **6.1.3. Control terrestre**

Adicionalmente a la georeferenciación, se pueden utilizar puntos de control, los cuales deben ser de fácil identificación, esto se realiza con el fin de dimensionar bien las ortofotografías digitales en el caso de que no se contara con las especificaciones de éstas. El control terrestre son un conjunto de puntos geodésicos, astronómicos, topográficos, que localizados en el terreno y en las fotografías aéreas (en este caso las ortofotografías digitales), sirven para controlar un cubrimiento fotográfico aéreo, mediante un sistema de coordenadas geográficas planas (Palma, 1989)

### **6.1.4. Cálculo de la pendiente y el área por rodal**

La pendiente es la relación que existe entre el desnivel que tiene cada rodal y la distancia horizontal que se debe recorrer para cubrirlo. Para obtener el desnivel del rodal se tomó en cuenta el punto más alto y el más bajo de cada uno y se obtuvo la diferencia de alturas, esto con base a las curvas de nivel. La distancia horizontal se obtuvo al medir la distancia plana que existe entre un punto más alto y el más bajo de cada rodal multiplicándolo por la escala. La fórmula es la siguiente.

$$M = \frac{Cota\ max - Cota\ min}{L} * 100$$

Dónde:

*M*: Pendiente expresada en %

*Cota max*: Punto más alto del rodal

*Cota min*: Punto más bajo del rodal

*L*: Distancia horizontal entre el punto más alto y el más bajo (Convertido en metros con la escala).

Para el cálculo el área de cada rodal solo fue necesario introducir dentro del programa AutoCAD Map el comando “área”, ya que previamente se había hecho la rodalización de toda la microcuenca. Dada la versatilidad del programa los datos obtenidos en cuanto al área pueden ser en m<sup>2</sup> o en hectáreas.

#### **6.1.5. Vegetación y cobertura**

El tipo de vegetación de la zona fue identificada por reconocimiento directo; es decir, se tuvo la oportunidad de observar el tipo de vegetación que predominaba en el lugar y con base a ésta información, se trabajó la interpretación de las ortofotos digitales.

#### **6.1.6. Clases de suelo**

El mapa de tipos de suelo se obtuvo con base al mapa digital de México, publicado en la página de internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), mediante la interpolación de la imagen correspondiente a la Microcuenca de Río Calnali, en el programa AutoCAD Map 2010. Después de darle las dimensiones correspondientes a la imagen obtenida de INEGI, esta fue georeferenciada y puesta en la escala del mapa base.

### **6.2. Balance Hídrico**

El concepto de balance en hidrología, hace referencia al equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado y para el cual existen una gran variedad de fórmulas aplicables a diferentes escenarios. El estudio del balance hídrico es complejo ya que las variables generalmente utilizadas para tal cálculo no son independientes unas de otras.

Jiménez (1994) menciona que el balance hídrico es una representación teórica del intercambio de agua entre la vegetación, el suelo y la atmósfera dentro del cual intervienen gran cantidad de variables, pero aplicables a toda clase de escenarios. El balance hídrico da

como resultado la cantidad de agua disponible luego de restar lo referente a la interceptación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, infiltración y la recarga subterránea.

Considerando las características de la microcuenca en estudio, la fórmula que se utilizó para el cálculo del balance hídrico, es la que considera a las variables del ciclo hidrológico para seguir los diferentes caminos de la distribución del agua, basados en las publicaciones de Lee (1980) y Chang (2003) citados por Sánchez (2007) donde:

$$\mathbf{BH = P - (Int + Ev + E + Inf + Rs)}$$

Dónde:

*BH*: Balance Hídrico (m<sup>3</sup>/año)

*P*: precipitación (mm/año)

*Int*: Interceptación (mm), por el dosel y suelo forestal.

*Ev*: Evapotranspiración (mm/año), Evaporación + Transpiración.

*E*: Escurrimiento Superficial (m<sup>3</sup>/ha).

*Inf*: Infiltración (mm/hr ó día)

*Rs*: Recarga subterránea (mm/hr, mm/día o cm/hr, cm/día)

Orosco (2003) menciona que la oferta está determinada en principio por el volumen de la precipitación media anual, así como el escurrimiento superficial y subterráneo del recurso hídrico a través de la microcuenca. De la misma forma, el mismo autor hace referencia que el agua comprendida por la evaporación, la infiltración, el escurrimiento superficial y subsuperficial pasa por diferentes fases donde intervienen componentes particulares como la textura, profundidad, pendiente del terreno y la evapotranspiración presente dentro de cobertura vegetal de la zona.

Cuando la calidad del agua es una prioridad elevada, la cubierta vegetal es el mejor uso del suelo. Una cubierta forestal inalterada ofrece una gran protección contra la erosión, la sedimentación y los daños por otros contaminantes (FAO, 2009). Por el contrario, en zonas deforestadas no tenemos retención de agua y se originan problemas de inundaciones, así

como arrastre de sedimentos y muy poca penetración de agua al subsuelo, el régimen de aguas, la calidad y cantidad se ven afectados (Orosco, 2003).

### 6.2.1. Precipitación

El volumen de agua captada en la zona, es el elemento base para el cálculo del balance hídrico dentro de la microcuenca y se estimó a partir del conocimiento del área en estudio y su precipitación media; ésta última se obtuvo en la página de internet del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Cabe mencionar que no se cuenta con una estación meteorológica dentro del Municipio. La Fig. 4 muestra el comportamiento de las lluvias durante todo el año.

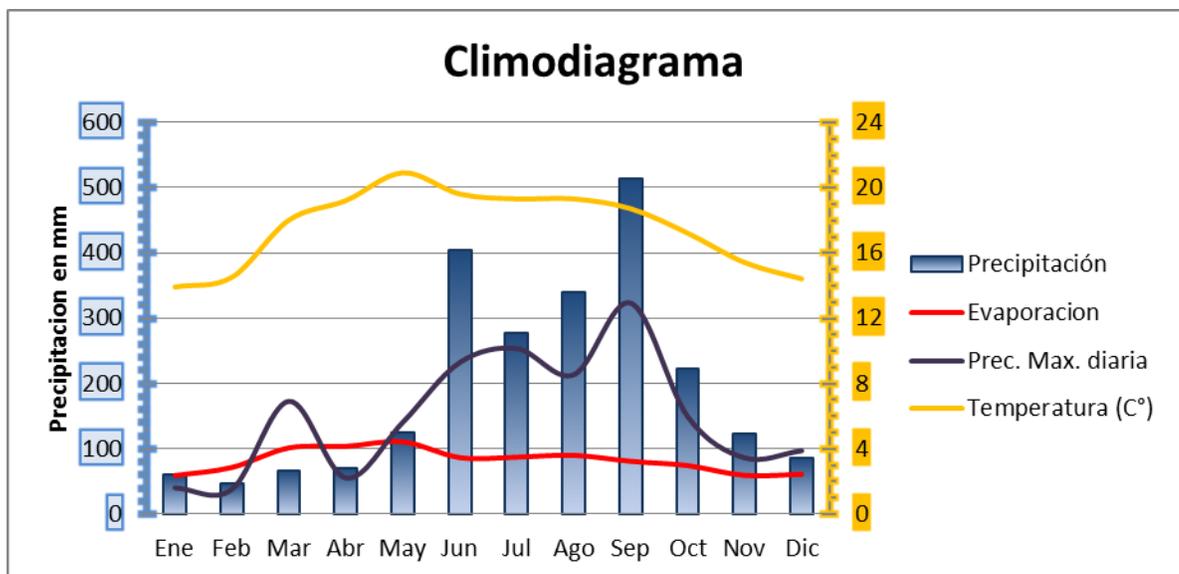


Fig. 4. Climodiagrama (Estación Tlanchinol)

### 6.2.2. Intercepción

La intercepción hace referencia a la cantidad de agua que es retenida y conservada en la vegetación, la hojarasca que esta sobre el suelo y que luego se evapora (Jiménez, 2009). La intercepción de la precipitación dentro del sistema hídrico del Río Calnali se calculó

mediante un coeficiente de intercepción correspondientes a los tipos de vegetación que hay dentro de la microcuenca.

El coeficiente de intercepción del bosque mesófilo se calculó con base a estudios realizados y los cuales mencionan que éste tipo de bosques puede retener de 40 a 70% de la precipitación (Toledo, 2009). Para este trabajo se consideró una intercepción de 50%. Los coeficientes de intercepción se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Valores del coeficiente de intercepción por tipo de vegetación.**

Vegetación	Coefficiente de intercepción (C. I.)
Agricultura de temporal	0.10
Pastizal inducido	0.10
Bosque mesófilo de montaña	0.50

Fuente: Pritchett (1983), citado por Orosco (2003).

Para conocer el volumen de agua que se intercepta dentro de la microcuenca fue necesario conocer el agua que precipita dentro de cada rodal y el agua que es captada según el porcentaje de cobertura dentro de ese rodal, además de datos ya conocidos como el área total de la microcuenca.

### 6.2.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración combina dos formas mediante las cuales el agua regresa en forma gaseosa a la atmosfera. Dentro de ambos proceso interfieren una serie de variables generalmente complejos.

La evapotranspiración se calcula mediante estimaciones, en las que muchos autores consideran que se evapora de un 20 a un 30% de la precipitación total en bosques de pino (Orosco, 2003). Dado que los datos para la obtención de la evapotranspiración son escasos y las mediciones para encontrar el valor de las pérdidas de agua son difíciles y presentan altos costos para llevarse a cabo, se consideró lo establecido por Toledo (2009), quien

basado en los tipos de cobertura vegetal menciona que las condiciones climatológicas y las condiciones de estructura y densidad de la vegetación provocan que la evapotranspiración se dé en menor cantidad en bosques mesófilos. Con base a lo anterior, en el presente trabajo se consideró que el 17.5 % de la precipitación total compone el volumen de agua evapotranspirada.

#### 6.2.4. Esgurrimiento medio

El cálculo del esgurrimiento medio nos indica el volumen de agua que se puede almacenar o retener con base a la cantidad de agua que se pierde por esgurrimiento. Para su obtención es necesario conocer la precipitación media del área de drenaje y el Coeficiente de esgurrimiento, que se obtuvo de las características del suelo (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Valores de C para el cálculo del esgurrimiento**

Vegetación	Topografía	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
Bosque				
Plano (0-5% de pendiente)		0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% de pendiente)		0.25	0.35	0.50
Esgarpado (11-30 % de pendiente)		0.30	0.50	0.60
Pastizales				
Plano (0-5% de pendiente)		0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% de pendiente)		0.16	0.36	0.55
Esgarpado (11-30 % de pendiente)		0.22	0.42	0.60
Terrenos de cultivo				
Plano (0-5% de pendiente)		0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% de pendiente)		0.40	0.60	0.70
Esgarpado (11-30 % de pendiente)		0.52	0.72	0.82

**Fuente: Colegio de Posgraduados (1991), citado por Cuenca (2005).**

El conocimiento de un coeficiente detallado de esgurrimiento puede ayudar a obtener un valor del esgurrimiento medio de mayor precisión; del mismo modo, es necesario conocer con más detalle el valor C para los diferentes tipos de cobertura vegetales, ya que en la tabla propuesta por el Colegio de Posgraduados (1991), los valores mostrados están generalizados y están ya rebasados en cuanto a la información que se requiere, aunque éste

se sigue utilizando al no haber una propuesta actual que disminuya el margen de error conseguido con dichos valores (Orosco, 2003).

El escurrimiento medio de la Microcuenca del Río Calnali se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = A * C * Pm$$

Dónde:

$Vm$  = Volumen medio que puede escurrir ( $m^3$ )

$A$  = Área de la cuenca ( $Km^2$ )

$C$  = Coeficiente de escurrimiento que generalmente varía de 0.10 a 1.0

$Pm$  = Precipitación media del área (mm)

#### **6.2.5. Infiltración**

La infiltración, es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio, 1992). En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

No es fácil medir la filtración al igual que la recarga subterránea, por lo que generalmente los valores de estos componentes del balance hídrico, se determinan por la diferencia de la precipitación, menos la intercepción, evapotranspiración y el escurrimiento superficial.

La infiltración se estimó siguiendo las formulas propuestas por Orosco (2006), basadas en las formulas establecidas en el método para el cálculo de la infiltración de Green-Ampt y la ley de Darcy, de las cuales obtuvo las ecuaciones siguientes para el cálculo del volumen de agua infiltrada:

$$Q = A_v * V$$

Dónde:

$Q$  = Gasto o volumen infiltrado ( $m^3/hr/ha$ ).

$A_v$  = Área de espacios porosos en  $m^2$ .

$V$  = Velocidad de descarga.

Los datos anteriores se calcular por separado, por lo que se tienen fórmulas para cada elemento de la fórmula: velocidad de descarga, la velocidad de infiltración y el área de espacios porosos respectivamente. La velocidad de descarga estaba determinada por la fórmula:

$$V = k * i$$

Dónde:

$V$  = Velocidad de descarga (mm/hr)

$k$  = Conductividad hidráulica (obtenida en la Tabla 1 de anexos)

$i$  = Gradiente hidráulico (% de pendiente)

El gradiente hidráulico ( $i$ ) es la pendiente de la superficie freática o piezométrica en un punto considerado y de su valor depende la velocidad de circulación del agua en el suelo y se determinó con base a la pendiente de los rodales, lo cual está determinado por la fórmula:

$$i = \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

Contando con el dato de la velocidad de descarga, se hace necesario el cálculo de velocidad de infiltración, la cual está determinada por la fórmula siguiente:

$$v_i = \frac{1 + e}{e} * V$$

Dónde:

$v_i$  = Velocidad de infiltración.

$e$  = Porosidad efectiva (obtenida de la Tabla 1 de anexos).

$V$  = Velocidad de descarga (mm/hr).

Orosco (2006) menciona que la velocidad de infiltración ( $v_i$ ) no es una velocidad real, puesto que el flujo del agua en el suelo se da a través de la conexión de los conductos irregulares entre las partículas del estrato. Por lo que la infiltración al igual que la velocidad de descarga, son solo variables de cálculo que permiten llegar a resultados concretos

Contando con el dato de la velocidad de infiltración, se hace necesario conocer el área de espacios porosos, lo que sería el área efectiva por la cual fluye el agua, la cual está dada por la siguiente formula y basados en un área de estudio de 1 ha (10,000 m<sup>2</sup>).

$$Av = \frac{A * V}{v_i}$$

Dónde:

$Av$  = Área de espacios porosos

$A$  = Área (10,000m<sup>2</sup>)

$V$  = Velocidad de descarga (m/hr)

$v_i$  = Velocidad de infiltración (m/hr)

#### **6.2.6. Recarga subterránea**

Debido a que la recarga subterránea está íntimamente relacionada con la infiltración, este es otro elemento que presenta complicaciones al momento de ser calculada, pues una porción del agua infiltrada termina formando parte de los mantos acuíferos, volviéndose agua disponible para el consumo de las actividades humanas, la cual se obtiene a través del aprovechamiento de manantiales, pozos, etc.

Una forma de estimar la cantidad de agua disponible en el manto acuífero es conociendo la cantidad de agua extraída de éste durante un determinado periodo, el cual generalmente es un año. El agua extraída se puede considerar como la recarga subterránea siempre y cuando el desnivel estático y dinámico se mantenga o inclusive este último se eleve. La estimación

de la recarga subterránea generalmente se calcula por la diferencia de todos los componentes del Balance Hídrico como se presenta a continuación:

$$Rs = P - (Int + Ev + E + Inf + Ae)$$

Dónde:

*Rs* = Recarga subterránea

*P* = Precipitación

*Int* = Intercepción

*Ev* = Evapotranspiración

*E* = Escurrimiento superficial

*Inf* = Infiltración

*Ae* = Agua entubada

### **6.3 Valoración económica de los recursos hidrográficos**

Con base al balance hídrico es posible calcular las entradas y salidas de agua de la Microcuenca del Río Calnali, esto por sus diferentes componentes, los cuales representan la primera parte para poder realizar la valoración económica del recurso hidrológico y la internalización del costo por sus usuarios.

La valoración económica del agua inicia partiendo de la precipitación total que ocurre en la microcuenca y los diferentes usos que se le dan dentro de ésta. Lo anterior mediante el uso de información consultada en la bibliografía y en los datos que existen del Municipio. Cabe mencionar que el valor que puede tomar el agua puede ser tanto fijo como circulante, dependiendo de sus usos y representar un insumo, un producto o un capital acumulado (Orosco, 2003).

#### **6.3.1. Cálculo de la oferta del recurso hídrico**

El cálculo de disponibilidad u Oferta de agua para la población se realiza conociendo los datos de precipitación media anual, la evapotranspiración total de la zona y el volumen captado por depósitos naturales de utilidad económica (Orosco, 2003). Los datos de precipitación se obtuvieron por documentos publicados del INEGI y el área se calculó con

base al material cartográfico de la microcuenca, de tal manera que se puede cuantificar con la siguiente fórmula que representa al balance hídrico:

$$O = P - (Int + Ev + E + As)$$

Dónde:

$O$  = Oferta del recurso hídrico.

$P$  = Precipitación ( $m^3/año$ ).

$Int$  = Intercepción ( $m^3/año$ ).

$Ev$  = Evapotranspiración ( $m^3/año$ ).

$E$  = Escurrimiento superficial ( $m^3/año$ ).

$As$  = Agua suspendida o higroscópica ( $m^3/año$ ).

### 6.3.2. Cálculo demanda del recurso hídrico

La demanda de agua se determina en función de los diferentes sectores en los cuales se utiliza éste recurso (doméstico, agrícola, comercio, del ecosistema). Un problema futuro de este recurso es su posible escasez, por lo que solo deberá ser utilizado en actividades rentables (Orosco, 2003). Con base a los datos con los que se cuenta, el cálculo de la demanda se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$D = Vic + Va + Vd$$

Dónde:

$D$ : Demanda de agua.

$Vic$  = Volumen utilizado en la industria y el comercio.

$Va$  = Volumen utilizado en la producción agrícola.

$Vd$  = Volumen utilizado para el uso doméstico.

### 6.3.3. Valor de captación hídrica del bosque

Los bosques, por sí solos o como parte de paisajes más extensos de usos múltiples, producen una gran cantidad de servicios valorados por la sociedad; mientras que éstos varían según las localidades, los bosques entre otras cosas, protegen la calidad del agua,

regulan su flujo, controlan la salinidad del suelo y mantienen los hábitats acuáticos (Landell-Mills, 2002).

Entre los servicios que proporcionan los bosques, el hidrográfico es considerado su mayor aportación, al considerársele como bancos exclusivos de producción de agua, por lo que se le puede asignar un valor hipotético del 50 % del costo de oportunidad de la mejor actividad económica (Orosco, 2003).

El costo de oportunidad de los bosques de la microcuenca se tomó con base a las actividades económicas que tiene más peso dentro de ésta, las cual fueron el uso maderable y el establecimiento de potreros para la ganadería extensiva. El costo de oportunidad entonces, representa renunciar a los ingresos potenciales que pueden genera las actividades forestales y agropecuarias por la conservación de los bosques y su cobertura en niveles altos para la producción de agua. El cambio de actividades representa la perdida de entradas de dinero a sus propietarios, por lo que se considera el pago por este cambio, el cual debe ser al menos igual al costo de oportunidad de esas tierras, esto mediante un mecanismo de pago por los servicios hidrográficos prestados a la sociedad.

