



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA**

**LAS MICROCUENCAS COMO UNA ESTRATEGIA DE ANÁLISIS ESPACIAL  
EN LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS PARA LA  
CONSERVACIÓN BAJO EL ENFOQUE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, EN  
LA SIERRA NORTE DE OAXACA**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

**P R E S E N T A :**

**Karina Trinidad Lora**

**DIRECTORA DE TESIS**

**Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

**Ciudad de México, Abril del 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

---

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT – México), le agradezco su apoyo por la beca recibida para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) (IN301118 y IN302721) por su apoyo en el financiamiento de este proyecto y la beca complementaria recibida.

Al Instituto de Geografía de la UNAM, por permitirme hacer uso de sus instalaciones y brindarme un espacio de trabajo.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutora de tesis Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez por su tu tiempo, experiencia, conocimiento, guía y enseñanzas transmitidas; así como por las pláticas, risas su paciencia y demás.... que hicieron de esta etapa una experiencia plena.

A los miembros de Sínodo, Dr. Lorenzo Vázquez Selem por su apoyo, su valiosa enseñanza y motivación constante para culminar este trabajo; a la Dra. María Perevochtchikova por su compromiso y valiosa aportación para detallar y mejorar el trabajo de esta tesis; al Dr. José Manuel Maass Moreno por sus valiosas aportaciones y sugerencias para profundizar en algunos conceptos de este trabajo y a la Dra. Helena Cotler por su valiosa guía para complementarlo.

A las comunidades de Santa Catarina Lachatao y Santa María Yavesía, por su apoyo y por enseñarme formas conscientes, activas y comprometidas de habitar el espacio.

Finalmente quiero agradecer

A mi pareja, compañero y amigo de vida, Aarón Garza Rodríguez, por su infinito apoyo, su paciencia, guía y oído prestados en todo momento de mi felicidad y frustración durante la realización de este trabajo.

A mi querida y amada madre Isi Lora, por todo su amor, por estar siempre ahí y creer en mi siempre. Incluso por acompañarme a los congresos e irse a pasear con Aaron mientras yo exponía. Te amo con toda mi alma.

A mi familia porque siempre están apoyándome, motivándome e inspirándome para ser mejor.. .

A mis amigos Víctor Jimenez E., Brenda I. Trejo y Ericka Velázquez por su apoyo, consejos para este trabajo, pláticas, risas y encantadora compañía.

Ante la lucha para fortalecer y hacer realidad la sustentabilidad,  
es necesario trabajar con un “desatino controlado”.

*“Es posible insistir como es debido, aunque sepamos que lo que hacemos no tiene caso.  
Pero primero debemos saber que nuestros actos son inútiles y luego proceder como si no  
lo supiéramos. Eso es el desatino controlado”*

*-Don Juan Matus-*

# INDICE

|                                                                                                     |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| INDICE .....                                                                                        | - 4 -  |
| Resumen .....                                                                                       | - 8 -  |
| Introducción .....                                                                                  | - 9 -  |
| Pregunta de Investigación.....                                                                      | - 14 - |
| Objetivo General.....                                                                               | - 15 - |
| Objetivos Particulares .....                                                                        | - 15 - |
| CAPITULO I: Bases Teóricas en el Análisis Integral de Los Servicios Ecosistémicos..                 | - 16 - |
| I.1 Los Ecosistemas y las Cuencas como Unidad de Análisis .....                                     | - 16 - |
| I.2 Servicios Ecosistémicos .....                                                                   | - 18 - |
| I.3 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota en el Análisis Espacial .....  | - 26 - |
| CAPITULO II: Marco Conceptual y Metodológico de los Indicadores Ambientales.....                    | - 28 - |
| II.1. Zona de estudio.....                                                                          | - 28 - |
| II.2. Métodos .....                                                                                 | - 31 - |
| II.3. Variables, Funciones de Valor y Normalización.....                                            | - 32 - |
| II.4 Descripción de Variables y su Relevancia para el Análisis de los Servicios Ecosistémicos. .... | - 35 - |
| II.4.1. Análisis de Cobertura Vegetal .....                                                         | - 41 - |
| II.4.2. Edafología.....                                                                             | - 46 - |
| II.4.3. Geología .....                                                                              | - 51 - |
| II. 4.4. Orientación .....                                                                          | - 52 - |
| II. 4.5. Duración del periodo de lluvias DPLL .....                                                 | - 53 - |
| II.4.6. Sistemas acuáticos .....                                                                    | - 55 - |
|                                                                                                     | - 4 -  |

|                                                                           |         |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| II. 4.7. Parámetros sociales.....                                         | - 56 -  |
| II. 4.8. Servicios diversos (usos diversos de los recursos) .....         | - 59 -  |
| II. 4.9. Agrobiodiversidad y Agro ecosistemas .....                       | - 59 -  |
| II.5. Análisis de Servicios Ecosistémicos .....                           | - 60 -  |
| II.5.1 Servicios Ecosistémicos de Soporte .....                           | - 60 -  |
| II.5.2. Servicios Ecosistémicos Regulación .....                          | - 63 -  |
| II.5.3 Servicios Ecosistémicos de Provisión .....                         | - 65 -  |
| II.5.4. Servicios Ecosistémicos Culturales .....                          | - 65 -  |
| II.5.5. Zonas potenciales para brindar Servicios Ecosistémicos .....      | - 65 -  |
| CAPITULO III: Servicios Ecosistémicos Potenciales por Microcuenca.....    | - 67 -  |
| III.Resultados.....                                                       | - 67 -  |
| III.I.1. Soporte .....                                                    | - 67 -  |
| III.I.2. Regulación.....                                                  | - 77 -  |
| III.I.3. Provisión .....                                                  | - 84 -  |
| III.I.3.3. Zonas Potenciales para Brindar Servicios Ecosistémicos .....   | - 88 -  |
| III.2 Discusión .....                                                     | - 89 -  |
| Conclusiones .....                                                        | - 100 - |
| Bibliografía.....                                                         | - 103 - |
| <b>Anexos</b> .....                                                       | - 115 - |
| Anexo 2.....                                                              | - 116 - |
| Anexo 3. Análisis de Vegetación. Ejemplos de datos tomados en campo ..... | - 117 - |

## Tablas

|                                                                                      |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabla I. 1.Tamaño relativo de los Sistemas Hidrológicos, tomado deVillon (2004)..... | - 17 - |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla II. 1. Funciones de valor usadas en el proceso de Normalización de las variables-                                              | 33 |
| -                                                                                                                                    |    |
| Tabla II. 2. Clasificación de la pendiente según su complejidad. Tomado de Siebe y Jahn (1996 )                                      | 37 |
| Tabla II. 3 Criterios de clasificación asignados a las propiedades del suelo                                                         | 49 |
| Tabla II. 4. Valores de importancia asignados a las características de los suelos según su potencial para retener o filtrar agua     | 50 |
| Tabla II. 5. Ejemplo de matriz para priorización de microcuencas                                                                     | 60 |
| Tabla III. 1. Resumen de las características del habitat de la población por subcuencas según su índice de marginación (SIATL, 2010) | 73 |

## Figuras

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura I. 1. Servicios que ofrecen los ecosistemas y sus vínculos con el bienestar humano. Tomado de (MA, 2003)                                                           | 25 |
| Figura II. 1. Área de Estudio                                                                                                                                             | 29 |
| Figura II. 2. Distribución de la vegetación en la cuenca de estudio (SIATL, INEGI)                                                                                        | 29 |
| Figura II. 3. Población y vivienda en la cuenca del área de estudio (SIATL, INEGI)                                                                                        | 30 |
| Figura II. 4. Servicios básicos con los que disponen las viviendas dentro de la cuenca de estudio (SIATL, INEGI)                                                          | 31 |
| Figura II. 2. Esquemas de los programas usados para aplicar las funciones de valor y normalizar las variables Modelo lineales y no lineales y Modelo en forma de campana- | 33 |
| -                                                                                                                                                                         |    |
| Figura II. 3. Imagen que ilustra el factor de Forma donde se muestra el grado de achatamiento de una cuenca, tomado de Villon, op cit (2004)                              | 39 |
| Figura II. 7. Diversidad de servicios Ecosistémicos que ofrecen los ecosistemas forestales, tomado de Hassan et al. (2005).(Hassan et al., 2005)                          | 42 |
| Figura II. 5. Los puntos verdes representan sitios verificados en campo para validar el tipo y el estado de la vegetación                                                 | 44 |