Para calcular el valor de captación de agua de los bosques de la microcuenca se utilizó la fórmula propuesta por Barrantes y Vega (2001), en la cual se toman en cuenta parámetros como el costo de oportunidad de las tierras y la importancia del bosque como generador de recursos hidrográficos.

$$Vc = (\alpha_i) (\beta_i) (A_{bi})$$

Dónde:

$Vc$  = Valor de captación hídrica del bosque (\$/ha)

$\alpha_i$  = Proporción del costo de oportunidad en función de recurso hídrico (%)

$\beta_i$  = Costo de oportunidad de las actividades forestal y/o agropecuaria (\$/ha/año)

$A_{bi}$  = Área boscosa en la microcuenca (ha).

#### 6.3.4. Valor de protección de la microcuenca

La protección y recuperación del bosque es un mecanismo que ayuda a la conservación de las aguas superficiales y subterráneas, a la vez que evita la erosión de los suelos. Estos beneficios llevan implícito un costo que debe ser considerado dentro de la estructura de valoración económico – ecológico para el uso del agua, con el fin de proveer recursos financieros que permitan el desarrollo de actividades orientadas a la protección, recuperación y conservación de las partes altas de la microcuenca (Barrantes y Vega, 2001).

Los costos en los cuales se incurre por la protección del bosque, se determinan por los gastos en los salarios (operativos, administrativos, de reforestación), gastos en combustibles, transporte, infraestructura y por otros conceptos, además de los incentivos para la protección de la microcuenca y laderas. De acuerdo a las características del bosque natural, el costo de restablecimiento debe ser equivalente al de recuperar el ecosistema para dejarlo en condiciones similares a las que mantenía antes de ser intervenido.

Por lo tanto en términos de operaciones se puede plantear que los recursos necesarios para la implementación de las medidas de protección, recuperación, conservación y mantenimiento de la microcuenca están determinados, por la fórmula:

$$Vp = \frac{\beta * C_{pm}}{A}$$

Dónde:

$Vp$  = Valor de protección de (\$/ha).

$\beta$  = Coeficiente de nivel de importancia.

$C_{pm}$  = Costo de protección de la microcuenca.

$A$  = Área de la microcuenca.

El costo de protección de la cuenca se estima con base a los gastos en los que se puedan incurrir por concepto de las actividades que se lleven a cabo con el fin de proteger al

bosque; es decir, gastos salariales, combustibles, transporte, etc., por lo que el costo de protección estará determinado de la siguiente manera:

$$C_{pm} = Gs + Gi + Ga + Gn$$

Dónde:

$C_{pc}$  = Costo de protección de bosque.

$Gs$  = Gastos salariales.

$Gi$  = Gastos en infraestructura.

$Ga$  = Gastos administrativos.

$Gn$  = Otros gastos (incentivos para la protección del bosque en la cuenca).

### **6.3.5. Valor del agua como insumo de producción**

Para algunas actividades económicas, el agua es un insumo importante dentro del proceso de producción. Por ejemplo, en el sector agrícola cuando se usa riego, en el sector industrial cuando se utiliza agua en los procesos o en el turismo. Esa importancia económica del recurso agua es un indicador que refleja la necesidad de asignar un precio que responda al valor de escasez del recurso (Barrantes y Vega, 2001).

La valoración económica del agua como insumo de la producción, implica la utilización de diferentes técnicas debido a la variada utilización que se hace de éste recurso. Ante esa diversidad de usos para el agua, la valoración de ésta puede hacerse bajo el enfoque de considerar el costo del uso del agua para la producción, es decir, solo por el hecho de contar con el servicio. Cabe mencionar que éste costo es solo una aproximación del valor que en verdad representa la utilización del agua en diferentes procesos productivos de la zona.

Dentro la microcuenca, no se encuentra establecida una industria muy desarrollada, ya que las mismas condiciones no lo han permitido, por lo que los establecimientos que hacen uso de los recursos hidrológicos se pueden considerar como familiares y cuyo consumo de agua para sus procesos productivos es poco, por lo que se han incluido como uso doméstico.

### 6.3.6. Valor promedio del agua

Una vez estimado el valor del agua para los diferentes usos, se puede obtener un promedio ponderado, con el fin de generar un único valor para el agua, donde se requieren los volúmenes de agua utilizados en cada uno de los sectores involucrados. De ese modo, el valor promedio para el agua está dado por la fórmula:

$$V_{pa} = \frac{V_c + V_p + V_i}{3}$$

Dónde:

$V_{pa}$  = Valor promedio del agua (\$/ha/año).

$V_c$  = Valor de captación de la cuenca (\$/ha/año).

$V_p$  = Valor de protección de la cuenca (\$/ha/año).

$V_i$  = Valor del agua como insumo de producción (\$/ha/año).

### 6.3.7. Trabajo en Campo

La fase de campo consistió en el reconocimiento general de la microcuenca. Esto se llevó a cabo gracias al apoyo de la presidencia municipal de Calnali, al facilitar el transporte para visitar algunos lugares. Las salidas tuvieron el objetivo de identificar algunas características particulares de la zona como el tipo de vegetación, el parteaguas de la misma, pendientes, usos del suelo, etc.

De la misma forma, los datos colectados consideraron un cuestionario utilizado para el sondeo de la utilización de agroquímicos y los cultivos más establecidos en la zona. Por otro lado, se observó la problemática del lugar.

## **7. RESULTADOS**

Los resultados presentados a continuación se obtuvieron conforme se mostró en la metodología, éstos representan las condiciones generales de la microcuenca, lo cual da los elementos para tener una visión objetiva del estado en la cual se encuentra; considerándolos, se puede cuantificar el valor y la importancia que tiene los bosques como fuentes generadoras de servicios y bienes, los cuales a la vez tienen gran importancia económica en toda la zona ya que estos servicios naturales son utilizados tanto en actividades cotidianas como en el comercio y en la producción de bienes y servicios.

Dado que el propósito de este trabajo es la valoración de los recursos hidrológicos de la Microcuenca del Rio Calnali, la metodología ha sido adaptada para poder partir del balance hídrico como base para dicha valoración, por lo cual el estudio se realiza en tres partes las cuales son: caracterización, balance hídrico y la valoración económica de los recursos hidrológicos. Cada elemento proporcionó datos, a la vez que se generó información que fue utilizada para poder valorar económicamente al agua dentro de lugar.

### **7.1. Caracterización de la microcuenca**

La caracterización de la zona se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Sánchez (1987), la cual consiste en calcular parámetros como el área y perímetro y posteriormente se estimaron los parámetros morfométricos como la relación de forma y la relación de elongación. Todos los resultados que a continuación se presenta nos proporcionan un panorama del funcionamiento y estado de la microcuenca.

### **7.1.1. Área de la microcuenca**

El área de la microcuenca se obtuvo utilizando el mapa topográfico F14D52 y el programa AutoCAD Map 2010. Las curvas de nivel del mapa fueron la base para establecer el parteaguas que representa el límite de ésta. El área se calculó con el comando “*Área*”, con lo que el resultado es de **5,130.48** ha.

### **7.1.2. Perímetro de la microcuenca**

Con la delimitación del parteaguas de la microcuenca, además de poder calcular el área de ésta, se puede obtener el perímetro, esto con el comando “*List*” el cual a la vez muestra los 12 puntos principales del parteaguas (Fig. 5). El perímetro total es de **37.69** km.

### **7.1.3. Longitud del cauce principal**

La longitud del cauce principal se obtuvo luego de marcar dentro de un mapa todos los afluentes que se encuentran dentro de la microcuenca, tanto intermitentes como perennes, ya que es con base a estos que se puede identificar el inicio del Rio Calnali, hasta su unión con otros ríos.

La longitud del cauce principal se obtuvo mediante el comando “*List*” del programa AutoCAD Map 2010, obteniendo como resultado una longitud del cauce principal de **20.233** km.

### **7.1.4. Relaciones de drenaje**

Dentro de los siguientes apartados se desglosa la cantidad de afluentes que contribuyen al caudal del Rio Calnali, éstos proporciona una idea general del comportamiento de la corriente dentro del sistema hídrico en estudio.

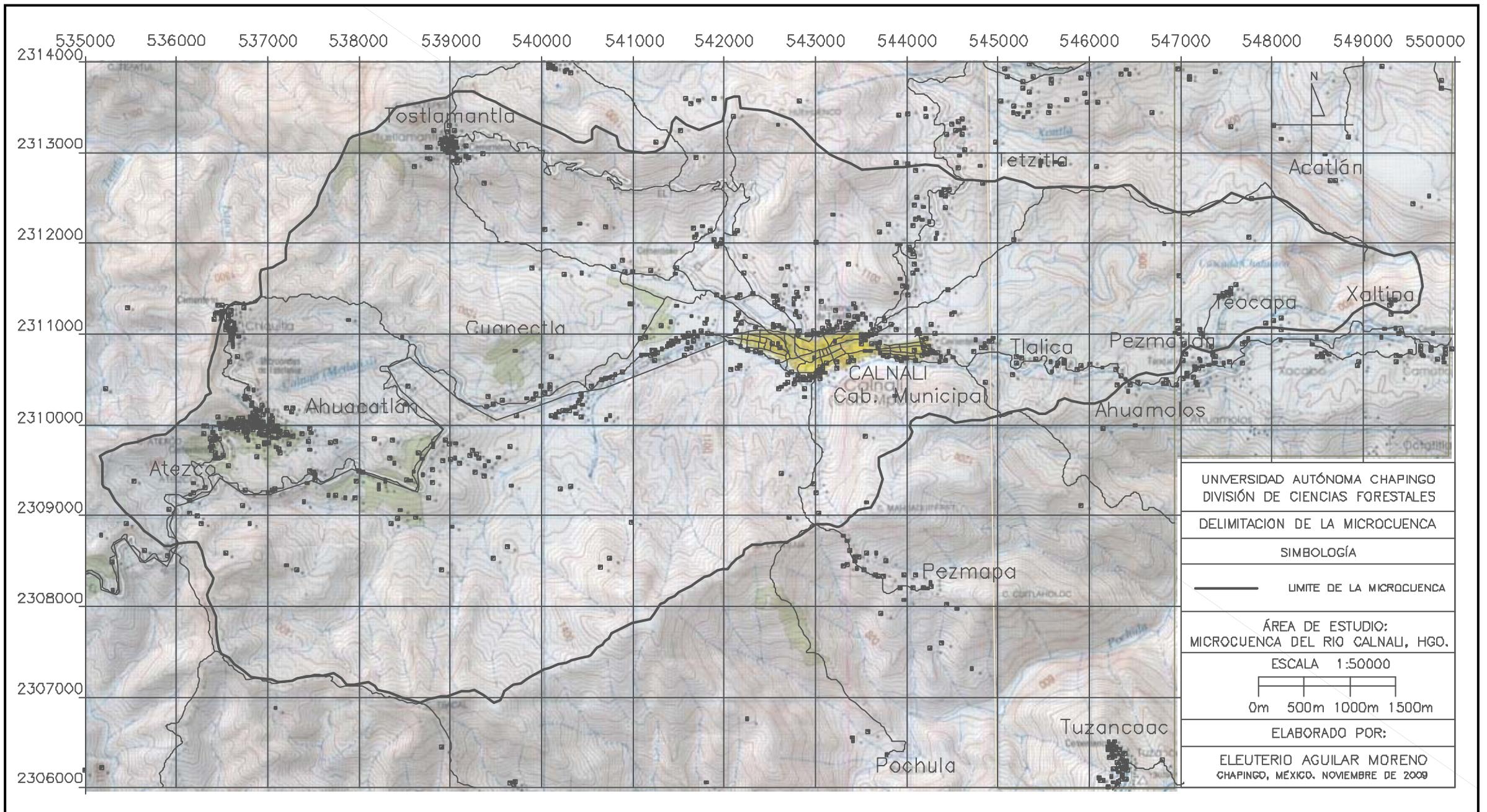


Fig. 5. Delimitación de la microcuenca del Rio Calnali, Hidalgo.

#### **7.1.4.1. Hidrografía**

La hidrografía de la microcuenca está representada por varios tributarios que descargan sus corrientes al cauce principal del Río Calnali. La mayoría de las corrientes son intermitentes, los cuales solo aparecen y aportan agua en épocas de lluvias; y en menor cantidad son los riachuelos que aportan agua todo el año.

#### **7.1.4.2. Orden de las corrientes hidrográficas**

El orden del Río se obtuvo mediante la jerarquización de las corrientes tributarias, la cual se hizo con base a su posición dentro del sistema hídrico. El orden final de la corriente se obtuvo considerando que al juntarse dos corrientes de primer orden, estas forman una corriente de segundo orden; dos corrientes de segundo orden, forman una corriente de tercer orden y de esa manera sucesivamente hasta llegar al final del cauce.

Debido a la topografía de la zona, la red hidrológica de la Microcuenca del Río Calnali presenta gran cantidad de corrientes tanto intermitentes como perennes. El Cuadro 8 muestra la cantidad de total de corrientes, su orden y la longitud que suman; de la misma forma, esto se aprecia en la Fig. 6.

**Cuadro 8. Clasificación de corrientes**

<b>Orden</b>	<b>Numero de corrientes</b>	<b>Longitud (m)</b>
1°	81	92,773.13
2°	20	16,981.37
3°	4	4,925.60
4°	1	15,577.40
<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>130,257.50</b>

La corriente del Río Calnali es de 4° orden, aunque mayoría sus tributarios son de 1° orden, estos se mantienen contribuyendo al cauce principal durante gran parte del año.

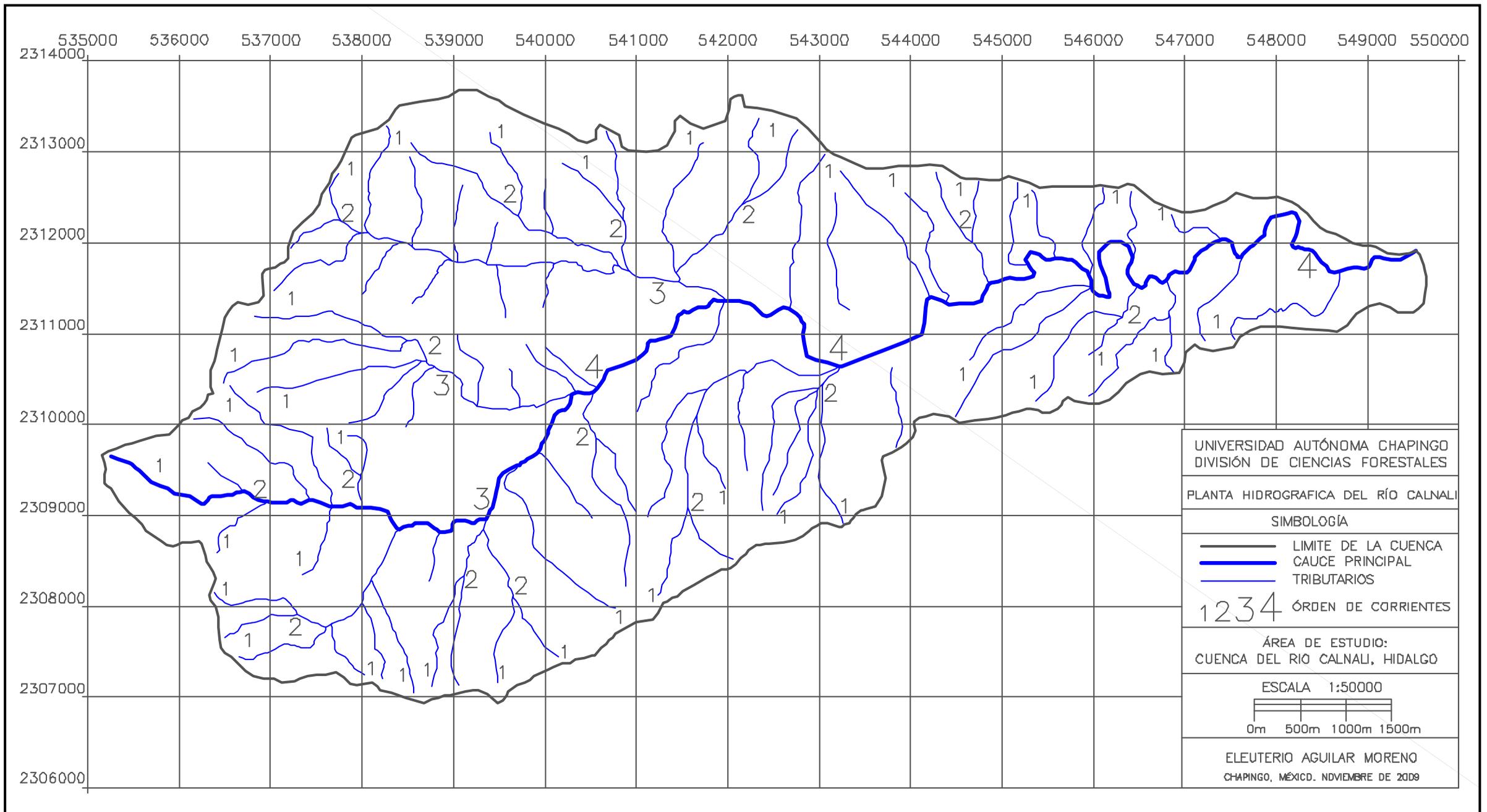


Fig. 6. Planta hidrográfica de la microcuenca del Río Calnali.

#### **7.1.4.3. Densidad de corriente**

La densidad de la corriente nos muestra la cantidad de ríos intermitentes y perennes, etc., que se pueden encontrar en una determinada área y por consiguiente la eficiencia de drenaje de la microcuenca. La densidad de corriente es:

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

Dónde:

Dc = Densidad de corrientes.

Nc = Numero de corrientes.

A = Área de la microcuenca.

$$Dc = \frac{106}{5130.483 \text{ ha}} = 0.0206 \text{ corrientes por ha} = 2.06 \text{ corrientes por Km}^2$$

En el cálculo se tomaron en cuenta todas las corrientes ya que todas presentan un régimen, ya sea perenne o intermitente según el mapa topográfico F14D52 correspondiente al Municipio de Calnali, Hgo.

#### **7.1.4.4. Densidad de drenaje**

Algunos autores consideran este parámetro más confiable que el anterior. La densidad de drenaje resulta de la relación entre la longitud total de las corrientes existentes en la microcuenca y el área de ésta. Por lo tanto, la densidad de drenaje es la siguiente:

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

Dónde:

Dd = Densidad de drenaje.

Lc = Longitud total de corrientes.

A = Área de la microcuenca.

$$Dd = \frac{130.257 \text{ Km}}{5130.4839 \text{ Ha}}$$

Densidad de drenaje: **0.0253** Km de corriente/ha

**25.388** m de corriente/ha.

#### ***7.1.4.5. Pendiente del cauce principal***

La pendiente, es la relación que existe entre el desnivel de dos puntos y la distancia horizontal que los separa. Para obtener el desnivel tomó en cuenta el punto más alto y el más bajo de la microcuenca y se obtuvo la diferencia de altitudes. La distancia horizontal se obtuvo mediante el comando “*Dist*” en el programa AutoCAD Map 2010. De esta manera, la fórmula para calcular la pendiente del cauce principal es la siguiente:

$$Pcp = \frac{\Delta H}{L} * 100$$

Dónde:

*Pcp* = Pendiente del cauce principal.