|                                                                                                                                                                       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura III. 1. Área de las 103 microcuencas dentro de la zona de estudio .....                                                                                        | - 67 - |
| Figura III. 2 <i>Mapa que muestra el potencial ecosistémico para proveer agua en las microcuencas analizadas.</i> .....                                               | - 69 - |
| Figura III. 3. Mapa que muestra el potencial por microcuenca para ofrecer SE relacionados con la diversidad de ambientes, medidos a partir de la heterogeneidad ..... | - 70 - |
| Figura III. 4 Las zonas con mayor potencial para la recarga de acuíferos, corresponden a las áreas de mayor altitud de la cuenca. ....                                | - 72 - |
| Figura III. 5. A) Clasificación y distribución de la cobertura vegetal B) Potencial de cobertura vegetal por microcuenca .....                                        | - 73 - |
| . Figura III. 6. Potencial que cada microcuenca tiene para brindar Servicios Ecosistémicos de Soporte .....                                                           | - 75 - |
| Figura III. 7. Zonas potenciales a ser erosionadas. La graduación de puntos azules refleja la densidad poblacional. ....                                              | - 78 - |
| Figura III. 8 Potencial de las microcuencas para mantener los SE de Regulación a la Erosión .....                                                                     | - 79 - |
| Figura III. 9. Potencial de Bienestar social por microcuenca. Los puntos graduados representan la densidad poblacional en la zona. ....                               | - 81 - |
| Figura III. 10. El mapa muestra las microcuencas con mayor estabilidad en los procesos de regulación. ....                                                            | - 82 - |
| Figura III. 11. Potencial que presenta cada microcuenca en el aporte de SE de provisión... -                                                                          | 84 -   |
| Figura III. 12. A) Presencia de pueblos indígenas por microcuenca B) variantes de pueblos indígenas en la cuenca .....                                                | - 86 - |
| Figura III. 13. Representación espacial de las microcuencas con dominancia Indígena mayor a 0.5 y EVI mayor a 0.5.....                                                | - 87 - |
| Figura III. 14. Microcuencas con mayor y menor aporte de SE .....                                                                                                     | - 88 - |

## **RESUMEN**

La Sierra Norte de Oaxaca, ofrece a sus habitantes gran biodiversidad y amplia gama de Servicios Ecosistémicos (SE). Reconocer la variabilidad de servicios que ofrece un espacio, es una tarea que permite contextualizar la importancia del lugar, diversificar y optimizar los usos, así como facilitar el dialogo de interés común sobre el tema entre diferentes sectores sociales. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue identificar desde la caracterización de microcuencas, el potencial para ofrecer SE de una cuenca que constituye uno de los afluentes de mayor altitud de del Río Quiotepec. El trabajo, toma como punto de partida los criterios de clasificación de SE propuestos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA), el cual considera cuatro líneas: soporte, regulación, provisión y culturales. Para cada línea se determinaron distintos tipos de SE, cuyo cálculo se obtuvo del análisis y reconocimiento de la condición actual de la vegetación con el uso de imágenes satelitales, análisis de variables topográficas e hidrológicas, zonas de importancia antrópica y datos de verificación en campo haciendo uso de sistemas de información geográfica y percepción remota para el análisis espacial. Los valores de cada variable se transformaron en variables cuantitativas y de razón, se les aplicó una función de valor dependiendo del comportamiento de la variable. Los resultados de estas variables se normalizaron para poder ser comparadas y se integraron en una matriz por línea de SE usando algebra de mapas, las cuales constituyen la base para reconocer la calidad de la unidad de análisis. Se muestra la relevancia de cada espacio en el aporte de SE, se identifican áreas de importancia para la conservación y se reconocen aquellas áreas que han tenido usos intensivos y requieren mayor atención. El análisis propuesto resulta de utilidad para identificar y diversificar el valor de aporte que ofrece cada espacio en la cuenca.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la necesidad humana de comprender la existencia ha generado diversas formas de representación del universo. Cada cultura ha constituido su propia visión del cosmos basada en su experiencia vivida en el espacio que le rodea. Así, el espacio influye en la estructuración de una cosmovisión, pero también la cosmovisión termina gestando un espacio (Leff, 2004; Morales Damián, 2010a)

En el mundo prehispánico la naturaleza era vista como algo creado a partir del cosmos, donde el hombre era considerado en unidad con la naturaleza y no como un ente independiente de la misma (Morales Damián *op cit.*). Esta estrategia de convivencia fue desarrollada por diferentes culturas indígenas americanas e implicó el desarrollo de prácticas específicas de uso de los sistemas naturales en cada grupo étnico y en cada región. El conocimiento específico del hábitat, permitió por muchos años realizar un uso eficiente del espacio, obteniendo beneficios al mismo tiempo que se preservaba la base del recurso (Leff, 2000).