$\Delta H$  = Diferencia de altitudes

*L* = Longitud horizontal del punto más alto y más bajo

$$Pcp = \frac{1695 \text{ m} - 620 \text{ m}}{14,453.12 \text{ m}} * 100$$

Pendiente del cauce principal: **7.437 %**

#### ***7.1.4.6. Relación de bifurcación***

La relación de bifurcación hace referencia al número de corrientes que pueden derivar de una inicial. Esta relación se obtiene al dividir el número de canales de un determinado orden de corriente entre el número de corrientes del orden inmediato superior (Cuenca, 2006). De esta manera tenemos que:

$$Rb = \frac{Nc}{Nc + 1}$$

Dónde:

$Rb$  = Relación de bifurcación.

$Nc$  = Número de canales de un determinado orden.

$Nc + 1$  = Número de canales del orden inmediato superior.

**Cuadro 9. Orden y número de corrientes**

Orden	Numero de corrientes
1°	81
2°	20
3°	4
4°	1

Considerando la formula, tenemos que:

$$Rb = \frac{81}{20} = 4.05 \quad Rb_1 = \frac{4.05}{4} = 1.01 \quad Rb_2 = \frac{1.01}{1} = 1.01$$

La relación de bifurcación de **1.01**

### 7.1.5. Morfometría comparativa

Dentro de la microcuenca, son varias las condiciones que influyen en el comportamiento del río. Una forma de la microcuenca que se asemeje a un círculo, indica que las aguas de las corrientes correrán más rápidamente hacia el cauce principal, por lo que el escurrimiento sería mayor, al igual que la erosión. La topografía de nuestro país permite que se puedan contar con cuencas de todo tipo, desde alargadas hasta las que se asemejan a un círculo. En otras palabras, la morfometría permite evaluar algunos parámetros, con los cuales generar una idea más objetiva del comportamiento del Río y de sus afluentes.

### 7.1.5.1. Índice de forma

Horton (1982), citado por Orosco (2003), menciona que es la relación que existe entre el área de la microcuenca y la longitud axial del cauce principal. La longitud axial se consideró como una línea recta que va desde parte más alta de la microcuenca a la parte más baja o desembocadura. De esta forma tenemos que:

$$If = \frac{A}{La^2}$$

Dónde:

$If$  = Índice de forma.

$A$  = Área de la microcuenca.

$La^2$  = Longitud axial al cuadrado.

Entonces tenemos: 
$$If = \frac{51.304 \text{ Km}^2}{(14.453 \text{ Km})^2} = \frac{51.304}{208.88} = 0.2456$$

Este valor indica que la microcuenca presenta una forma alargada.

### 7.1.5.2. Factor de forma

Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la microcuenca, y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. La ecuación utilizada fue la siguiente.

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

Dónde:

$Ff$  = Factor de forma

$Ap$  = Ancho promedio

$La$  = Longitud axial

Entonces tenemos:  $Ff = \frac{3.169 \text{ Km}}{14.453 \text{ Km}} = \text{Factor de forma: } \mathbf{0.2504}$

Por lo tanto, la forma de la microcuenca del Río Calnali, Hgo. Es alargada

### **7.1.5.3. Relación de forma**

Sánchez (1987), menciona que es la relación que existe entre el área de la microcuenca y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro que ésta. La relación de forma da una indicación de la tendencia de las avenidas en el cauce. Una cuenca con un factor de forma bajo, tiene menos tendencias a concentrar las intensidades de lluvias que una cuenca de igual área pero con un factor de forma más alto. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$Rf = \frac{12.57 A}{P^2}$$

Dónde:

$Rf$  = Relación de forma

$A$  = Área De la microcuenca

$P^2$  = Perímetro cuadrado de la microcuenca

Por lo tanto tenemos:  $Rf = \frac{12.57 (51.304 \text{ km}^2)}{(37.694)^2} = \frac{644.8912 \text{ Km}^2}{1420.8376 \text{ Km}^2}$

La relación de forma es **0.4538**, por lo tanto, la microcuenca tiende a ser largada y con esto se puede considerar que el tiempo de concentración se dará en un tiempo medio.

### **7.1.5.4. Relación de elongación**

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la microcuenca y la longitud máxima de ésta, y es usado para definir el relieve (Sánchez, 1987). Este parámetro se calcula de la siguiente forma:

$$Re = \frac{0.318 P}{La}$$

Dónde:

$P$  = Perímetro de la microcuenca

$La$  = longitud axial

0.318 = Constante

Entonces tenemos que:  $Re = \frac{0.318 (37.696 \text{ km})}{14.453 \text{ km}} = \frac{11.9873 \text{ km}}{14.453 \text{ km}}$

Relación de elongación: **0.8294**

#### ***7.1.5.5. Índice de compacidad***

Este índice fue propuesto por Gravelius en 1914 y es la relación entre el perímetro de la microcuenca y el perímetro de un círculo de igual área que ésta. En cualquier caso, el índice será mayor que la unidad mientras más irregular sea la cuenca y menor tanto más la microcuenca se aproxime a la forma circular.

Este índice está relacionado con el tiempo de concentración, o bien, “el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la hoja de lluvia hasta el desagüe; en ese momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que están llegando gotas de lluvia de todos los puntos”. (Sánchez, 1987).

Este coeficiente define la forma de la microcuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

- Clase  $K^1$ : Rango entre 1 a 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- Clase  $K^2$ : Rango entre 1.25 a 1.5 Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- Clase  $K^3$ : Rango entre 1.5 a 1.75 Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

El índice puede ser mayor o igual a 1.0, de manera que cuanto más cercano sea el valor a la unidad, la forma de la cuenca se aproximara más a la del círculo. Cuando los valores que presente el índice sean mayores a la unidad, la cuenca será alargada.

La relación de elongación se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Ic = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

$Ic$  = Índice de compacidad

$P$  = Perímetro de la cuenca en Km

$A$  = Área de la microcuenca en Km<sup>2</sup>

0.28 = contante

Por lo tanto tenemos: 
$$Ic = \frac{0.28 (37.696 \text{ km})}{\sqrt{51.304}} = \frac{10.55488}{7.1626}$$

Índice de compacidad: **1.4736**

La cuenca tiene un índice de compacidad que corresponde a una forma **oval redonda a oval oblonga**, con base a los valores establecidos por FAO.

#### ***7.1.5.6. Pendiente ponderada de la microcuenca por el método Horton***

Son varias las características de la microcuenca en las cuales interviene la pendiente; dentro de ellas se encuentran el escurrimiento superficial y subterráneo y en determinado momento establece la erosión que se producirá en la zona. De la misma forma interviene en el manejo que se le podría dar a la microcuenca mediante prácticas de conservación.

#### *Criterio de Horton*

El método consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la microcuenca orientándola según la dirección de la corriente principal. El número de cuadros está determinado por el tamaño de la microcuenca y de la precisión que se requiera para el estudio. Generalmente, cuando una cuenca tiene entre 50 y 150 km<sup>2</sup>, al menos deberá contar con 4 cuadros por lado (Sánchez, 1987).

Una vez construida la malla, se miden las longitudes de las líneas de ésta dentro de la microcuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel en dirección del eje *X* y del eje *Y* (Sánchez, 1987). El método de Horton considera dos fórmulas, con las cuales se calcula la pendiente que se encuentra en las coordenadas *X* y la pendiente correspondiente al eje *Y*. las formulas son las siguientes:

$$S_x = \frac{N_x D}{L_x} * 100$$

$$S_y = \frac{N_y D}{L_y} * 100$$

Dónde:

*S<sub>x</sub>* = Pendiente de la cuenca en dirección *x* (%)

*S<sub>y</sub>* = Pendiente de la cuenca en dirección *y* (%)

*N<sub>x</sub>* = Número total de intersecciones en la dirección *x*.

*N<sub>y</sub>* = Número total de intersecciones en la dirección *y*.

*D* = Espaciamiento entre las curvas de nivel en metros (m)

*L<sub>x</sub>* = Longitud total de las líneas de la malla en la dirección *x* (m)

*L<sub>y</sub>* = Longitud total de las líneas de la malla en la dirección *y* (m)

La ecuación de la pendiente media de la microcuenca según Horton es la siguiente:

$$S_m = \frac{ND \sec \theta}{L} * 100$$

Dónde:

*S<sub>m</sub>* = Pendiente media de la cuenca en porcentaje.

*L* = *L<sub>x</sub>* + *L<sub>y</sub>*.

*N* = *N<sub>x</sub>* + *N<sub>y</sub>*.

*D* = Espaciamiento entre las curvas de nivel en metros.

*θ* = Ángulo formado entre las líneas de la malla y las curvas de nivel = (1).

El número de columnas que se plantearon, generaron una cuadrícula de 15 por 8, separadas equidistantemente a 1000 m una de la otra, lo que demarca un Km<sup>2</sup> por cada cuadro. La distancia entre las curvas de nivel es de 100 m. El Cuadro 10 muestra los datos resultado del conteo de las intersecciones de las líneas con las curvas de nivel y las distancias demarcadas por el parteaguas.

**Cuadro 10. Determinación de Sx y Sy de la pendiente ponderada por el método de Horton.**

Numero de línea	Intersecciones		Longitud en m	
	Nx	Ny	Lx	Ly
0	0	0	0	0
1	0	3	1108.330	1321.219
2	11	16	4881.428	4523.762
3	17	16	7915.437	6059.719
4	14	17	8040.054	6613.156
5	9	13	11206.963	6013.527
6	22	14	11644.341	5190.741
7	20	9	5309.422	5017.484
8	0	7	0	4208.792
9	0	5	0	3016.241
10	0	2	0	2602.893
11	0	3	0	2380.362
12	0	4	0	1620.761
13	0	1	0	1436.533
14	0	3	0	671.602
<b>Suma</b>	<b>93</b>	<b>113</b>	<b>50105.974</b>	<b>50676.791</b>
<b>Total</b>	<b>206</b>		<b>100782.765</b>	

Considerando todo lo anterior tenemos:

$$S_x = \frac{(93 * 100)}{50105.974} * 100$$

$$S_y = \frac{(113 * 100)}{50676.791} * 100$$

$$S_x = \frac{9300}{50105.974} * 100$$

$$S_y = \frac{11300}{50676.791} * 100$$

$$S_x = 18.561 \%$$

$$S_y = 22.298 \%$$

De la misma forma la pendiente media según Horton está dada por la ecuación:

$$S_m = \frac{(206 * 100)}{100782.765} * 100$$

$$Sm = \frac{(20600)}{100782.765} * 100$$

Pendiente ponderada de la cuenca según la fórmula de Horton: **20.44 %**

De la misma forma los promedios aritmético y geométrico muestran los siguientes resultados de la pendiente media de la microcuenca.

Pendiente media aritmética

Pendiente media geométrica

$$Sm = \frac{Sx + Sy}{2}$$

$$Sm = \sqrt{Sx * Sy}$$

$$Sm = 20.42 \%$$

$$Sm = 20.34\%$$

#### **7.1.5.7. Altura media de la microcuenca**

Este parámetro se calculó mediante la sobre posición de una malla de puntos sobre el mapa topográfico de la microcuenca y con ayuda del programa AutoCAD Map 2010. La malla consto de 300 cuadros de igual tamaño (600 m por lado) de tal manera que se generaron 100 intersecciones entre las líneas trazadas y las curvas de nivel dentro de la microcuenca delimitada.

Las curvas de nivel que se consideraron para el cálculo, presentaban una equidistancia de 20 metros. Finalmente la elevación media de la microcuenca fue el resultado del promedio de las elevaciones de 100 intersecciones.

En el Cuadro 11 se muestra el valor de las curvas de nivel y el número de interacciones que presento cada una, para de ésta manera obtener la altura media de la zona.

**Cuadro 11. Intersecciones de las cotas con los puntos de la malla.**

Cota	Intersecciones	Cota	Intersecciones	Cota	Intersecciones	Cota	Intersecciones	
620	1	880	1	1140	2	1400	4	
640	1	900	1	1160	2	1420	4	
660	1	920	1	1180	2	1440	4	
680	1	940	1	1200	2	1460	4	
700	1	960	0	1220	2	1480	4	
720	1	980	0	1240	2	1500	4	
740	1	1000	2	1260	4	1520	3	
760	1	1020	2	1280	3	1540	3	
780	1	1040	2	1300	3	1560	3	
800	1	1060	2	1320	2	1580	3	
820	1	1080	2	1340	2	1600	3	
840	1	1100	2	1360	2	1620	0	
860	1	1120	2	1380	2	1640	0	
<b>No. Intersecciones:</b>		100	<b>Altura media de la microcuenca:</b>				1241.6 msnm	

#### 7.1.5.8. Coeficiente de masividad

Representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Este índice toma valores altos en cuencas montañosas y bajos en cuencas llanas. Este parámetro fue establecido por De Martonne y funciona como un indicador del relieve de la microcuenca ya que la altura media no es representativa de esta (Sánchez, 1987). El Coeficiente de masividad se calculó de la siguiente manera.

$$Km = \frac{Em}{A}$$

Dónde:

$Km$  = coeficiente de masividad.

$Em$  = Elevación media de la cuenca en Km.

$A$  = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

Con base a lo anterior tenemos que:

$$Km = \frac{1.241 \text{ Km}}{51.30 \text{ Km}^2}$$

Coeficiente de masividad: **0.0241**

El valor anterior nos sugiere que la microcuenca tiene una gran extensión y una topografía no muy accidentada. En otras palabras, dado que el valor es pequeño, se puede decir que esta cuenca está ubicada en una zona poco montañosa.

#### **7.1.5.9. Coeficiente orográfico**

La pendiente media y la altura media son parámetros insuficientes para caracterizar el relieve de una cuenca. En realidad, podemos encontrar con cuencas que con la misma pendiente o altura media presentan una morfología muy distinta (Sánchez, 1987). El coeficiente orográfico contempla ésta posibilidad y se ha definido con la siguiente fórmula:

$$Co = \frac{hm}{A} * hm$$

Dónde:

$Co$  = Coeficiente orográfico adimensional

$hm$  = Altura media de la cuenca en Km

$A$  = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Considerando lo anterior tenemos que:

$$Co = \frac{1.241}{51.304} * 1.241 \quad \text{Coeficiente orográfico: } \mathbf{0.030}$$

El dato anterior nos sugiere que la topografía de la cuenca no es muy accidentada

#### **7.1.6. Análisis general**

Hasta el momento los parámetros calculados se han mostrado de forma independiente, sin embargo, es necesario contar con todos ellos ya que representa las condiciones tanto físicas como del relieve de la microcuenca en estudio. Es con base a éstas características que se pueden planear acciones de intervención en la microcuenca, ya que muestran un panorama general de la condición en la cual se encuentra el área en estudio en cuanto a sus condiciones hidrológicas. El Cuadro 12 muestra los parámetros calculados hasta ahora.

**Cuadro 12. Parámetros de la caracterización hídrica de la Microcuenca del Rio Calnali.**

<b>Parámetro físicos</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor o índice</b>
Área de la cuenca	51.3048 km <sup>2</sup>
Perímetro	37.6964 km
Long. Del cauce principal	20.2336 km
Numero de orden de corriente	4
Densidad de corriente	2.06 corrientes/km <sup>2</sup>
Densidad de drenaje	25.388 m/ha
Relación de bifurcación	1.01
Índice de forma	0.2456
Factor de forma	0.2504
Relación de forma	0.4538
Índice de compacidad	1.4736
Relación de elongación	0.8294

Las condiciones topográficas de la microcuenca determinan gran parte del estado en el cual se encuentran los recursos hidrológicos de la zona. Encaminado a la valoración de éstos recursos, las condiciones de relieve son grandes condicionantes de las prácticas de conservación de los éstos, a la vez que intervienen en cuanto a la cantidad de agua escurrida y la cantidad que puede captarse en éste sistema hídrico. El Cuadro 13 muestra los parámetros calculados hasta ahora en cuanto a las condiciones topográficas de la zona.

**Cuadro 13. Parámetros topográficos de la microcuenca del Rio Calnali**

<b>Parámetros de relieve</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor o índice</b>
Pendiente de la cuenca	20.44 %
Pudiente del cauce principal	7.438 %
Altura media de la cuenca	1241.6 m
Coficiente de masividad	0.0241
Coficiente orográfico	0.030

Todos los parámetros considerados anteriormente, dan una visión más objetiva de la condición en la cual se encuentra la microcuenca y del potencial que puede representar esta zona dentro de un esquemas de Pago se Servicios Ambientales, mediante los cuales los propietarios de los recursos pueden obtener ingresos económicos por conservar los recursos forestales de la zona en lugar de llevar a cabo cambios de usos de suelo para poder practicar actividades económicas poco rentables.

La disposición de las corrientes de agua dentro de la microcuenca, las condiciones de topografía, la vegetación y demás características que presenta la zona, pueden ser consideradas como parte de la orientación económica natural a la cual se debe dedicar la población del lugar; sin embargo, estas actividades no deben ser encaminadas a la extracción de recursos, sino a la generación de servicios naturales que aportan beneficios no solo a su comunidad sino a los poblados que se encuentran aguas abajo.

Las condiciones del lugar, han permitido mantener a la microcuenca en un estado aceptable; por el contrario, el cambio de uso del suelo puede llevar a la zona a una declinación natural que podría terminar con los recursos con los que cuentan en este momento. Todas las actividades que se lleven a cabo en la zona deben considerar los parámetros anteriores con el fin de poder hacer una mejor planeación de las actividades, sea cual sea su objetivo; protección, recuperación, etc.

#### **7.1.7. Cálculo del área y pendiente por rodal**

La rodalización se llevó a cabo con el fin de obtener los diferentes usos del suelo, así como el tipo de vegetación que se centra dentro de ésta. Dado al clima presente en el lugar y de las actividades económicas que se llevan a cabo, solo se identificaron 3 grandes usos de la tierra, los cuales se presentan más adelante.

Toda la caracterización de la microcuenca se llevó a cabo mediante el uso de cartografía del INEGI (Mapa topográfico, Ortofotos digitales) y el programa AutoCAD Map 2010, con lo que la información obtenida es representativa de lo que se tiene en campo. En cuestión de la pendiente, esta se consideró por cada rodal; sin embargo, dado que estos están poco diferenciados, las áreas que abarcan son grandes, por lo que presentan variaciones en cuanto a la pendiente. Con el fin de evitar errores en estos datos, se consideraron varias mediciones en cada uno y de esta manera minimizar el error de estimación de este parámetro.

Los rodales son pocos, ya que las actividades productivas a la vez no son numerosas y se encuentran poco diferenciadas en el terreno. No se identificaron zonas erosionadas; sin embargo, existe una marcada tasa de pérdida de suelo. Con base a esto, se considera que el estudio de los usos del suelo y vegetación se encuentra a un nivel de semidetalle.

El Cuadro 14 reporta las áreas y la pendiente media que se consideró para cada rodal. Dado que los usos identificados son solo tres junto con el tipo de vegetación presente, estos se han presentado de forma conjunta.

**Cuadro 14. Valores de área y pendiente por rodal.**

Rodal	Uso del suelo	Área m <sup>2</sup>	Pendiente media (%)
1	Bosque mesófilo	10,340,888.02	27.65
2	Pastizal	6,345,677.79	21.81
3	Pastizal	810,321.82	22.59
4	Temporal	383,911.21	28.15
5	Temporal	231,916.22	28.75
6	Bosque mesófilo	7,376,580.80	29.70
7	Pastizal	1,522,669.64	26.86
8	Bosque mesófilo	405,716.52	23.16
9	Pastizal	179,149.63	33.09
10	Temporal	1,192,770.18	22.19
11	Bosque mesófilo	934,625.26	14.74
12	Bosque mesófilo	719,935.68	12.77
13	Temporal	1,319,391.93	6.24
14	Pastizal	2,541,764.75	27.28
15	Bosque mesófilo	2,223,129.86	25.33
16	Pastizal	7,820,986.57	22.35
17	Pastizal	198,896.71	19.70
18	Bosque mesófilo	4,122,458.37	30.55
19	Pastizal	2,634,048.31	19.48
<b>Total</b>		51,304,839.26	
<b>Ha</b>		5130.4839	

Dentro del área, el elemento natural aún representa el mayor porcentaje del uso del suelo de la microcuenca, seguido del establecimiento de pastizales como potreros para la producción

de ganado bovino de forma extensiva y por último la utilizaron de zonas como áreas para el establecimiento de cultivos de subsistencia.

El bosque mesófilo abarca la mayor área dentro de la microcuenca, por lo que es recomendable y a la vez necesario conservar este recurso natural. Los pastizales, tanto inducidos como naturales, presenta un gran potencial de sucesión ecológica, por lo que se podría hacer más fácil el llevar a cabo prácticas de recuperación de zonas dedicadas al pastoreo.

Dentro del uso agrícola de temporal, los rendimientos son solo de subsistencia; sin embargo, esta actividad es necesaria ya que representa gran parte de la cultura de la zona. Entre los cultivos más establecidos se pueden mencionar al maíz, frijol, chile, calabaza, algunas hortalizas, entre otros.

El Cuadro 15 muestra los datos sintetizados de las áreas que abarcan cada uso del suelo y el número de rodales que lo componen; de la misma forma, se muestra el porcentaje que representa dentro del área de estudio.

**Cuadro 15. Numero de rodales y área por usos del suelo.**

Uso de suelo	No. de rodales	Área (ha)	% con base al total
Bosque mesófilo	7	2612.3335	50.9
Pastizal	8	2205.3515	43.0
Temporal	4	312.7990	6.1
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>5130.4839</b>	<b>100</b>

#### **7.1.8. Vegetación y porcentaje de cobertura**

El reconocimiento de la vegetación presente en cada rodal se hizo mediante la visita de la microcuenca. Se visitaron áreas de los diferentes usos del suelo con lo que se identificaron las especies más importantes y típicas de éstos. Por la estructura natural que presenta cada uso del suelo, el bosque mesófilo es el que cuenta con el mayor número de especies

vegetativas, seguido por las áreas dedicadas a potreros y por último a los dedicados a la agricultura.

### *Bosque mesófilo*

Las especies forestales encontradas en la zona son varias; sin embargo, considerando la importancia económica que representan dentro de la microcuenca, se muestran solo las especies que son utilizadas en la industria forestal y como combustibles en el uso doméstico. El Cuadro 16 muestra algunas de las especies encontradas dentro del bosque mesófilo.

**Cuadro 16. Especies forestales presentes en el bosque mesófilo.**

Nombre común	Nombre científico
Álamo	<i>Platanus lindeniana</i>
Cajón de toro	<i>Cojoba arborea</i>
Cedro blanco	<i>Cupressus lusitánica</i>
Cedro rojo	<i>Cedrela odorata L.</i>
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>
Encino	<i>Quercus crassifolia Humb.</i>
Encino	<i>Quercus mexicana</i>
Encino	<i>Quercus candicans</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>
Pino	<i>Pinus patula</i>
Pino	<i>Pinus greggii</i>
Guasuma	<i>Guazuma ulmifolia</i>

### *Pastizales*

La cría de ganado y la dedicación de áreas boscosas para éste fin, siempre han estado estrechamente relacionadas. Una gran parte de la microcuenca (43 %) está dedicada a ésta actividad, por lo que se hace importante conocer el tipo de especies que crecen en estas áreas y de esta manera evaluar el estado en el cual se encuentran.

La vegetación predominante en estas áreas son los pastos; sin embargo, algunas áreas han sido paulatinamente abandonadas, por lo que la sucesión vegetativa se ha hecho presente.

Las especies forestales encontradas en las áreas dedicadas a pastoreo y con presencia de sucesión ecológica, son el encino (*Quercus sp*), guarumbo (*Cecropia obtusifolia*), Mezquite (*Prosopis obtusifolia*) y Guasuma (*Guazuma ulmifolia*). En el Cuadro 17 se muestran los principales pastos encontrados dentro de los pastizales de la microcuenca.

**Cuadro 17. Vegetación presente en pastizales de la microcuenca de Calnali, Hidalgo.**

Nombre común	Nombre científico
Pasto elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Zacate estrella	<i>Chloris radiata</i>
Pasto gordura	<i>Melinis minutiflora</i>
Pasto pángala	<i>Digitaria eriantha</i>
Pasto rosetilla	<i>Cenchrus incertus</i>
Zacate de ladera	<i>Enneapogon desvauxii</i>
Pasto	<i>Bromus catharticus</i>

### *Agricultura*

La agricultura, más que una actividad económica rentable dentro de la zona, representa una actividad cultural que solo algunos pobladores llevan a cabo. Las condiciones fisiográficas de la microcuenca intervienen en ésta práctica, ya que por las condiciones de pendiente, no es posible en ocasiones trabajar en ellas. Solo una parte reducida de la microcuenca cuenta con pendientes menores que permiten establecer cultivos.

Por otro lado, el clima de la zona permite el establecimiento de árboles frutales, sin embargo, son pocas las especies que se encuentran como plantaciones, aunque representa un gran potencial. El Cuadro 18 muestra las especies agrícolas y frutales presentes en la zona.

**Cuadro 18. Especies agrícolas presentes en Calnali, Hidalgo.**

<b>Agricultura de temporal</b>			
<b>Especies agrícolas</b>		<b>Árboles frutales</b>	
<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Ajonjolí	<i>Sesamum indicum</i>	Aguacate	<i>Persea americana</i>
Alverjón	<i>Vicia hirsuta L.</i>	Durazno	<i>Prunus persica</i>
Café cereza	<i>Coffea arabica</i>	Granada	<i>Punica granatum</i>
Calabaza	<i>Cucurbita maxima</i>	Lima	<i>Citrus limetta</i>
Caña	<i>Saccharum officinarum</i>	Limón mexicano	<i>Citrus aurantifolia</i>
Chayote	<i>Sechium edule</i>	Limón persa	<i>Citrus latifolia</i>
Chile jalapeño	<i>Capsicum annuum var. Annuum L.</i>	Mamey	<i>Pouteria sapota</i>
Chile morita	<i>Capsicum annum</i>	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>
Chile piquín	<i>Capsicum annum L. var Aviculare</i>	Mango criollo	<i>Mangifera sp</i>
Chile serrano	<i>Capsicum</i>	Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
Ejote	<i>Judiaphaseolus vulgaris</i>	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>
Frijol de zarabando	<i>Phaseolus sp.</i>	Nogal negro	<i>Juglans nigra L</i>
Frijol enredador	<i>Phaseolus sp</i>	Plátano rotan	<i>Musa sp</i>
Frijol negro	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Plátano tabasco	<i>Musa acuminata</i>
Haba	<i>Vicia faba</i>	Pomarrosa	<i>Syzygium jambos</i>
Jícama	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Toronja	<i>Citris paradisi</i>
Maíz amarillo	<i>Zea mays</i>	Zapote negro	<i>Diospyros digyna</i>
Maíz blanco	<i>Zea mays</i>		
Papaya	<i>Carica papaya</i>		
Rabanitos	<i>Raphanus sativus</i>		

Las especies mencionadas anteriormente tanto del bosque mesófilo, los pastizales y el uso agrícola, fueron identificadas, en la zona y en laboratorio, mediante las muestras tomadas en campo. Como se menciona en párrafos anteriores, estas solo representan las especies más importantes; sin embargo, son muchas más las que se encuentran presentes en la microcuenca. La Fig. 7 muestra los rodales y el uso que actualmente tienen.

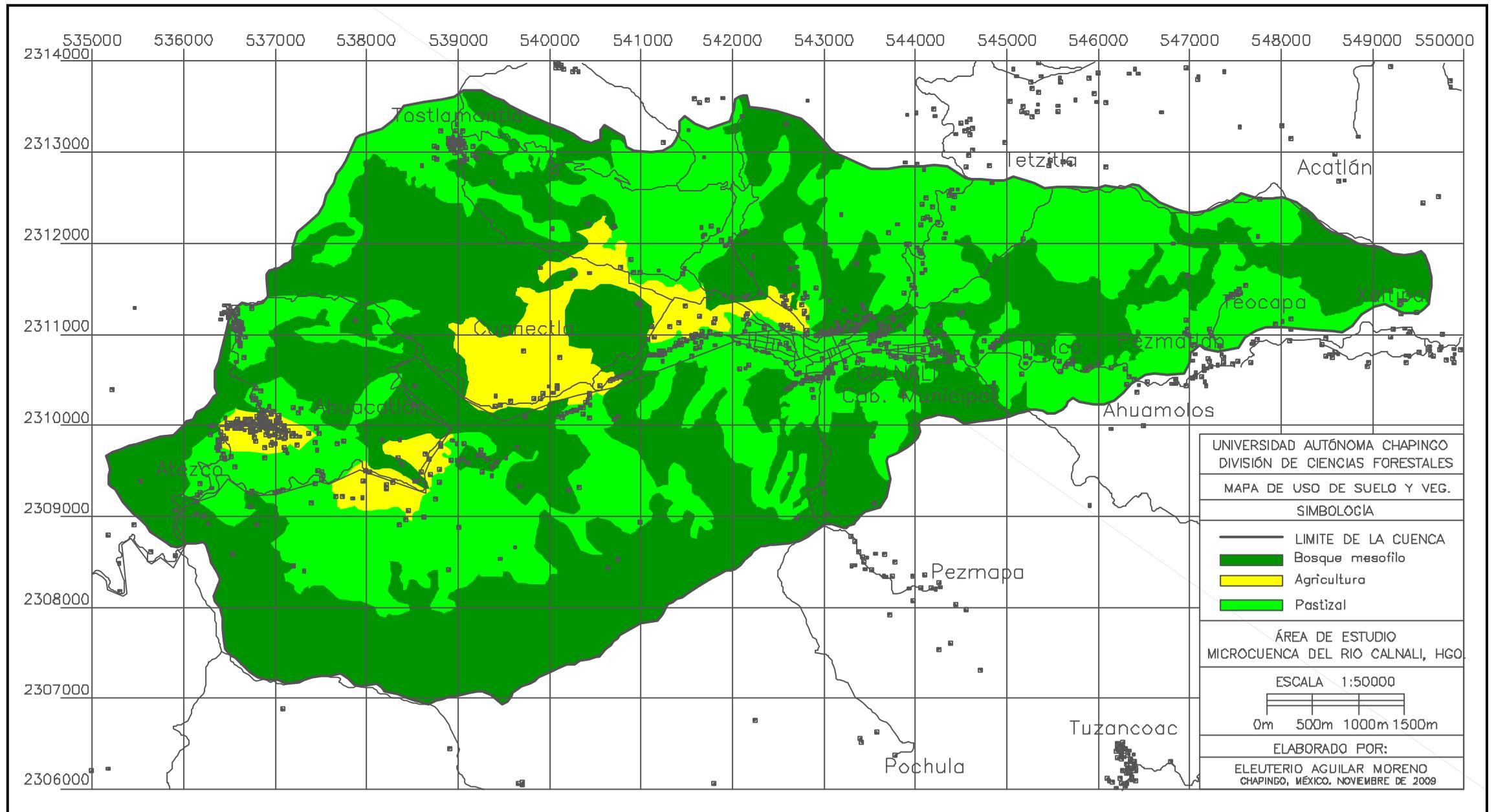


Fig. 7. Mapa de uso de suelo y vegetación.

### 7.1.9. Geología

Los tipos de rocas presentes en la zona, hacen referencia a varias etapas geológicas. La identificación se llevó a cabo mediante el análisis de la carta Geológico-mineral F14D52 correspondiente al Municipio de Calnali, Hidalgo, del año 2005. Se ha considerado que el suelo determina en gran parte el tipo de vegetación presente en la zona, de igual manera en el caso de la geología, ya que el tipo de suelo a la vez está determinado por el tipo de roca de la cual se ha derivado.

El Cuadro 19 muestra las proporciones que en las cuales se encuentran las unidades geológicas y la Fig. 8 muestra su distribución dentro de la microcuenca.

**Cuadro 19. Unidades geológicas presentes en la microcuenca**

Geología		
Tipos de roca	Área	(%)
<b>Basalto-Andesita</b>	969.47	18.9
<b>Lutita-Arenisca</b>	2355.63	45.9
<b>Aluvión</b>	160.20	3.1
<b>Caliza-Lutita</b>	838.16	16.3
<b>Caliza-Marga</b>	337.75	6.6
<b>Arenisca-Lutita</b>	138.71	2.7
<b>Lutita-Marga</b>	126.52	2.5
<b>Piroclástico</b>	84.53	1.6
<b>Caliza</b>	119.50	2.3
<b>Total</b>	5130.48	100

La geología de la microcuenca representa un punto importante a razón de que, con base a ésta se pueden tener una visión objetiva del nivel de intemperización que sufre la zona, además de que proporciona información sobre los eventos meteorológicos que han sucedido en la región.

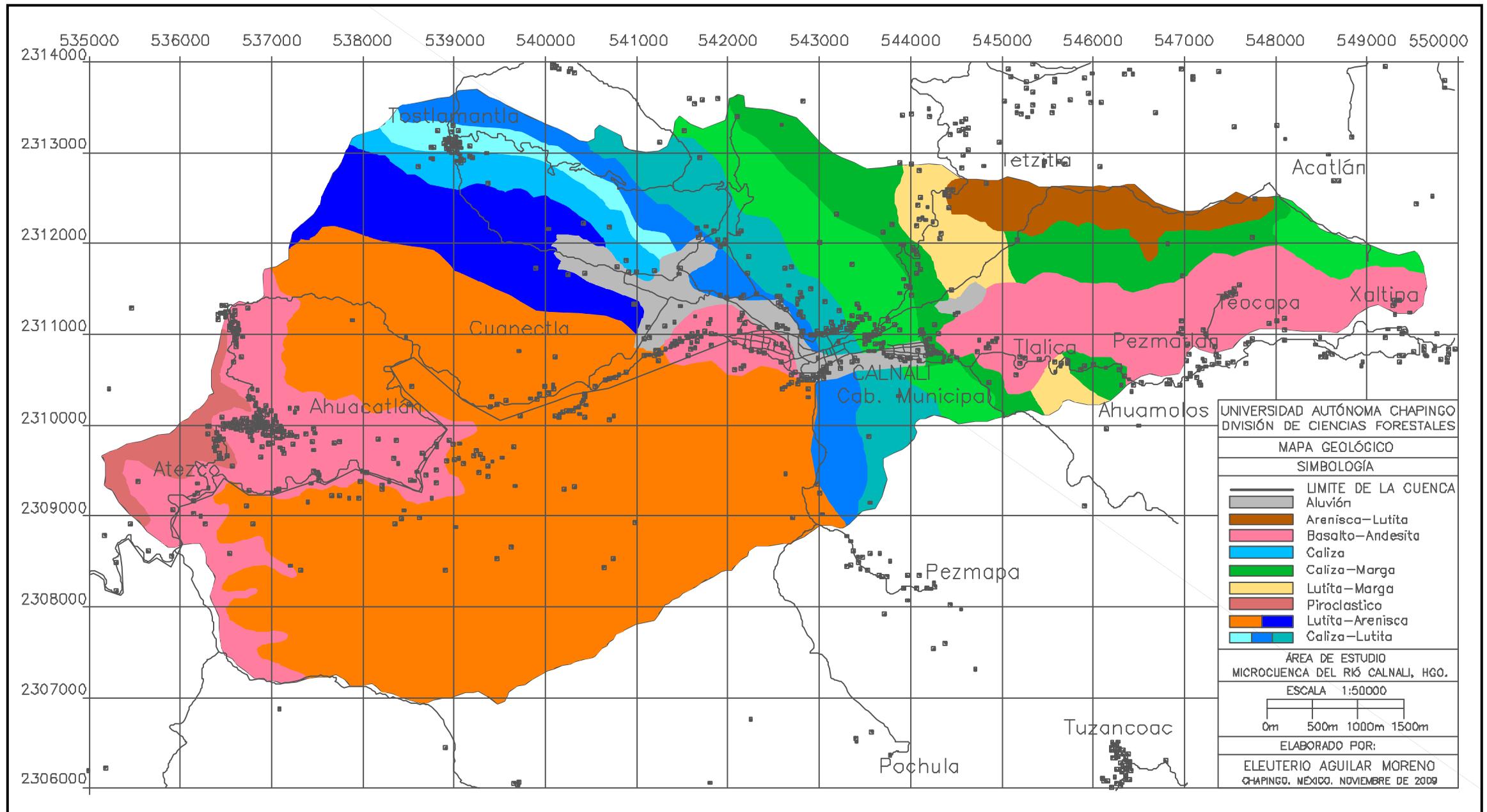


Fig. 8. Unidades geológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali.

### 7.1.10. Edafología y Textura

Generalmente se relaciona al tipo de suelo y la vegetación, ya que su interacción determina en gran parte las condiciones en las cuales se encuentra el suelo, además de su textura y otras características como la presencia de materia orgánica.

En el presente trabajo, la textura y el tipo de suelo por rodal se obtuvieron mediante el uso de la Carta Edafológica F14D52, escala 1: 50,000, correspondiente al Municipio de Calnali, Hgo., publicada por el INEGI. De la misma forma se utilizó la información publicada por la misma instancia a acerca del tema. Los datos sobre clase de suelo, se observan en el Cuadro 20.

En la Fig. 9 se observa la distribución de las unidades edafológicas presentes en la microcuenca.

**Cuadro 20. Unidades Edafológicas presentes en la microcuenca y su porcentaje.**

Tipos de suelo	Edafología	
	Área	%
<b>Ulfisol</b>	21250725.1	41.4
<b>Entisol</b>	18693889.9	36.4
<b>Alfisol</b>	11360224.3	22.1
<b>Total m<sup>2</sup></b>	51304839.3	100
<b>Total ha</b>	5130.5	100

La textura de los suelos presentes en la microcuenca determina el nivel de impacto de la erosión que se pueda presentar en la zona. Para el caso de Ultisoles, Entisoles y Alfisoles, sus texturas son franco - limosa para los dos primeros y Franco- arcillo- arenoso para el último. En cuestión de la profundidad, esta es muy variada por lo que no se obtuvo un dato preciso de este parámetro.