En el caso particular de México, durante la colonización española en el siglo XVI, se heredaron e impusieron sobre las culturas originarias las visiones europeas sobre la concepción de la naturaleza. En ella, se difundió una postura antropocéntrica cuyo interés permeaba en aprovechar al máximo los recursos naturales, por lo que estos fueron industrializados para satisfacer las necesidades de la humanidad y para atender requerimientos cuya meta con el tiempo condujo al llamado progreso o desarrollo económico (Gudynas, 1999).

El desarrollo económico sin una visión de común entendimiento entre hombre y naturaleza, condujo a un deterioro ambiental que inicio con la llegada de la Revolución Industrial a finales del siglo XIX y principios del XX y fue particularmente agudo a partir de la década de 1940 y 1950 por el crecimiento acelerado de las actividades productivas, lo cual promovió un factor de cambio de la biodiversidad y los ecosistemas (Challenger y Dirzo, 2009).

Ante este panorama, en México, iniciaron los primeros esfuerzos para proteger y preservar la naturaleza, un ejemplo de ello se tiene en la perspectiva de Miguel Ángel de Quevedo quien con una visión basada en su experiencia y en la experiencia de otros países como Egipto, Siria y Grecia, sostenía que la pérdida del capital natural representaría un

desastre para los suelos de la nación y el equilibrio ecológico al aumentar la incidencia de inundaciones torrenciales, erosión y desertificación de las tierras de cultivo, amenazando así, los cimientos agrícolas de la economía nacional (Boyer, 2006).

Se concluyó entonces que los bosques debían preservarse<sup>1</sup> y se abogó por la reforestación (en muchas ocasiones con especies exóticas), creación de parques urbanos, parques nacionales protegidos y también por la aprobación de leyes que regularan la manera en que las comunidades rurales utilizaban los bosques. (Boyer *op cit.*).

Esta idea de conservación aunque hasta cierto punto, ofrece como objetivo proteger el capital natural del que las sociedades dependen, presenta una seria omisión, pues aun cuando el hecho de conservar es una necesidad que encamina al bienestar humano, las sociedades dependen de los recursos que brindan los sistemas naturales e incluso hoy en día se sabe que la diversidad cultural juega un papel importante en la conservación, aportando conocimientos sobre biodiversidad, suelo, topografía, estrategias de uso múltiple de los recursos naturales, integración y diversificación de los sistemas al que las comunidades pertenecen (Boege, 2009b; Leff, 2000). No obstante, esta idea de convivencia entre hombre y naturaleza no era concebida y resultaba evidente que las poblaciones rurales requerían de instrucción para llevar a cabo un manejo racional de los bosques y por lo tanto el aporte del conocimiento local y el aprovechamiento sustentable en el manejo de los mismos no fue permitido (Boyer *op cit.*).

Desde entonces, numerosas iniciativas se han puesto en marcha para el estudio de la conservación. Como principio, en 1972 a través de la Declaración de Estocolmo, se manifestó por primera vez a nivel global, la preocupación por las problemáticas ambientales, sociales y económicas derivadas del modelo tradicional de crecimiento económico y del uso de los recursos naturales; para 1987 con la publicación del informe Bruntland se desarrolla el concepto de sustentabilidad y para el año de 1992, la

---

<sup>1</sup> Entiéndase preservación como lo marca la Ley GEEPA, aquellas superficies en buen estado de conservación que contienen ecosistemas relevantes o frágiles, o fenómenos naturales relevantes, en las que el desarrollo de actividades requiere de un manejo específico, para lograr su adecuada preservación. En estas zonas sólo se permitirán la investigación científica y el monitoreo del ambiente, las actividades de educación ambiental y las actividades productivas de bajo impacto ambiental que no impliquen modificaciones sustanciales de las características o condiciones naturales originales, promovidas por las comunidades locales o con su participación, y que se sujeten a una supervisión constante de los posibles impactos negativos que ocasionen, de conformidad con lo dispuesto en los ordenamientos jurídicos y reglamentarios que resulten aplicables (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1988)

Organización de las Naciones Unidas convocó a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo conocida como la “Cumbre de la Tierra”, en Río de Janeiro, donde el tema ambiental provocó en la mayoría de los países, una intensa discusión sobre el concepto de desarrollo sustentable, el cual se dirige a establecer una interrelación entre los procesos ambientales, económicos y sociales (ONU).

Aunque el tema ambiental se pronunció con fuerte auge, durante casi todo el siglo XX, las políticas de administración de los recursos naturales nacionales se centraron en un enfoque productivo, extractivo . Es así, que las estrategias no han logrado frenar del todo las acciones de explotación extensiva y extractiva que se han generado a partir de las prácticas de desarrollo convencional y por lo tanto, son notorios los graves impactos ambientales y la creciente desigualdad social que se ha generado en torno a ellos (Carabias y Provencio, 2016).

Actualmente, en pleno siglo XXI, el desarrollo económico sigue siendo el modelo que guía la toma de decisiones en torno al manejo de recursos naturales, si bien, existe un marco jurídico que norma la manera en que debe llevarse a cabo cualquier actividad referente al tema, el valor de los bienes y servicios suministrados por los ecosistemas no siempre se incluyen en el proceso político de toma de decisiones. Esto, debido a que muchos beneficios no representan aparentemente un valor económico en el mercado o bien no se conoce con precisión su valor intrínseco en el funcionamiento de los ecosistemas, por lo que su función en pro del beneficio humano llega a ser subestimada (Westman,(1977) y Grêt-Regamey et al., (2008)).

Las líneas citadas anteriormente, reflejan la necesidad de crear un vínculo donde sociedad y naturaleza puedan convivir poniendo en práctica el concepto de desarrollo sustentable. Para ello, en Balvanera et al., (2011), se resume el panorama conceptual interdisciplinario de investigación científica a nivel global, en torno a la evaluación de los servicios ecosistémicos (SE). Entre ellos, se encuentra el proyecto MA 2005, que resalta por ser una iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas, cuyo marco conceptual sitúa el bienestar humano como el foco central de la evaluación, aunque reconoce que la biodiversidad y los ecosistemas tienen valores intrínsecos de los cuales depende el bienestar social.

El presente trabajo, se apoya en el enfoque conceptual que brinda el MA por considerarlo una base teórica que permite vincular el concepto de Servicios Ecosistémicos (SE) con el bienestar humano (Balvanera y Cotler, 2009), y por lo tanto, facilita el entendimiento sobre la función e importancia que ejercen los recursos naturales sobre un espacio determinado, con la intención de poder evaluar, gestionar y mejorar el manejo de los ecosistemas en distintas escalas (MA, 2003). Para este trabajo, el concepto se aplicó en la evaluación de los SE de uno de los afluentes de mayor altitud del Rio Quiotepec, perteneciente a la Sierra Norte de Oaxaca (Sierra de Juárez), por ser una región que desde el punto de vista ecológico ofrece un importante aporte de servicios ecosistémicos, esto, gracias a su notable diversidad biológica y su gran capacidad de captación de agua, misma que alimenta a uno de los ríos más importantes de México, el Papaloapan (Pérez, 2008). La cuenca, tiene una extensión de 205,246 ha, se conforma de un total 28 municipios del estado de Oaxaca dentro de los cuales y por mencionar algunos, se encuentra a Santa María Yavesía, Santa Catarina Lachatao, San Miguel Amatlán e Ixtlán de Juárez, en la zona de cabecera de la cuenca; Santa María Jaltianguis, San Juan Evangelista Analco y Santa Ana Yareni, en la zona central de la cuenca y San Juan Quiotepec y San Juan Bautista Cuicatlán cercanos a la desembocadura de la misma.

En general, la Sierra Norte de Oaxaca es considerada uno de los sitios de mayor importancia para la conservación de la diversidad biológica en el mundo (Pérez, 2008). Sin embargo, ha tenido que enfrentar fuertes conflictos a lo largo de los años por el manejo del bosque y como consecuencia en algunos sitios de esta región, se han observado grandes pérdidas en su cobertura vegetal. Como ejemplo, se tiene el municipio de Ixtlán de Juárez (ubicado dentro de la cuenca del río Quiotepec), actualmente reconocido por sus prácticas sustentables en la silvicultura comunitaria y cuyas pérdidas forestales reportan 2202.52 ha en el periodo 2001-2014 (USAID, et al., 2016).

Por otro lado, si bien es que gracias a sus prácticas forestales comunitarias, también en algunas regiones de la Sierra Norte de Oaxaca, se ha visto una disminución en sus tasas de deforestación (Mendoza-Gómez et al 2007 citado por USAID, 2016 y Gasca et al., 2010), lo cierto es que al ser una región de importancia mundial (Pérez, 2008), resulta imperante desde el punto de vista del bienestar social, esclarecer el valor en términos de SE que ofrece cada espacio en la cuenca. Desde esta perspectiva, se plantea que para evitar la omisión de los beneficios que conlleva el capital natural, en la gestión de los recursos

naturales, es necesario evaluar los servicios que proporcionan los ecosistemas y que pongan en visto los beneficios que estos ofrecen al bien común, es necesario incluso resaltar los bienes que se generan y dependen de las sinergias con otros servicios ecosistémicos (Westman,(1977) y Grêt-Regamey et al., (2008)).