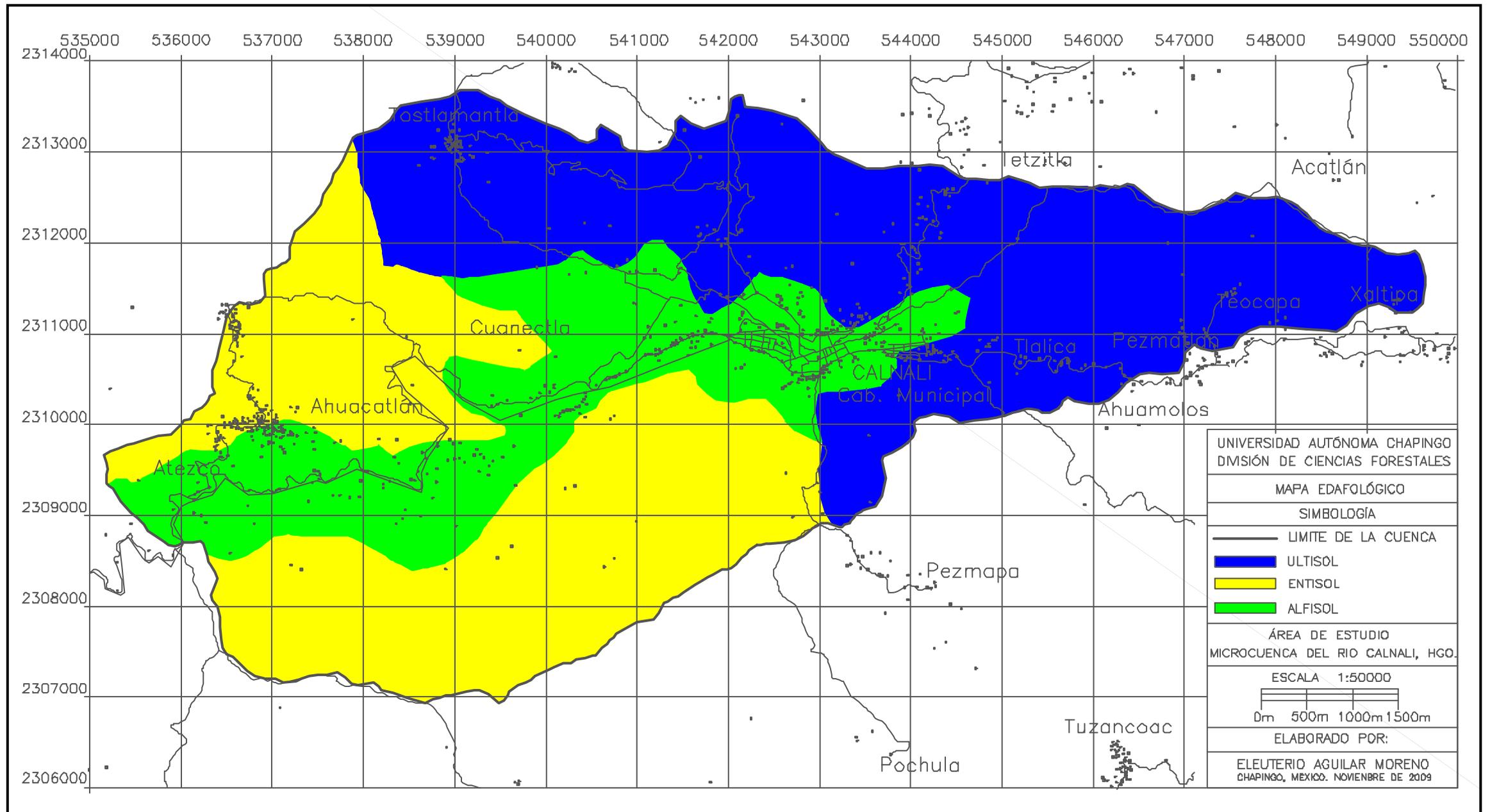


Fig. 9. Unidades edafológicas presentes en la microcuenca del Río Calnali.

### 7.1.11. Riesgo de erosión

Considerando las características predominantes de la microcuenca, es posible estimar la pérdida de suelo que sufre el lugar, esto con base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), la cual considera parámetros dimensionales, como la erosividad del suelo y adimensionales, como la susceptibilidad de erosión del suelo. La fórmula general de pérdida de suelo se expresa de la siguiente manera (Becerra, 1999):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Dónde:

R = Erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha/hr)

K = Susceptibilidad de erosión del suelo

L = Largo de la pendiente (m)

S = Magnitud de la pendiente (%)

C = Cubierta y manejo de cultivos

P = prácticas de conservación

A = Pérdida de suelos promedio por año (Ton/Ha/Año).

Para el cálculo del factor de erosividad (R), es necesario conocer los registros pluviométricos de la zona. Dado que no se cuenta con datos pluviográficos, se utilizó la fórmula generada por Cortes (1991), correspondiente a la “región de erosividad” IX, expresada de la siguiente manera:

$$Y = 7.0458X - 0.002096X^2$$

Dónde:

Y = Índice anual de erosividad de la lluvia, en MJ mm/ha/h

X = Precipitación media anual, en mm.

El cálculo de LS se determinó por la fórmula:

$$LS = (x / 22.13)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Dónde:

$x$  = Longitud de la pendiente, en m

$m$  = Exponente que depende del grado de pendiente

$s$  = Pendiente del terreno, en %

El valor  $m$  como ya se mencionó, está determinado por las características de pendiente que se cuentan en la zona, la cual para nuestro caso es de 0.5, ya que las condiciones topográficas corresponden a pendientes mayores al 5%, como lo establece la fórmula.

No obstante las ventajas de lo anterior, no debe olvidarse que esta forma de estimar  $R$  carece de precisión puntual, máxime considerando la enorme variabilidad topográfica de gran parte del país.

Con valores de  $R$ ,  $K$  y  $LS$  se estima la erosión potencial (EP) correspondiente a cada suelo del dominio edáfico. Al multiplicar EP por las características de manejo y obras de conservación se obtiene la tasa de erosión actual (TEA).

El Cuadro 21 muestra los resultados de erosión potencial y erosión actual obtenida para los principales usos que se llevan a cabo en la zona.

#### **Cuadro 21. Valores de Erosión Potencial y Tasa de Erosión Actual por uso de suelo**

<b>Vegetación</b>	<b>R</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>LS</b>	<b>EP</b>	<b>TEA</b>
<b>Bosque mesófilo</b>	5660.21	0.05	685.71	23.41	0.003	1.0	27.39	7548.895	22.647
<b>Pastizales</b>	5686.64	0.05	797.50	24.14	0.008	1.0	29.05	7945.776	63.566
<b>Agricultura de temporal</b>	5725.34	0.03	638.75	21.33	0.110	0.6	21.97	3298.854	217.724

**Factor topográfico (LS), Erosión potencial (EP), Tasa de erosión actual en ton/ha/año (TEA).**

Los datos  $K$ ,  $C$  y  $P$  son valores adimensionales y se tomaron de tablas establecidas a base de estudios llevados a cabo por varios investigadores sobre el tema (Anexos 3 y 4). El Cuadro 22, muestra la erosión potencial por rodal, con base a las características edáficas, climáticas, topográficas, de manejo y conservación independientes.

**Cuadro 22. Erosión Potencial y Tasa de Erosión Actual por rodal**

Rodal	R (MJ mm/ha/h)	K	L	S	C	P	LS	EP	TEA Ton/ha/año
1	5552.82	0.05	1000	27.65	0.003	1.0	42.22	11,721.577	35.16
2	5820.46	0.05	1200	21.81	0.008	1.0	30.47	8,866.229	70.93
3	5820.46	0.026	380	22.59	0.008	1.0	18.23	2,758.300	22.07
4	5820.46	0.026	385	28.15	0.11	0.6	27.03	4,090.918	270.00
5	5820.46	0.026	460	28.75	0.11	0.6	30.69	4,644.347	306.53
6	5820.46	0.05	620	29.70	0.003	1.0	37.76	10,989.973	32.97
7	5820.46	0.05	700	26.86	0.008	1.0	33.53	9,757.095	78.06
8	5820.46	0.05	300	23.16	0.003	1.0	16.91	4,920.731	14.76
9	5820.46	0.05	380	33.09	0.008	1.0	35.93	10,457.027	83.66
10	5707.60	0.026	850	22.19	0.11	0.6	26.43	3,921.710	258.83
11	5769.27	0.05	800	14.74	0.003	1.0	12.87	3,711.149	11.13
12	5552.82	0.026	680	12.77	0.003	1.0	9.42	1,359.639	4.08
13	5552.82	0.026	860	6.24	0.11	0.6	3.73	538.441	35.54
14	5552.82	0.05	1150	27.28	0.008	1.0	44.20	12,271.251	98.17
15	5552.82	0.05	690	25.33	0.003	1.0	30.01	8,332.212	25.00
16	5552.82	0.05	1170	22.35	0.008	1.0	31.40	8,716.930	69.74
17	5552.82	0.05	680	19.70	0.008	1.0	19.25	5,344.408	42.76
18	5552.82	0.05	710	30.55	0.003	1.0	42.53	11,806.986	35.42
19	5552.82	0.05	720	19.48	0.008	1.0	19.43	5,394.967	43.16

Los valores más altos de EP y TEA están representados por los usos del suelo correspondientes a áreas dedicadas a la agricultura, seguidas por los pastizales y por último los bosques mesófilos, lo cual indica la importancia de la vegetación dentro del control de sedimentos. El Cuadro 23 muestra la clasificación del grado de erosión presente en la zona y la Fig. 10 muestra la localización de las áreas de acuerdo al riesgo de erosión de cada una.

**Cuadro 23. Clasificación del riesgo de erosión**

Nivel de erosión	Valores (Ton/ha/año)
Leve	< 30
Moderada	30 - 50
Fuerte	50 - 150
Muy fuerte	> 150

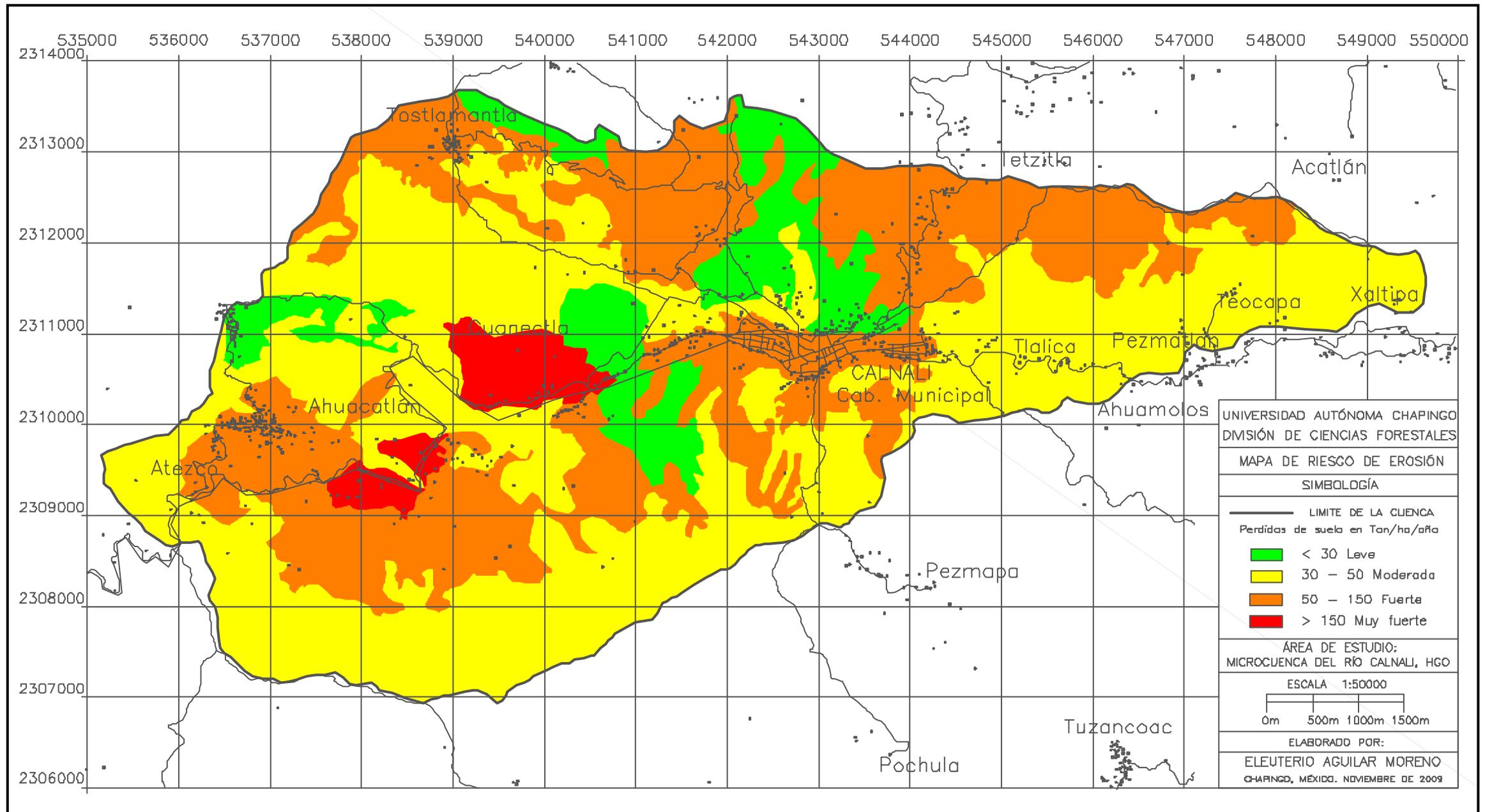


Fig. 10. Mapa de Riesgo de erosión

## 7.2. Balance hídrico

El balance hídrico de la microcuenca representa una parte primordial para la valoración de los recursos hidrográficos que se generan en el lugar. Cada uno de sus parámetros representa entradas o salidas que deben ser cuantificadas por separado para poder obtener la cantidad de agua que puede ser utilizada. El inicio del balance, es la parte del cálculo de las entradas totales, seguidas por la distribución de los diferentes procesos que intervienen en él que son: la intercepción, evapotranspiración (valor aproximado), el escurrimiento, la recarga de acuíferos y el recurso hídrico que es extraído del subsuelo para su uso.

Los valores que se presentan a continuación han sido adaptados a las condiciones de la microcuenca, como ya se han mencionado en apartados anteriores, lo cuales, nos proporcionan datos muy aproximados a los que se dan en campo en relación a este proceso. Con los datos obtenidos, se puede establecer estrategias de planeación, manejo y conservación tanto de los recursos naturales como de los recursos hídricos.

### 7.2.1. Volumen de agua captada en la cuenca

Las entradas de agua de la zona, se calcularon considerando que en la microcuenca se manifiestan dos climas similares, los cuales hacen variar ciertas condiciones como la precipitación, por lo que se optó por establecer una media que es de 2,000 mm anuales. La precipitación total se puede observar en el Cuadro 24.

**Cuadro 24. Volumen de agua captada en la microcuenca del Rio Calnali.**

Área de la microcuenca (ha)	Precipitación media anual (mm)	Volumen de agua captada (m <sup>3</sup> )
5130.4839	2,000	102,609,678.5

El volumen total de agua precipitada sobre la microcuenca es de **102,609,768.5 m<sup>3</sup>**. El dato anterior es la base para poder iniciar el cálculo de los diferentes elementos del balance hídrico.

## 7.2.2. Intercepción de la precipitación

La intercepción de la microcuenca se consideró con base a los diferentes rodales, la vegetación, la densidad y el coeficiente de intercepción; es decir, la cantidad de agua que cada rodal puede captar en su cobertura vegetal. De la misma forma, la precipitación es un promedio de la ocurrencia de los dos climas presentes en el lugar, ya que los datos tomados de la estación meteorológica de Tlanchinol y los publicados por el INEGI tiene una pequeña variación cuanto al total de la precipitación. Los resultados de la intercepción por rodal, se observan en el Cuadro 25.

**Cuadro 25. Determinación de la intercepción por rodal.**

<b>Determinación de la intercepción por rodal</b>						
<b>Rodal</b>	<b>Precipitación media anual (m): 2</b>			<b>1 ha en m<sup>2</sup>: 10000</b>		
	<b>Área (ha)</b>	<b>Agua precipitada en el rodal (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cobertura (%)</b>	<b>Agua captada por la cobertura</b>	<b>Coficiente de intercepción</b>	<b>Intercepción (m<sup>3</sup>)</b>
1	1034.09	20,681,776.0	80.0	16,545,420.8	0.5	8,272,710.4
2	634.57	12,691,355.6	30.0	3,807,406.7	0.1	380,740.7
3	81.03	1,620,643.6	30.0	486,193.1	0.1	48,619.3
4	38.39	767,822.4	20.0	153,564.5	0.1	7,678.2
5	23.19	463,832.4	20.0	92,766.5	0.1	4,638.3
6	737.66	14,753,161.6	80.0	11,802,529.3	0.5	5,901,264.6
7	152.27	3,045,339.3	20.0	609,067.9	0.1	60,906.8
8	40.57	811,433.0	80.0	649,146.4	0.5	324,573.2
9	17.91	358,299.3	30.0	107,489.8	0.1	10,749.0
10	119.28	2,385,540.4	15.0	357,831.1	0.1	17,891.6
11	93.46	1,869,250.5	80.0	1,495,400.4	0.5	747,700.2
12	71.99	1,439,871.4	80.0	1,151,897.1	0.5	575,948.5
13	131.94	2,638,783.9	15.0	395,817.6	0.1	19,790.9
14	254.18	5,083,529.5	25.0	1,270,882.4	0.1	127,088.2
15	222.31	4,446,259.7	80.0	3,557,007.8	0.5	1,778,503.9
16	782.10	15,641,973.1	50.0	7,820,986.6	0.1	782,098.7
17	19.89	397,793.4	30.0	119,338.0	0.1	11,933.8
18	412.25	8,244,916.7	80.0	6,595,933.4	0.5	3,297,966.7
19	263.40	5,268,096.6	30.0	1,580,429.0	0.1	158,042.9
<b>Total</b>		<b>102,609,678.5</b>		<b>58,599,108.18</b>		<b>22,528,845.9</b>

La intercepción total de la microcuenca es de **22,528,845.2 m<sup>3</sup>** lo que representa un 21.9 % del total de agua captada en la zona.

### 7.2.3. Esgurrimiento medio

Dentro de éste cálculo se consideraron variables como el Coeficiente de esgurrimiento (C), la precipitación presente en la microcuenca expresada en mm y el área de cada rodal. El coeficiente (C) se obtuvo con base a las características edafológicas de los rodales y la pendiente de éstos. En el Cuadro 26 se observan los resultados del coeficiente por rodal y el esgurrimiento que se presenta en cada uno de ellos.

**Cuadro 26. Esgurrimiento superficial medio por rodal.**

<b>Determinación del esgurrimiento por rodal</b>					
<b>Precipitación media anual (m): 2</b>			<b>1 ha en m<sup>2</sup>: 10000</b>		
<b>Rodal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Textura</b>	<b>C. E</b>	<b>Esgurrimiento por rodal</b>
1	1034.09	27.7	Gruesa	0.30	6,204,532.81
2	634.57	21.8	Gruesa	0.22	2,792,098.23
3	81.03	22.6	Gruesa	0.22	356,541.60
4	38.39	28.1	Gruesa	0.52	399,267.66
5	23.19	28.8	Gruesa	0.52	241,192.87
6	737.66	29.7	Gruesa	0.30	4,425,948.48
7	152.27	26.9	Media	0.42	1,279,042.50
8	40.57	23.2	Media	0.50	405,716.52
9	17.91	33.1	Media	0.42	150,485.69
10	119.28	22.2	Gruesa	0.52	1,240,480.98
11	93.46	14.7	Gruesa	0.30	560,775.16
12	71.99	12.8	Gruesa	0.30	431,961.41
13	131.94	6.2	Gruesa	0.40	1,055,513.54
14	254.18	27.3	Media	0.42	2,135,082.39
15	222.31	25.3	Media	0.50	2,223,129.86
16	782.10	22.4	Media	0.42	6,569,628.72
17	19.89	19.7	Media	0.42	167,073.24
18	412.25	30.6	Media	0.50	4,122,458.37
19	263.40	19.5	Media	0.42	2,212,600.58
<b>Total</b>					<b>36,973,530.60</b>

El escurrimiento que se genera en la microcuenca es de **36,973,530.07 m<sup>3</sup>**, lo que representa el 36.03 % del total de la precipitación, lo que sugiere una gran cantidad de salidas.