Sumado al párrafo anterior, se requiere hacer uso de técnicas que ayuden a evaluar a nivel regional, los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas, ya que, por lo general, estos suelen estar interconectado en diferentes escalas espaciales y por lo tanto, cualquier modificación puede tener repercusiones en un área mayor. En este sentido, uno de los problemas que limita este tipo de análisis, es la falta de información ambiental con suficiente grado de detalle que permita analizar y generar información a escala detallada, mientras que resulta muy costoso en tiempo y recurso generar información directamente de campo que ayude a validar los datos. Es por ello que aun cuando existen una tendencia creciente de la inclusión del concepto de SE, en los proyectos de investigación (Trabucchi et al 2012 y Martínez-Harms et al 2012), los métodos más usados para mapear SE, se basan en la aplicación de relaciones causales, con el uso frecuente de datos secundarios y el uso de técnicas de modelado simple, donde las variables más usadas son la cobertura de suelo, información topográfica y los índices de vegetación espectral; Así mismo, los métodos y las variables usados para evaluar son diversos (en parte porque dependen de la disponibilidad de datos, tiempo y recurso de cada proyecto y región) (Martínez-Harms et al 2012).

El presente trabajo ofrece una propuesta para identificar, entender y diversificar, desde la caracterización de microcuencas, el valor funcional en términos de SE, de la cuenca de mayor altitud del Rio Quiotepec. El trabajo, como ya se mencionó, toma como punto de partida los criterios de clasificación de SE propuestos por el MA (2005). Este enfoque considera cuatro líneas: soporte, regulación, provisión y culturales. Para cada línea se determinaron distintos tipos de SE, cuyo cálculo se obtuvo del análisis y reconocimiento de la condición actual de la vegetación con el uso de imágenes satelitales, análisis de variables topográficas, hidrológicas, zonas de importancia antrópica y datos de verificación en campo. Aunque la escala de información entre las variables es distinta, se intentó compensar la baja resolución espacial de algunas de ellas, usando algunos otros datos de mayor resolución que de alguna manera pudieran dar explicación al mismo fenómeno (no fue posible realizar esta acción para todos los casos por no contar con dicha información). Los resultados del análisis de estas variables se integraron en una matriz por línea de SE, las

cuales constituyen la base para reconocer la calidad de la unidad de análisis y a partir de las cuales se generaron mapas por SE. El análisis propuesto resulta de utilidad para identificar y diversificar el valor de aporte que ofrece cada espacio en la cuenca y también puede brindar a los pobladores de herramientas para la concientización protección y gestión de sus bosques como parte integral de su territorio.

Para ello, se ha dividido este trabajo en tres secciones que se describen a continuación.

El primer capítulo: “Bases Teóricas en el Análisis Integral de Ecosistemas”, presenta el marco conceptual a partir del cual se fundamenta este estudio y la dirección que pretende tomar en el análisis de los servicios ecosistémicos. Se explican los conceptos fundamentales, entre ellos: el enfoque de cuencas, los servicios ecosistémicos y el uso de tecnologías como bases de datos, sistemas de información geográfica y percepción remota.

En el capítulo II llamado “*Marco Conceptual y Metodológico de los Indicadores Ecosistémicos*”, se presenta una explicación y descripción detallada de las etapas metodológicas y de los criterios de selección de cada uno de los indicadores que fueron usados para generar los resultados y se describe la importancia y contribución de cada uno de ellos en el aporte de servicios ecosistémico.

Finalmente, en el capítulo III “*Servicios Ecosistémicos por Microcuenca*”, se brinda una explicación de los resultados obtenidos. Se integra a partir de matrices generadas con funciones de valor y datos normalizados, las variables que describen de manera general cada uno de los SE propuestos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) y se representan a partir de mapas los sitios de mayor relevancia en términos de SE.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las áreas dentro de la cuenca del Rio Quiotepec, que ofrecen una mayor oferta de servicios ecosistémicos y cuál es la contribución de estos servicios en el funcionamiento de la cuenca y el bienestar social?

## **OBJETIVO GENERAL**

- Identificar el aporte de SE, que brinda la parte alta de la Subcuenca del Río Quiotepec Oaxaca, a partir de un análisis ambiental basado en el enfoque de cuenca, con la finalidad de entender la importancia que tiene cada espacio dentro de la región.