#### 7.2.4. Evapotranspiración

En el presente trabajo se consideró un 17.5% de evapotranspiración, esto ya que la cobertura presente, el tipo de suelo y las condiciones climatológicas propician que éste fenómeno se dé en menor cantidad en comparación con otros tipos de bosques. El Cuadro 27 muestra la evapotranspiración ocurrente en cada rodal de la microcuenca.

**Cuadro 27. Evapotranspiración por rodal.**

<b>Evapotranspiración por rodal</b>				
<b>Precipitación media anual (m): 2</b>			<b>1 ha en m<sup>2</sup>: 10000</b>	
<b>Rodal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Agua precipitada en el rodal (m)</b>	<b>Evapotranspiración (%)</b>	<b>Agua evapotranspirada</b>
1	1034.09	20,681,776.0	17.5	3,619,310.8
2	634.57	12,691,355.6	17.5	2,220,987.2
3	81.03	1,620,643.6	17.5	283,612.6
4	38.39	767,822.4	17.5	134,368.9
5	23.19	463,832.4	17.5	81,170.7
6	737.66	14,753,161.6	17.5	2,581,803.3
7	152.27	3,045,339.3	17.5	532,934.4
8	40.57	811,433.0	17.5	142,000.8
9	17.91	358,299.3	17.5	62,702.4
10	119.28	2,385,540.4	17.5	417,469.6
11	93.46	1,869,250.5	17.5	327,118.8
12	71.99	1,439,871.4	17.5	251,977.5
13	131.94	2,638,783.9	17.5	461,787.2
14	254.18	5,083,529.5	17.5	889,617.7
15	222.31	4,446,259.7	17.5	778,095.4
16	782.10	15,641,973.1	17.5	2,737,345.3
17	19.89	397,793.4	17.5	69,613.8
18	412.25	8,244,916.7	17.5	1,442,860.4
19	263.40	5,268,096.6	17.5	921,916.9
<b>Total</b>		<b>102609678.5</b>		<b>17956693.74</b>

En total, se evapotranspiran **17,956,693.74** m<sup>3</sup> de agua del total captado, lo que representa un 17.5% que es el propuesto para las condiciones de bosque mesófilo, ya que tanto su cobertura vegetal como las condiciones climatológicas interviene en éste valor.

### **7.2.5. Infiltración**

La infiltración junto con la recarga de acuíferos representan la parte más importante del balance hídrico dentro de la valoración de los recursos hidrográficos, ya que es ésta parte de la precipitación es utilizada dentro de las diferentes actividades productivas, tanto económicas como de uso doméstico. Los datos utilizados en su cálculo, se obtuvieron de la estación meteorológica de Tlanchinol, que es la más cercana a la microcuenca. Los datos reportados en ella tienen una variación considerable en cuanto a lo reportado por el INEGI en cuestión de los días con precipitación en la zona.

La estación reporta 6 meses de lluvia, que van de Mayo a Noviembre, en los cuales se consideró que la precipitación permite que se dé el proceso de infiltración; sin embargo, no todos los días había precipitación suficiente para poder llevarse éste proceso, por lo que se tomaron solo 100 días.

La duración de la lluvia es una variable importante dentro de este proceso y se consideró con base al tiempo que se requiere para rebasar el umbral, en el cual se satura la parte superficial del suelo e inicia la infiltración, además se consideró la cobertura vegetal. Con base a todo lo anterior, se considera que la infiltración solo se da durante 6 horas.

A continuación se muestra la secuencia adoptada para el cálculo de la infiltración para el caso del bosque mesófilo:

#### **Bosque mesófilo:**

$$Q = A_v * V$$

Dónde:

$Q$  = Gasto o volumen infiltrado ( $\text{m}^3/\text{hr}/\text{ha}$ )

$A_v$  = área de espacios porosos en  $\text{m}^2$

$V$  = Velocidad de descarga

Datos:

$k$  = 6.5 mm/hr (Valor obtenido de tabla de anexo 1)

$i$  = 0.28

$e$  = 0.486 (Valor obtenido de tabla de anexo 1)

$A$  = 10,000  $\text{m}^2$

Velocidad de descarga:  $V = k * i$

$$V = (6.5 \text{ mm/hr}) (0.28) \quad \mathbf{V = 1.8 \text{ mm/hr}}$$

Velocidad de infiltración:  $v_i = \frac{1 + e}{e} * V$

$$v_i = \frac{1 + 0.486}{0.486} * 1.8 \text{ mm/hr} \quad \mathbf{v_i = 5.5 \text{ mm/hr}}$$

Área de espacios porosos:  $A_v = \frac{A * V}{v_i}$

$$A_v = \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.0018 \text{ m/hr}}{0.0055 \text{ m/hr}}$$

$$A_v = \mathbf{3270.525 \text{ m}^2}$$

Finalmente se obtiene el volumen infiltrado o gasto para una hectárea. Este mismo dato posteriormente se multiplica por el área de cada rodal y su respectiva área de espacios porosos. Entonces tenemos:

Gasto o volumen infiltrado:  $Q = A_v * V$

$$Q = 3270.525 \text{ m}^2 * 0.0018 \text{ m/hr}$$

$$\mathbf{Q = 21.26 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{ha}}$$

El Cuadro 28 muestra la infiltración que se da en cada rodal, considerando sus características edafológicas como la conductividad hidráulica, la precipitación, el gradiente hidráulico, entre otras.

**Cuadro 28. Infiltración media por rodal.**

<b>Calculo de la infiltración por rodal</b>									
Rodal	<b>Precipitación media anual (m): 2</b>						<b>1 ha en m<sup>2</sup>: 10000</b>		
	Área (ha)	Gradiente i	k (mm/hr)	V (mm/hr)	e	v <sub>i</sub> (mm/hr)	Av (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /hr/ha)	Infiltración/rodal
1	1034.09	0.28	6.5	1.80	0.486	5.5	3270.525	21.26	4313773.734
2	634.57	0.22	6.5	1.42	0.486	4.3	3270.525	21.26	2647143.858
3	81.03	0.23	6.5	1.47	0.486	4.5	3270.525	21.26	338031.4108
4	38.39	0.28	1.5	0.42	0.33	1.7	2481.203	3.72	21271.48962
5	23.19	0.29	1.5	0.43	0.33	1.7	2481.203	3.72	12849.85503
6	737.66	0.30	6.5	1.93	0.486	5.9	3270.525	21.26	3077192.253
7	152.27	0.27	1.5	0.40	0.486	1.2	3270.525	4.91	146582.8352
8	40.57	0.23	6.5	1.51	0.486	4.6	3270.525	21.26	169247.4826
9	17.91	0.33	6.5	2.15	0.486	6.6	3270.525	21.26	74733.5206
10	119.28	0.22	1.5	0.33	0.33	1.3	2481.203	3.72	66088.19322
11	93.46	0.15	6.5	0.96	0.486	2.9	3270.525	21.26	389885.4632
12	71.99	0.13	1.5	0.19	0.33	0.8	2481.203	3.72	39889.70336
13	131.94	0.06	1.5	0.09	0.33	0.4	2481.203	3.72	73103.96437
14	254.18	0.27	6.5	1.77	0.486	5.4	3270.525	21.26	1060314.936
15	222.31	0.25	6.5	1.65	0.486	5.0	3270.525	21.26	927394.1626
16	782.10	0.22	6.5	1.45	0.486	4.4	3270.525	21.26	3262579.23
17	19.89	0.20	6.5	1.28	0.486	3.9	3270.525	21.26	82971.15391
18	412.25	0.31	6.5	1.99	0.486	6.1	3270.525	21.26	1719712.332
19	263.40	0.19	6.5	1.27	0.486	3.9	3270.525	21.26	1098811.667
<b>Total</b>									<b>19,521,577.244</b>

La infiltración total que se da en la zona es de **19,521,577.24 m<sup>3</sup>**, lo que representa el 19.02% del total captado por la microcuenca. Esto hace referencia a un gran potencial en cuanto al agua disponible en el subsuelo y como insumo ecológico. Parte de ésta agua será la que se percole y llegue a los mantos acuíferos, por lo que este porcentaje no representa solo la parte de infiltración, sino también parte de la recarga de acuíferos.

### 7.2.6. Recarga de acuíferos y agua subterránea extraída

La recarga de acuíferos es el proceso posterior a la infiltración y en este trabajo se ha considerado como la diferencia de las entradas totales a la microcuenca menos los otros eventos del balance hídrico (Intercepción, Escurrimiento, Evapotranspiración e Infiltración), además del agua que es utilizada directamente en las comunidades y que es extraída de manantiales y una parte aprovechada directamente del río.

El principal uso que se le da al agua en las comunidades que se localizan dentro de la microcuenca es la de uso doméstico, ya que la industria es escasa y por ende su utilización en este sentido no figura mucho. Por otro lado en el caso del agua extraída del río, se tiene el registro de 28 permisos otorgados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que se localizan dentro de la microcuenca y de los cuales se extraen solo 29,929 m<sup>3</sup> anualmente (Anexo 2).

En lo que respecta al agua potable, el 79 % de la población cuenta con el servicio. Según datos de la SEMARNAT, en regiones como la del Golfo Norte, dentro de la cual se localiza la microcuenca en estudio y haciendo referencia al estado de Hidalgo se suministran alrededor de 150 litros diarios por habitante. Con base al censo nacional de población llevado a cabo por el INEGI en 2005, en el Municipio cuenta con **15,815** pobladores. Con los datos anteriores, se estimó la cantidad de agua que es utilizada durante todo un año. En el Cuadro 29 se muestra los resultados.

**Cuadro 29. Volumen de agua potable suministrada en la microcuenca del Río Calnali.**

Estimación del agua entubada en la microcuenca del Río Calnali				
Población	% de servicio	Litros /habitante/día	No. días	Agua de uso potable (m <sup>3</sup> )
15815	79	150	365	684,038.29

A la cifra anterior, se le sumó la cantidad utilizada directamente del río, por lo que en total se puede considerar la cifra de **713,967.69** m<sup>3</sup> de agua utilizada durante todo el año en la

microcuenca. El Cuadro 30 muestra el porcentaje de agua correspondiente a la recarga de mantos acuíferos y lo utilizado anualmente para uso doméstico.

**Cuadro 30. Recarga de mantos acuíferos y agua entubada extraída de manantiales.**

Agua captada por la microcuenca (m <sup>3</sup> )	Porcentaje ( <i>Int, Ev, Esc, Inf</i> )	Agua entubada (%)	Recarga de acuíferos (%)
102,609,678.5	94.52	0.69	4.79

La recarga de mantos acuíferos es de **4,915,063.33 m<sup>3</sup>** lo que representa solo el **4.79 %** del total captado en la microcuenca, y el agua que es consumida anualmente por los pobladores es de solo un **0.69 %**. En el Cuadro 31 se observan los resultados del balance hídrico de la microcuenca del Rio Calnali, Hgo.

**Cuadro 31. Balance hidrico de la cuenca del Rio Calnali, Hgo.**

Componente	Porcentaje (%)	Volumen m <sup>3</sup>
Precipitación	100	102,609,678.52
Intercepción	21.96	22,528,845.92
Escurrimiento	36.03	36,973,530.60
Evapotranspiración	17.50	17,956,693.74
Infiltración	19.03	19,521,577.24
Recarga subterránea	4.79	4,915,063.33
Agua entubada	0.69	713,967.69
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>102,609,678.52</b>

Dentro de los valores del balance hídrico mostrados anteriormente, es necesario mencionar que la infiltración y la recarga de mantos acuíferos están íntimamente relacionados, ya que toda el agua que llega a los mantos acuíferos es agua infiltrada. Tanto el agua de los mantos acuíferos como la que se extra de manantiales para su uso, se consideran en un mismo valor o una misma cantidad ya que como se mencionó antes, una se deriva de la otra.

En cuestión de la evapotranspiración, el valor puede ser tanto mayor como menor. Sin embargo, para considerar esto, es necesario contar con datos precisos para su cálculo, en condiciones particulares de cada tipo de vegetación, considerando además la radiación

solar, la temperatura, la cobertura, la clase de suelo, etc., lo cual llevaría un tipo considerable si es que se quieren obtener datos precisos, además de que resultaría costoso. En la Fig. 11, se observa la distribución porcentual de los componentes del balance hídrico, dentro del cual resalta lo correspondiente al escurrimiento.

En relación a los usos del agua, no se tienen datos de éste dentro de la agricultura; es decir, esta es totalmente de temporal. De la misma forma en cuestión a la ganadería, su uso es mínimo.

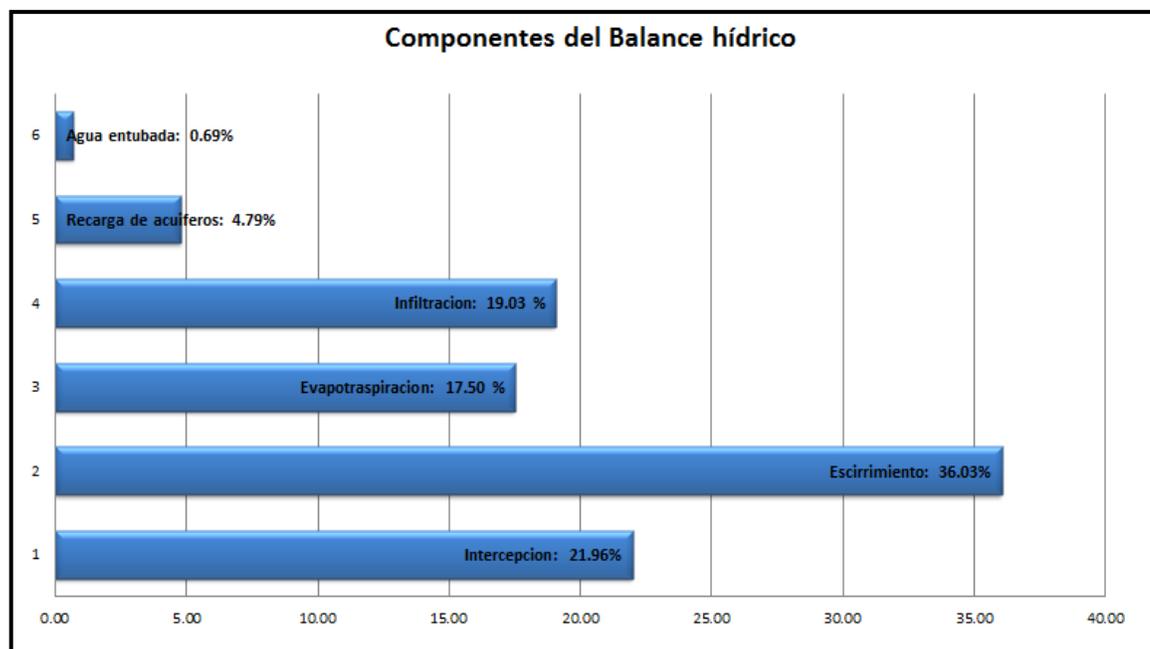


Fig. 11. Componentes del Balance hídrico en la microcuenca del Río Calnali.

### 7.3. Valoración económica de servicios hidrográficos

La valoración económica del recurso agua en la zona se basó en el promedio de los costos por concepto del Valor de captación hídrica del bosque ( $V_c$ ), el Valor de protección de la microcuenca ( $V_p$ ), y el valor del agua como insumo ( $V_i$ ). El promedio de éstos, nos da una visión más objetiva del costo que puede tener el recurso hídrico y el valor que representa el mantener las áreas boscosas en las condiciones idóneas.

### 7.3.1. Oferta del recurso hídrico

La oferta hídrica representa el volumen de agua que puede ser utilizada dentro de las actividades productivas de la zona, llámese industria, comercio, agricultura o simplemente para uso doméstico, considerando que el aprovechamiento se puede dar sin mermar la cantidad de agua que se encuentra en los acuíferos y sin exponer la disponibilidad en el futuro. La cantidad de agua disponible en la zona, se basó en los electos del balance hídrico, por lo que se tiene lo siguiente:

$$O = P - (Int + Ev + E + As)$$

Con base a lo anterior, tenemos los siguientes porcentajes:

$$\begin{aligned} \text{Oferta hídrica} &= 100 - (21.96 + 36.03 + 17.50 + 5.70) \\ &= 18.80 \% \\ &= \mathbf{19,294,135.088723 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

El porcentaje asignado como agua suspendida se estableció con base a las características generales de los suelos presentes en el lugar y al proceso de infiltración. Los suelos presentan una mayor higroscopicidad a medida que sus partículas son más finas, ya que presenta una mayor área de superficie. Se menciona que los tipos de suelos presentes en la zona pueden captar y mantener en ellos, sin permitir la recarga de acuíferos entre un 25 y 30 % del total infiltrado.

Del total calculado como agua disponible, no toda ésta puede estar a disposición de la gente, el porcentaje es menor ya que parte de esta agua todavía puede ser utilizada por la vegetación arbórea, que es la que presenta mayor potencial para absorber y retener agua. Con base a lo anterior, solo un **15%** del agua está disponible para su uso.

### 7.3.2. Demanda del recurso hídrico

La demanda de agua en la microcuenca, se basa en las cantidades del recurso que se utilizan en la industria y comercio, en la producción agrícola y en el uso doméstico. Dado que no se tiene datos de las cantidades utilizadas en la industria y la agricultura se les ha asignado un valor de 0.001 % del porcentaje total captado por la microcuenca y se ha considerado junto con el agua de uso doméstico.

Dado que ya se tiene una aproximación de lo que debe ser la demanda de agua; esto es, ya que el recurso hídrico entubado es solo la demanda que generan el 79 % de la población que cuenta con el servicio de agua potable; es decir, considerando el 100% de la población se determinó la demanda hídrica. Sin embargo, este volumen solo será el que se demanda en el momento, sin considerar el volumen que se demandará en años siguientes. La demanda del recurso hídrico se muestra en el Cuadro 32.

**Cuadro 32. Demanda hídrica del Municipio de Calnali, Hidalgo**

Demanda de agua en la microcuenca				
Población	Lts/habitante	No. Días	Vol. Utilizado del río (m <sup>3</sup> )	Volumen demandado (m <sup>3</sup> )
15,815.00	150.00	365.00	29,929.40	895,800.65

Considerando la oferta hídrica que se tiene en la microcuenca, la demanda está por debajo de ésta. Sin embargo ahora es necesario cuantificar la demanda que se tendrá en los próximos años y se debe tomar en cuenta que, la cantidad de agua que se debe suministrar diariamente por persona es la misma que se ha utilizado en los parámetros calculados anteriormente.

Para la estimación de la demanda futura, se consideró el crecimiento demográfica del Municipio, con base a los datos de los censos de 1980 al 2005, la tasa de crecimiento estimada para Calnali es solo de un 0.2 % anual. Considerando esto, se estima que la

demanda de agua para el 2025 sea de **966,099.65 m<sup>3</sup>** de agua, lo que representa un aumento de solo **70,299.0 m<sup>3</sup>**.