### **Objetivos Particulares**

- Delimitar las microcuencas existentes dentro de la región y obtener su caracterización morfométrica, con la finalidad de tener una primera evaluación del funcionamiento y aporte ecosistémico del sistema hidrológico de la región.
- Realizar una búsqueda bibliográfica de parámetros físicos y sociales de la cuenca, con la finalidad de obtener indicadores que permitan evaluar los Servicios Ecosistémicos en la zona.
- Con los indicadores físicos y sociales identificados para la cuenca, realizar una caracterización, que permitan evaluar los SE en la región.
- Realizar un análisis de vegetación a partir de imágenes satelitales, con la finalidad de identificar zonas de mayor cobertura vegetal.
- Realizar un análisis de interacciones entre variables usando funciones de valor, que permita identificar zonas potenciales para brindar servicios ecosistémicos que ayuden a determinar zonas prioritarias para la conservación, en función de los cuatro tipos de servicios:
  - de soporte,
  - de regulación,
  - de provisión y
  - culturales.

# **CAPITULO I: BASES TEÓRICAS EN EL ANÁLISIS INTEGRAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

## **I.1 Los Ecosistemas y las Cuencas como Unidad de Análisis**

Desde una perspectiva de sistema, un ecosistema es el resultado de entidades vivas y no vivas que interactúan en el tiempo y el espacio a diferentes escalas jerárquicas. Los ecosistemas son tan pequeños como una gota de agua (o incluso más pequeños como un grupo de bacterias que interactúan en una esquina de una pared celular), o tan grandes como todo el planeta. Desde la misma perspectiva del sistema, un socio-ecosistema es el resultado de la interacción de los seres humanos y los ecosistemas en el tiempo y el espacio a diferentes escalas jerárquicas. Los socio-ecosistemas son tan pequeños como un agricultor con su familia interactuando con su terreno agrícola, y tan grandes como todo el planeta (y más allá, si consideramos los satélites, la Estación Espacial Internacional y otras naves espaciales creadas por humanos que visitan la Luna, Marte y otros planetas) (Maas et al., 2015).

Bajo la perspectiva del párrafo anterior, un ecosistema y los socio-ecosistemas, se puede describir como un sistema complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, microorganismos y el medio ambiente inorgánico que interactúan como una unidad funcional y donde los seres humanos son parte integral de estos (MA, 2003; ). Están estructurados jerárquicamente, de este modo, cuando se requiere describir o entender las dinámicas que ocurren dentro de ellos, es fundamental tener una visión integral de los procesos que se están generando, ya que un ecosistema es parte de un ecosistema mayor que lo contiene y a su vez está conformado por varios subsistemas. Este hecho es la razón por la cual los procesos funcionales en ellos operan a diferentes escalas (espaciales y temporales) y la razón por la cual toda acción que se realice dentro de ellos puede repercutir en ecosistemas adyacentes (Maass, 2003; MA, 2003).

El concepto de ecosistema y a la par los socio-ecosistemas ofrecen un marco valioso para analizar e intervenir en los vínculos que existen entre sociedad y medio ambiente, ya que en ellos se encuentra la clave al entendimiento del sistema de soporte de la vida del planeta y su equilibrado funcionamiento repercute en los diversos servicios que este otorga gratuitamente y de los cuales el hombre depende en su totalidad. Hoy en día, este enfoque

reconoce que los humanos, con su diversidad cultural, son parte integral de muchos ecosistemas (MA, 2003).

Los ecosistemas se conforman de un sistema abierto, donde los límites entre uno y otro no están bien definidos. En el análisis, este factor puede representar un problema al no poder apreciar y controlar las interacciones entre sistemas colindantes. En este sentido, el concepto de cuenca hidrográfica ofrece elementos que permiten definir una unidad de análisis para ellos (Maass y Cotler, 2007), ya que la cuenca, es una superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo, cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros sistemas acuáticos. tienen límites bien definidos (su parteaguas), que permiten aislar de manera eficiente los flujos de entrada y salida del agua gracias a que su topografía hace que todos los escurrimientos drenen a un punto en común (Cotler, 2004). El concepto se aplica a unidades que van desde una superficie agrícola atravesada por un arroyo, hasta las grandes cuencas fluviales o lacustres (FAO, 2009).