De lo anterior podemos decir que, aunque el agua no es problema dentro de la microcuenca y aunque no lo representara dentro de varios años, la falta de infraestructura para llevarla a todos sus pobladores será la limitante para cubrir con este servicio a todo el Municipio.

#### **7.3.4. Valor de captación hídrica del bosque**

El valor del bosque por concepto de la producción hídrica se basa en el supuesto de que, el valor aproximado de éste servicio es de al menos el 50 % del valor de la actividad económica más redituable llevada a cabo en esta misma área; es decir, con base al costo de oportunidad. Dado que en la zona las actividades forestales es la que genera mayor ingreso ésta es la que se han considerado para calcular el valor de captación hídrica del bosque.

Las especies forestales que se extraen principalmente son del genero *Pinus sp* y *Quercus sp*, los cuales se comercializan como madera aserrada, resina y leña. Según datos del estado de Hidalgo, los precios de estos géneros por m<sup>3</sup> son de \$1,000.00 y \$750.00 respectivamente.

Con base a lo anterior y considerando que el aprovechamiento de éstos productos debe ser sustentable, el ingreso por hectárea solo deberá contar con el volumen correspondiente a los incrementos maderables que presentan los géneros en esta región, el cual es de 3 m<sup>3</sup>/ha/año para pino y dado que no se cuenta con el incremento del encino dentro de la zona, se ha considerado un volumen de extracción anual aproximado por hectárea.

A partir de la información anterior, el ingreso por hectárea del aprovechamiento del genero *Pinus* es de \$3,000.00 y del Encino es de \$1,500.00, lo que en promedio se tiene un ingreso \$2,250.00 por ha/año. Esto representa el costo de la alternativa económica más rentable dentro de la zona y es el monto que los propietarios de los recursos forestales dejarían de percibir en el caso de hacer el cambio de uso del suelo.

Dado que la actividad forestal es la práctica más redituable por la extracción de resina, madera aserrada y leña y al no contar con otra actividad en la cual los recursos forestales se dejen a un lado y se siga teniendo el mismo ingreso, es necesario valorar la permanencia de estos. El aprovechamiento forestal constante representa la disminución del área boscosa, lo que repercute directamente en la generación de servicios hidrológicos, además de que tiene un impacto dentro de la intercepción, escurrimiento e infiltración.

Al considerar la permanencia de las áreas boscosas, se asegura el flujo permanente del recurso hídrico, lo cual hace importante cuantificar económicamente el costo que representa esto. Como se mencionó antes, la producción de recursos hidrológicos representa el 50% del costo de oportunidad y el resto corresponde a otras funciones ambientales como captura de carbono, belleza escénica, etc., de esta manera, tenemos que el valor de captación del recurso hídrico en comparación con la actividad económica más rentable es el siguiente:

$$V_c = (\alpha_i) (\beta_i) (A_{bi})$$

$$V_c = (0.5) (2,250) (2,612.33)$$

Valor de captación = **2,938,871.25** año.

Con base a lo anterior el Valor de captación por hectárea es de **\$1,125.00** ha/año.

Sin embargo, este valor solo representa el costo de mantener los bosques por concepto de la generación de servicios hidrológicos; el resto como ya se mencionó, lo adquieren los servicios restantes que presentan estos ecosistemas, el cual es el siguiente.

$$\text{Valor de servicios ambientales de los bosques} = (0.5) (2,250) (2,612.33)$$

$$= \mathbf{\$1,125.00 \text{ ha/año}}$$

### 7.3.5. Valor de protección y restauración de la microcuenca

El valor de protección, representa el costo al cual ascenderían las actividades que se llevaran a cabo dentro de la microcuenca con el fin de recuperarla, protegerla y mantenerla en las condiciones idóneas para seguir percibiendo los beneficios hidrológicos. Algunas de estas labores son: reforestaciones (para ayudar la sucesión ecológica), construcción de terrazas (estabilización de suelo), construcción de zanjas, presas de gaviones (control de azolve), entre otras.

Es necesario que dentro del Valor de protección se incluyan los referentes a los gastos por concepto del pago de honorarios, administrativos, infraestructura y otros gastos como los incentivos para la protección de los ecosistemas boscosos. Considerando como base los apoyos otorgados por instituciones nacionales por concepto de reforestación, recuperación y restauración de suelos, se tiene que el costo aproximado para la protección de la microcuenca es:

$$V_p = \frac{\beta * C_{pc}}{A}$$

$$V_p = \frac{0.5 * \$6,105,275.722}{5130.4838 \text{ ha}}$$

$$V_p = \frac{\$3052637.861}{5130.4838 \text{ ha}}$$

$$V_p = \$595.00 \text{ ha/año}$$

### 7.3.6. Valor del agua como insumo de la producción

El uso más evidente del agua en la zona es en las labores domésticas, para lo cual se establece, según el decreto de tarifas para el ejercicio fiscal de 2008 del Municipio de Calnali, debe ser de al menos 150 litros por habitante por día para poder cubrir todas sus

necesidades. De la misma forma, se cuenta con una tarifa mensual la cual es de \$30.00 para el uso doméstico, \$50.00 para el caso de los comercios y para el uso industrial de \$100.00.

De los ingresos que se obtienen por el servicio de agua en el Municipio, el uso doméstico es el que aporta el mayor monto económico dado que el comercio no utiliza significativamente éste recurso y en lo que respecta a la industria, esta no se ha desarrollado en un nivel en el cual demande grandes cantidades de agua, por lo cual se ha asignado un costo medio mensual por el servicio de **\$40.00**.

De esta manera tenemos que el valor del agua como insumo en la producción es de **\$1,498,598.4** /año, si se considera que solo el 79 % de la población cuenta con el servicio. Por lo tanto, el valor del agua como insumo es de **\$292.12** ha/año.

### **7.3.7. Valor promedio del bosque por la producción hídrica.**

El valor del agua captada por el área boscosa de la microcuenca se obtuvo como el promedio de los valores de Captación, Protección y como Insumo. De esta manera se tiene lo siguiente:

$$V_{pa} = \frac{VC + VP + VI}{3} \qquad V_{pa} = \frac{\$1125.00 + \$595.00 + \$292.00}{3}$$

$$V_{pa} = \frac{\$1722.00}{3}$$

Valor promedio del agua = **\$670.67 ha/año**

Dado que en la microcuenca se tiene un área boscosa de **2612.3335 ha**, entonces el valor por concepto de la generación recursos hidrológicos de la microcuenca es de **\$1,752,002.653** anualmente.

#### **7.4. Estructura tarifaria**

La internalización de los gastos en los que se escurre por la captación y distribución de agua a los usuarios, debe representar una alternativa integral en la cual se comprendan aspectos relacionados al balance hídrico y sus componentes, a la vez que se toman en cuenta cuestiones de tipo económico, administrativo y social. Dado que hasta ahora los recursos hidrológicos de los cuales se han beneficiado sus usuarios han sido considerados como del uso común, es necesario reconciliar la idea de establecer una tarifa integral con el fin de hacer conciencia de los costos que se generan por cuestiones de la administración del recurso, la infraestructura de distribución y su valor como un componente dentro de un proceso de producción.

Para crear una tarifa ajustada a los factores ambientales, se requiere de un análisis de componentes de éste, como una valoración económico-ecológica del recurso, la propuesta de una estructura tarifaria ajustada con base en factores ambientales y el estudio de la demanda y disponibilidad de pago de los consumidores.

El ajuste de la tarifa se debe hacer de igual manera con base a la utilización del servicio; es decir, debe diferenciar los usos que se le dan al recurso, ya que cada uno implica cuestiones diferentes en cuanto a la generación de productos o servicios en el caso del uso industrial y del comercio y en uso doméstico en el cual solo se cubren las necesidades de las personas. En el caso del uso agropecuario, este debe ser considerado en el caso de que se llegue a dar en niveles que demande una cantidad considerable de agua.

El desarrollo de la tarifa representa un mecanismo con el que se cobra a los usuarios y con ello, se compensa a los dueños de la tierra para que se responsabilicen de proteger y recuperar el bosque en función del recurso hídrico. De esta manera se presenta al bosque, no solamente como un productor de bienes tangibles (madera), sino también como un productor de servicios ambientales, cuya rentabilidad puede ser igual o más atractiva que la de los usos comunes que se tienen en la zona.

La cuantificación del recurso y la determinación de volumen utilizado, podrá proporcionarnos un volumen de agua percapita que pueda cubrir todas las necesidades fisiológicas de las personas, con lo cual a la vez se podrá establecer un costo adicional a aquellas que utilicen un mayor volumen del considerado necesario. Además, significa la eliminación de un subsidio que se ha hecho a éste servicio, el cual ha dejado a un lado la conciencia del uso racional del recurso.

#### **7.4.1. Estructura tarifaria general**

La tarifa planeada para el caso de la microcuenca, debe estar basada en el costo de oportunidad que los propietarios de los recursos consideren más redituable y con base a las labores de protección, regeneración natural del bosque y reforestación, mediante un esquema de Pago por Servicio Ambiental Hídrico. De la misma forma, se deben diferenciar los costos por la distribución del servicio y mantenimiento de obras, lo que hace elevar el precio. Por último, los ingresos que se generen se deben distribuir porcentualmente a los diferentes costos en los cuales se incurriera.

La prioridad principal del cobro por el servicio de agua, será la obtención de recursos para su inversión en el mantenimiento y recuperación de áreas boscosas, con lo que se aumentara la calidad de agua tanto de los ríos como de las aguas de infiltración.

#### **7.4.2. Estrategia de cobros**

El costo más próximo del agua por metro cubico, es el que representa su valor económico-ecológico. Para la administración del recurso económico recaudado, se debe contar con un organismo que regule y a la vez norme la estrategia de cobros. De igual manera, se debe contar con un organismo descentralizado el cual establezca los lineamientos bajo los cuales la estrategia de cobros beneficie directamente a los propietarios del bosque y distribuya los demás ingresos de los cobros entre las labores de mantenimiento de la infraestructura y oferta del servicio.

## **8. PROPUESTAS DE MANEJO DE LA MICROCUENCA**

Las alternativas de conservación de suelos, son prácticas que se han considerado con base al grado de perturbación que presenta la microcuenca, sin embargo estas deben ser adaptadas con base a zonas específicas; es decir, con base a las parcelas que se deseen manejar, lo que permitirá una mejor respuesta. La Fig. 12 muestra las zonas en las cuales se recomiendan llevar a cabo cada una de las propuestas de restauración y recuperación que se mencionan a continuación.

### **a) Reforestaciones**

La reforestación es considerada la mejor alternativa de conservación y restauración de zonas degradadas. Esta práctica debe considerar montos económicos de establecido y de mantenimiento, con lo cual se asegure su propósito. Se ha considerado que en pendientes mayores al 17 % se debe contar con una cobertura arbórea, por lo que las áreas que presenten esta condición deben ser sujetas a esta práctica. Las especies a establecer, serán las que presentan una distribución natural como en el caso de Guásuma y Encino o que represente una alternativa de producción como mamey o Guanábana. Para el caso del ganado y con el fin de obtener más forraje, es conveniente establecer Guásuma. Si el objetivo es la restauración, se puede establecer plantas como el pino y el encino, etc. Para las zonas en producción agrícola, es conveniente combinar los cultivos con cítricos o árboles frutales como el níspero, granada, los cuales tienen un buen precio en el mercado.

### **b) Zanjas trincheras**

Las zanjas son establecidas con el fin de evitar el escurrimiento superficial y aumentar la infiltración de agua. Estas prácticas son generalmente aplicadas junto con las reforestaciones con el fin de asegurar de cierta manera la disponibilidad de agua y humedad a los árboles en crecimiento.

Las dimensiones de las zanjas pueden ser varias según la pendiente, pero generalmente se establecen de 40 cm de ancho x 40 cm de profundidad y el largo que se desee. Estas prácticas se recomiendan establecer en pendientes pronunciadas y en las áreas en las que se tenga un alto grado de erosión, como en el caso de las áreas dedicadas a la producción agrícola y potreros.

#### **c) Presas de gaviones y malla ciclónica**

Las presas de gaviones se establecen con el fin de controlar el desplazamiento de azolves de las partes medias-altas de las cuencas; sin embargo, estas obras deben realizarse en lo mínimo posible, ya que segmentan los hábitats acuáticos. En el mismo entendido, las presas de malla ciclónica representan una mejor alternativa que las de gaviones, por representar un menor costo y un menor impacto en los ecosistemas acuáticos.

#### **d) Terrazas**

Las terrazas, representan una alternativa viable en cuestiones de estabilización de suelos, lo que trae consigo un mejor manejo en las áreas agrícolas productivas. Las terrazas se establecen siguiendo las curvas de nivel con el fin de retener una mayor cantidad de agua y evitar la erosión. Junto con esta labor, los cultivos se deben establecer en la misma dirección de la terraza, es decir, de acuerdo a las curvas de nivel. Si en su caso, se tiene parcelas fuera de este sistema, es posible adoptar prácticas de conservación como el de labranza mínima, en la cual solo se llevan a cabo las labores que son necesarias para que las plantas se desarrollen y produzcan.

#### **e) Barreras rompe vientos**

Estas barreras tienen el propósito de disminuir la velocidad del viento, a la vez que presentan un doble propósito como leña, forraje, fruto y/o sombra. Las barreras se deben establecer al contorno de los terrenos agrícolas o potreros, siguiendo las curvas de nivel y orientadas en una dirección perpendicular a la del viento.

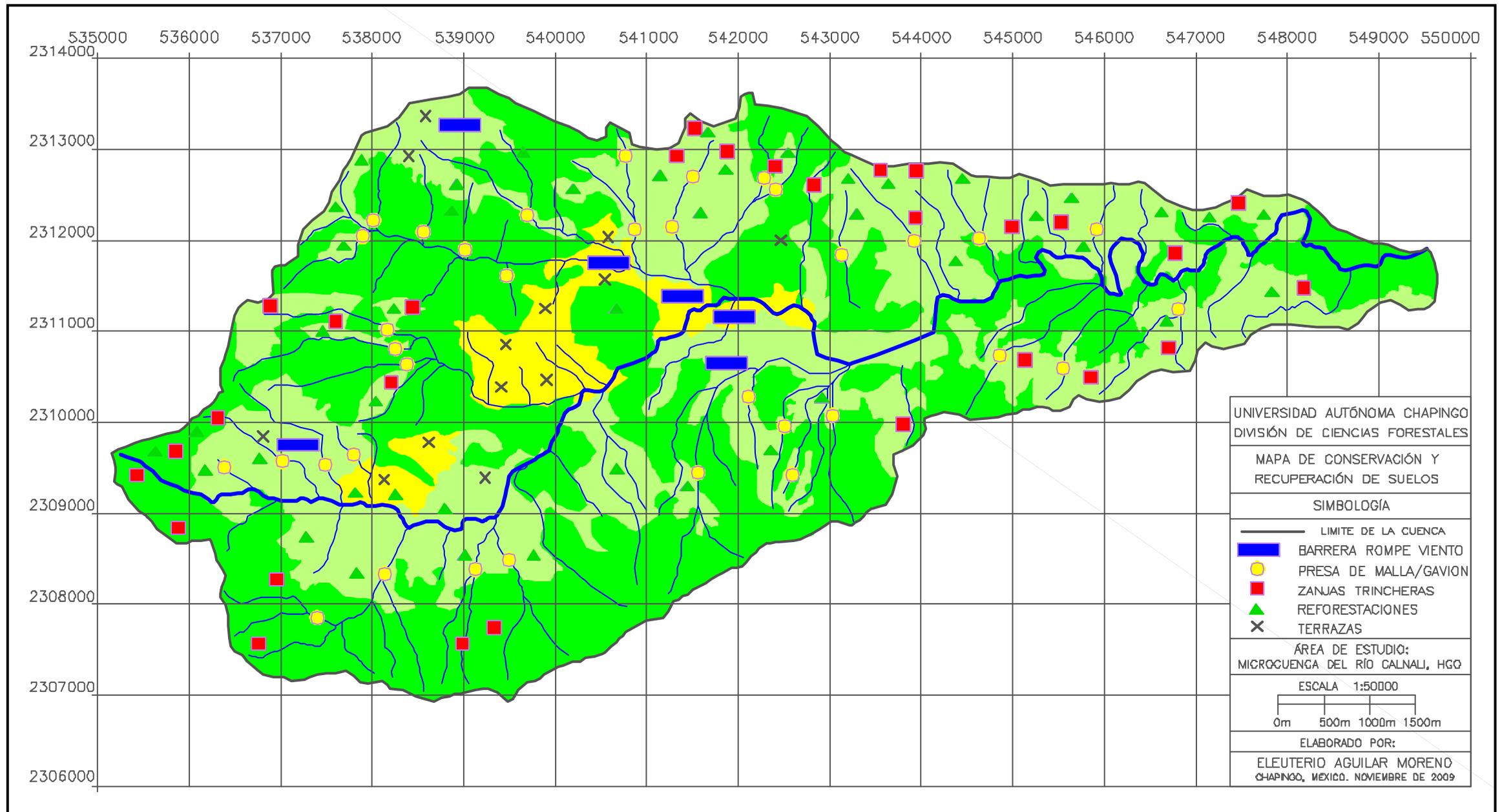


Fig. 12. Propuestas de conservación y recuperación de la microcuenca de Calnali, Hgo.

## 9. CONCLUSIONES

El papel del agua dentro del desarrollo de los pueblos es evidente desde la perspectiva de la producción de bienes y el nivel de bienestar que proporciona a sus beneficiarios, como al mismo desarrollo y mantenimiento de los ecosistemas que se beneficia de la producción hídrica de los bosques de la parte alta de la microcuenca.

En lo que respecta a la caracterización de microcuenca, esta cuenta con un área de 5,130.48 ha, de las cuales el 50.9 % se encuentra cubierta por vegetación típica de un Bosque mesófilo, lo que indica su potencial ecológico y la oportunidad económica que se tiene en la zona. Los bosques mesófilos son considerados los mejores productores de servicios hidrológicos por características como su composición, estructura ecológica y más. De la misma forma, proveen un sinfín de beneficios indirectos como la regulación del clima, captura de carbono, belleza escénica, control de erosión. Los usos de pastizales y áreas agrícolas representa el 49.1% del total del área en estudio, lo que equivale a 2,518. 15 ha.

El perímetro estimado de la microcuenca es de 37.39 km y de una forma oval redonda - oval oblonga lo que sugiere un grado considerable de peligrosidad en tormentas fuertes, ya que contemplando la red de drenaje presente en la zona, los afluentes pueden descargar sus corrientes en un lapso medio de tiempo. Aunado a estos, la pendiente promedio estimada de los rodales es de un 24.31 % y la pendiente ponderada de la microcuenca es de 20.44 %, lo que nos muestra una topografía regularmente accidentada.

La madera, resina, leña, hongos y demás productos, representa un valor económico directo de los recursos naturales, ya que se aprovechan de manera física; sin embargo, en el caso de los servicios que se reciben de los bosques de forma indirecta como lo son la belleza escénica, captura de carbono, regulación del clima, estabilización de suelos y en el caso de este estudio los recursos hidrológicos, etc., no presenta un valor para sus usuarios. Todos los recursos naturales pueden ser evaluados económicamente mediante métodos

particulares y para el caso de los servicios hidrológicos, se ha utilizado ampliamente la valoración mediante el concepto de beneficio - costo.

Para la valoración de los recursos hidrológicos del Rio Calnali, se consideraron los valores que estos recursos pueden tener como un insumo dentro de la producción, el valor que representan por la captación de agua y el costo de conservación de estas áreas. El costo de oportunidad a la vez, es la base para poder establecer una relación entre los que se produce en la actualidad en una determinada área de terreno y la opción económica que se genera al cambiarla por otra. El Valor promedio de los recursos hidrológicos de **\$670.67** ha/año, lo que nos da un valor total de **\$1,752,002.00** anualmente para poder conservar los recursos forestales de la parte alta de la microcuenca. Con base al valor económico que representa los bosques por concepto de su conservación, es necesario reconsiderar su uso e incorporar alternativas de aprovechamientos sustentables como en el caso de los servicios hidrológicos, los cuales puede generar el mismo ingreso por unidad manejada e inclusive ser una mejor alternativa.

La incorporación del Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) a los propietarios de los bosques de la parte alta de la microcuenca, representa asegurar un abasto continuo del servicio agua y el aumento en su calidad. Por otro lado, para poder llevar a cabo esto, es necesario contar con una estructura de cobros por el uso del recurso, el cual se debe hacer mediante el establecimiento de una tarifa diferenciada que regule y norme el cobro con base a la cantidad y a la actividad en la que fue utilizado el recurso. En este momento la disponibilidad de agua en la microcuenca es alta; sin embargo, esto está regulado por los bosques con los que aún cuenta, lo que indica que, de seguir con las actividades productivas comunes se podría incurrir en la disminución del abasto, la calidad del servicio y un aumento en la erosión y avenidas.

Cada cuenca presenta características particulares que la hacen única, por lo que los trabajos que se planeen en ella deben estar basados en todas sus características, tanto morfológicas, ecológicas, climáticas, económicas, culturales, etc., con el fin de que las actividades que se llevan a cabo en el área den los resultados que se esperan.

## **10. RECOMENDACIONES**

La microcuenca como productor de bienes y servicios, debe ser considerada como una parte primordial en el desarrollo de los pueblos que se encuentran dentro de ella, por lo que se deben reducir las intervenciones humanas con el fin del aprovechamiento (insustentable generalmente) de sus recursos y en cambio, se lleven a cabo prácticas de conservación y recuperación de áreas perturbadas.

La planeación de las actividades que se desarrollen en la microcuenca con el fin de su conservación deben basarse en la morfometría y el balance hídrico de ésta, por lo que es necesario contar con datos actuales con los cuales se puedan realizar los cálculos y de esta manera obtener datos precisos de sus parámetros, los cuales presenta problemas al ser calculados si no se cuenta con información reciente.

Los elementos que comprende el balance hídrico, son generalmente un problema cuando no se cuenta con la información adecuada, lo que hace incurrir en errores de obtención de datos que a primera vista parecerían normales. De la misma forma, algunos de los métodos establecidos para la caracterización de cuencas, presenta problemas de adaptabilidad a ciertas condiciones con lo que se llega a subestimar y sobrestimar algunos parámetros. Es común que al tratar de calcular un parámetro, no se cuente con información del tema o en su caso de datos necesario para realizar alguna estimación, por lo que se hace necesaria la investigación en temas relacionados a la valoración económica de recursos hidrológicos en el país.

Los datos más precisos con lo que se puede contar son los tomados directamente de campo; sin embargo, esto representa una inversión de tiempo y recursos económicos que los hace en ocasiones incosteables. Para tal caso, se deben tomar los datos con los que se cuenten de fuentes serias que permitan obtener estimaciones con un buen nivel de confianza.

Existen algunas formas prácticas, para obtener datos de campo confiables, como en el caso de la intercepción, la cual se puede estimar al colocar recipientes tanto en las áreas sin cobertura como en sitios con vegetación, lo que nos proporcionaría datos sobre el coeficiente de intercepción en determinadas condiciones.

Un parámetro que es difícil de estimar es el de la evapotranspiración, para la cual se ha propuesto en varias ocasiones derivarlo de la ecuación general del balance hídrico; sin embargo esta estimación puede no representar lo que en realidad se da en campo, ya que para su cálculo es necesario contemplar variables que a la vez generan problemas particulares de estimación.

Para el cálculo del escurrimiento existen metodologías e información que puede generalizar este parámetro, por lo que es necesaria la actualización del coeficiente de escurrimiento (C) que en este momento se utiliza, ya que las condiciones en las cuales se estimó en su momento ahora han cambiado y por consiguiente el seguir utilizando esta misma información generara un margen de error que se podría corregir si se contara con información actualizada del tema.

## 11. LITERATURA CITADA

- APARICIO M, F. J. 1992. **Fundamentos de Hidrología de superficie**. Edit. LIMUSA México D. F. 152 pp.
- BARRANTES, G Y VEGA, M. 2001. **Evaluación del servicio hídrico ambiental de la cuenca del Río Savegre con fines de ordenamiento territorial**. Instituto de políticas para la sostenibilidad. Costa Rica. 57 pp.
- BECERRA M, A. 1999. **Escorrentía, erosión y conservación de suelos**. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De México., pp 149-184.
- BURSTEIN, J., *et al.* 2002. **Informe sobre la propuesta de Pago por Servicios Ambientales en México**. PRISMA. 103 pp.
- CÁMARA DE DIPUTADOS. 2008. **Ley general de desarrollo forestal sustentable**. H. Congreso de la Unión. México. D.F. pag. 6
- CARDOZA, V., R. 1990. **Estrategias para el manejo integral de cuencas hidrográficas**. Memorias del primer Simposio Nacional. "El Agua en el Manejo Forestal". UACH. 1990. Pp. 2-14.
- CORTÉS T, H. 1991. **Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados**. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados. Montecillo, Méx. 168 pp.
- CUENCA, L. R. A. 2005. **Valoración económica de servicios hidrográficos en la cuenca del Río Apipilhuasco, Méx., y alternativas para su restauración y manejo**. Tesis de profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. 107 pp.
- DUCHAUFOR, P. 1984. **Edafogénesis y clasificación**. Masson, S. A. Barcelona. pp 171 – 193.
- ESTEBAN, F. M. 2006. **Valoración de los activos naturales**. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. España. 5 p.
- FAO. 1985. **Manual de Ordenación de Cuencas**. Serie Montes No. 35 FAO. Roma, Italia. 134p.
- FAO. 2006. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sustentable**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia., pp 200.

- FAO. 2009. **Los bosques y el agua**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 86 p.
- IDEM. 2007. **Oferta y demanda del recurso hídrico en Colombia**. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Santafé de Bogotá, Colombia. 29 pp.
- INE. 2007. **Medición y análisis de los efectos de distintos tipos de cubierta forestal sobre los procesos climáticos, hidrológicos y erosivos en Veracruz, México**. Instituto Nacional de Ecología., pp 110 - 11
- INEGI. 2005. **Prontuario de la información geográfica de los Estados Unidos Mexicanos, Calnali Hidalgo, CG: 13014**. Marco Geoestdístico Municipal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- JIMÉNEZ, O. F. 1994. **Planificación de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico**. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp 1-7.
- LANDELL-MILLS, N y PORRAS, I. T. 2002. **¿Bala de plata u oro de tontos? Revisión global de servicios ambientales del bosque y su impacto sobre los pobres**. Instituto internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo (IIDE). Londres. 275 p.
- LINARES E. *et al.* 2009. **Evolución del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del Río Bírris, Costa Rica**. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España. 20 pp.
- MELGAREJO I. DRAPER. J. C. 1997. **Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada**. GRAMAGARF, SCCL. España. pp 53-54.
- MIRANDA, M. *et al.* 2004. **Valoración económica de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Banano y Bananito**. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional (CINPE-UNA). Costa rica. pp 32 – 34.
- OROSCO, P. L.M. 2003. **Valoración económica preliminar de los servicios hidrológicos en la cuenca alta del río Zahuapan, Tlaxco, Tlaxcala**. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. 88 pp.
- OROSCO, P. L.M. 2006. **Balance hidrico y valoración económica de la producción de agua en la microcuenca del Río Zahuapan, Tlaxco, Tlax**. Tesis de maestría. División de Ciencias Forestales. UACH. 174 pp.

- PALMA, T., A. 1989. **Manual para elaborar el mapa base por el método de “Aerofototriangulación radial mecánica apoyado en cartas topográficas.** División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, México. 41 pág.
- PÉREZ, R. J. A. 2003. **Valoración económica del agua.** Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT. Universidad de los Andes. 44 p.
- RUIZ P., M., C. GARCÍA F., J. A SAYER. 2007. **Los servicios ambientales de los bosques.** Ecosistemas, año/vol. XVI, número 003. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, España. pp 80 - 89
- SÁNCHEZ, V. A. 1987. **Conceptos Elementales de Hidrología Forestal.** División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, México. 143 p.
- SÁNCHEZ, V. A. *et al.* 2007. **Balance hidrológico y valoración económica de la producción de agua en la microcuenca del Río Zahuapan, Tlaxco, Tlax.** División de Ciencias Forestales. Universidad autónoma Chapingo. 16 p.
- SERRANO, G., E. 1990. **La producción y valoración del agua: un marco conceptual y metodológico.** Memorias del Primer Simposio Nacional. “El Agua en el Manejo forestal”. UACH. 1990. Pp. 177-190.
- TOLEDO, T. 2009. **El bosque de niebla.** CONABIO. Biodiversitas. 83: 1-6.
- CONAFOR. 2010. **Reglas de operación del programa Proarbol 2010.** Comisión Nacional Forestal.  
<http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/proarbol/ReglasdeOperacion2010.pdf>  
 (27/01/2010).
- CONAFOR. 2009. **Servicios Ambientales del Bosque. (SAB).**  
[http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=46&Itemid=146](http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=46&Itemid=146). (01/06/2010)
- CONAFOR. 2010. **Servicios Ambientales: SAB en México.**  
[www.conafor.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=360](http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=360).  
 (15/02/2010).
- ENCICLOPEDIA DE LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO. 2005. **Calnali.** Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Hidalgo.  
[http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM\\_hidalgo](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_hidalgo). (10/02/2010).

- INE. 2003. **Manejo Integral de Cuencas.** DGOECE, <http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html>. Dirección en Manejo Integrado de Cuencas Hídricas.
- INEGI. 2010. **Censo de población y vivienda 2005.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp>. (22/03/2010).
- IRURTIA, D. B. Y G. CRUZATE (2002). **Aplicación de la ecuación universal de predicación de pérdida de suelo en la provincia de Buenos Aires.** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires. <http://www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/USLE%20PBA.pdf>. (04/03/2010).
- JIMÉNEZ, O. F. 2009. **El bosque como regulador del ciclo hidrológico.** Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE). Instituto Nacional de Ecología. [http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/fran\\_jimenez2.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/dgipea/fran_jimenez2.pdf) ( 03/03/2010).
- SEMARNAT. 2010. **Manejo integrado de cuencas.** Subdelegación de planeación <http://www.semarnat.gob.mx/estados/chiapas/temas/Paginas/ManejoIntegradodeCuencas.aspx>. (20/01/2010).
- THOMPSON B. M. y J. ARTEZANA I. 2008. **Costo de oportunidad.** <http://www.promonegocios.net/costos/costos-oportunidad.html> (25/02/2010).
- UNNE. 2003. III3. **Infiltración.** Universidad Nacional del Noroeste. <http://ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf>. (25/04/2010).

# A N E X O S

**ANEXO 1. Parámetros de infiltración de Green-Ampt para varias clases de suelo, según Rawls, Brakensiek y Miller (1983). El número indicado es la media, mientras que los valores entre paréntesis corresponden al rango de variación.**

Clase de suelo	Porosidad $\eta$	Porosidad Efectiva $\theta_e$	Altura de succión de frente de mojado $\Psi$ cm	Conductividad hidráulica K cm/h
<b>Arena</b>	0.437 (0.374-0.500)	0.417 (0.354-0.480)	4.95 (0.97-25.36)	11.78
<b>Franco arenoso</b>	0.453 (0.351-0.555)	0.412 (0.283-0.541)	11.01 (2.67-45.47)	1.09
<b>Franco</b>	0.463 (0.375-0.551)	0.434 (0.334-0.534)	8.89 (1.33-59.38)	0.34
<b>Franco limoso</b>	<b>0.501</b> (0.420-0.582)	<b>0.486</b> (0.394-0.578)	<b>16.68</b> (2.93-95.38)	<b>0.65</b>
<b>Franco-arcillo-arenoso</b>	<b>0.398</b> (0.332-0.464)	<b>0.330</b> (0.235-0.425)	<b>21.85</b> (4.42-108)	<b>0.15</b>
<b>Franco arcilloso</b>	0.464 (0.409-0.519)	0.309 (0.279-0.501)	20.88 (4.79-91.10)	0.10
<b>Franco-arcillo-limoso</b>	0.471 (0.418-0.524)	0.432 (0.347-0.517)	27.30 (5.67-131.50)	0.1
<b>Arcilla arenosa</b>	0.430 (0.370-0.490)	0.321 (0.207-0.435)	23.90 (4.08-140.2)	0.06
<b>Arcilla limosa</b>	0.479 (0.425-0.533)	0.423 (0.334-0.512)	29.22 (6.13-139.4)	0.05
<b>Arcilla</b>	0.475 (0.427-0.523)	0.385 (0.269-0.501)	31.63 (6.39-156.5)	0.03

**Fuente: Nanía (2002), citada por Orosco (2006)**

**ANEXO 2. Manantiales con permisos otorgados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) al Municipio de Calnali Hgo.**

<b>Anexo</b>	<b>Vol. m3/año</b>	<b>Uso que ampara el título</b>	<b>Fuente</b>	<b>Afluente</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	529.25	Público urbano	Manantial Acatlan	Rio Calnali	20°54'48.00"	98°31'52.00"
2	711.15	Público urbano	Manantial Chalahuico	Rio Calnali	20°53'53.00"	98°31'40.00"
3	529.25	Público urbano	Manantial la Cienega	Rio Calnali	20°54'5.00"	98°36'20.00"
4	693.5	Público urbano	Manantial Coamaquix	Rio Calnali	20°55'20.00"	98°34'44.00"
5	456.25	Público urbano	Manantial Cuaxacal	Rio Calnali	20°54'52.00"	98°33'42.00"
6	127.75	Público urbano	Manantial Ixcatlan	Rio Calnali	20°53'8.00"	98°37'42.00"
7	2080.5	Público urbano	Manantial Teocapan	Rio Calnali	20°54'7.00"	98°32'34.00"
8	1898	Público urbano	Manantial Texcaco	Rio Calnali	20°54'18.00"	98°36'0.00"
9	876	Público urbano	Manantial Tonalaco	Rio Calnali	20°54'20.00"	98°36'20.00"
10	1332.25	Público urbano	Manantial Toxpango	Rio Calnali	20°54'12.00"	98°30'16.00"
11	109.5	Público urbano	Manantial Amatepec	Rio Calnali	20°53'30.00"	98°35'40.00"
12	109.5	Público urbano	Manantial Coanectla	Rio Calnali	20°53'42.00"	98°37'55.00"
13	109.5	Público urbano	Manantial Metlatepi	Rio Calnali	20°54'45.00"	98°34'14.00"
14	109.5	Público urbano	Manantial Tecomatla	Rio Calnali	20°53'20.00"	98°37'42.00"
15	109.5	Público urbano	Manantial Teozintepetl	Rio Calnali	20°52'48.00"	98°39'2.00"
16	109.5	Público urbano	Manantial Tepetlaco	Rio Calnali	20°52'24.00"	98°38'20.00"
17	109.5	Público urbano	Manantial Tlalica	Rio Calnali	20°53'45.00"	98°33'35.00"
18	219	Público urbano	Manantial Acalamaco	Rio Calnali	20°44'45.00"	98°37'40.00"
19	219	Público urbano	Manantial Ayahuatl	Rio Calnali	20°54'45.00"	98°28'25.00"
20	219	Público urbano	Manantial Coamida	Rio Calnali	20°54'5.00"	98°29'45.00"
21	4325.25	Público -urbano	Rio Calnali	Rio Atempa	20°54'48.00"	98°32'25.00"
22	1806.75	Público -urbano	Manantial Atezco	Rio Calnali	20°53'0.00"	98°39'0.00"
23	2956.5	Público -urbano	Manantial Rincón de Contla	Rio Calnali	20°53'32.00"	98°58'50.00"
24	1423.5	Público -urbano	Manantial huhuenco	Rio Calnali	20°54'31.00"	98°34'23.00"
25	985.5	Público -urbano	Rio Calnali	Rio Atempa	20°53'47.00"	98°32'24.00"
26	1642.5	Público -urbano	Rio Calnali	Rio Atempa	20°53'45.00"	98°33'28.00"
27	3339.75	Público -urbano	Rio Calnali	Rio Atempa	20°53'45.00"	98°31'55.00"
28	2792.25	Público -urbano	Rio Calnali	Rio Atempa	20°54'5.00"	98°31'29.00"
<b>Total</b>	29929.4					

### ANEXO 3. Factor de vegetación (C) de cobertura arborea, de matorral y pastos.

Cobertura	Factor C			
	Mora 1987	FAO 1989	CATIE 2003	Lianes 2009
<b>Bosque</b>				
Bosque primario	0.0001			
Bosque natural		<b>0.003</b>		0.003
Selva Virgen		0.001		
Bosque denso			0.003-0.010	
Bosque denso, substrato herbáceo denso			0.003-0.010	
Bosque claro, substrato herbáceo degradado			0.010-0.100	
Bosque			0.003	
Bosque secundario		0.007		
Chaparral-pasto	0.018			
Chaparral				0.012
Bosque degradado				0.037
<b>Matorral y pastos</b>				
Matorral denso			0.003-0.030	
Matorral claro, substrato herbáceo denso			0.003-0.030	
Matorral claro, substrato herbáceo degradado			0.030-0.100	
Páramo			0.003-0.040	
Pasto		0.009		
Pasto (natural o mejorado)		<b>0.008</b>		
Vegetación natural baja (altura:50cm)		0.012		
Pastizal natural completo			0.030-0.010	
Pastizal natural pastoreado			0.040-0.200	
Pastizal cultivado (manejado)			0.003-0.040	
Pasto de corta				0.012
Potrero				0.013
Potrero carga normal				0.002
Potrero degradado				0.002
Potrero muy degradado				0.016
<b>Cultivo anuales</b>				
Cultivos anuales		0.495		
Papa-zanahoria o Papa-cebolla		0.615		
Maíz		0.500		
Caña		0.502		
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)			<b>0.100-0.800</b>	
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)			0.400-0.900	
Cultivos (cobertura baja)				0.650
Cultivos (cobertura media)				0.500
Cultivos (cobertura alta)				0.400

Fuente: Linares *et al* (2009).

#### ANEXO 4. Factor de prácticas (P) de conservación.

Pendiente %	Cultivo en contorno	Cultivo en franjas		Cultivo en terrazas
		1	2	
1-2	0.60	0.30	0.60	0.60
3-5	0.50	0.25	0.50	0.50
6-8	0.50	0.25	0.50	0.50
9-12	0.60	0.30	0.60	0.60

Fuente: Irurtia, D. B. y G. Cruzate (2002).