Hoy en día, se ha reconocido a las cuencas como unidades ecosistémicas sumamente útiles para el manejo de los recursos naturales (Maass, 2003). Este reconocimiento, ha evolucionado junto con el concepto de ecosistema (Maass y Cotler, 2007), ya que al igual que los ecosistemas, las cuencas están estructuradas jerárquicamente, esto es: una cuenca está conformada por subcuencas y es a su vez, parte de una cuenca mayor. La estructura jerárquica de la cuenca permite establecer un esquema de manejo igualmente jerárquico. Por ejemplo: se pueden establecer planes de manejo generales a nivel de toda la cuenca, y planes particulares a nivel de subcuenca (Cotler *et al*, 2010; Cotler y Priego, 2004).

En la jerarquía de cuencas, estas se pueden clasificar en cuencas, subcuencas y microcuencas, existen al menos dos criterios para definir las: a partir del orden de los tributarios o por su tamaño. Tabla I. 1

*Tabla I. 1. Tamaño relativo de los Sistemas Hidrológicos, tomado de Villon (2004)*

| Unidad Hidrográfica | Área (Km <sup>2</sup> ) | # de Orden |
|---------------------|-------------------------|------------|
| Microcuenca         | > o =100                | 1,2,3      |
| Subcuenca           | 101 - 700               | 4, 5       |
| Cuenca              | más de 700              | 6 o mas    |

## I.2 Servicios Ecosistémicos

Numerosos factores han contribuido a mejorar la calidad de vida de la humanidad, incluyendo importantes ganancias en capital social y manufacturado, mayores eficiencias asociadas con la investigación y el desarrollo de tecnología, el surgimiento de sistemas nacionales y de desarrollo institucional e internacional más efectivos. No obstante, para llegar a obtener estos beneficios, la capacidad humana para explotar los servicios de los ecosistemas ha desempeñado un papel central, las personas han tenido un éxito extraordinario en la mayor parte del mundo para usar estos servicios y satisfacer una amplia gama de necesidades, como alimentos, aire limpio, agua, refugio y protección contra los peligros naturales y realización cultural. En este sentido, a medida que las poblaciones humanas y el bienestar individual han aumentado, también lo ha hecho el consumo de servicios de los ecosistemas, lo que los ha llevado a una mayor demanda para poder proveer a todas las personas (Alcamo *et al.*, 2003).

La demanda de los servicios ecosistémicos para mantener y proveer el crecimiento del bienestar humano ha provocado grandes transformaciones en el uso de suelo de varios ecosistemas importantes, principalmente para satisfacer los servicios de provisión, por lo que han sido particularmente significativos en los sistemas cultivados, donde los cambios más grandes en el pasado reciente han sido el resultado de la intensificación más que de la conversión a gran escala de tierras no cultivadas a la agricultura; en áreas costeras y marinas, donde se han producido cambios debido al aumento de la captura de peces y la adición cada vez mayor de nutrientes en los sistemas costeros; en los bosques y los sistemas tropicales y subtropicales, donde ha habido una tala y transformación sustancial de tierras previamente forestadas para la producción agrícola y maderera (Alder *et al.* 2005; Sze-Choo *et al.*, 2005, Gonzales *et al.*, 2005 y Sarukan *et al.*, 2009);

Los cambios en los ecosistemas modifican la capacidad que tienen los ecosistemas para brindar otros beneficios o servicios que no son tan perceptibles. Esto se debe a que existe una amplia dependencia e interacción entre los organismos y su medio natural. Ejemplos de esto gracias a la ciencia hoy en día existen muchos, tan fácil como decir, que de las millones de especies que habitan en la tierra, la gran mayoría obtiene energía para sustentar su metabolismo, ya sea directamente del sol, en el caso de las plantas, o, en el caso de los animales y microbios, de otros organismos a través de la alimentación de las plantas, la depredación, el parasitismo o la descomposición. En la búsqueda de la vida y a

través de su capacidad para reproducirse, los organismos utilizan energía, agua y nutrientes. Las plantas terrestres obtienen agua principalmente del suelo, mientras que los animales la obtienen principalmente del agua estancada en el medio ambiente o de su alimento. Las plantas obtienen la mayoría de sus nutrientes del suelo o el agua, mientras que los animales tienden a obtener sus nutrientes de otros organismos. Los microorganismos son los más versátiles y obtienen nutrientes del suelo, el agua, sus alimentos u otros organismos. Los organismos interactúan entre sí de muchas formas, incluidas formas competitivas, depredadoras, parasitarias y facilitadoras, como la polinización, la dispersión de semillas y la provisión de hábitat (Sarukan et al., 2009; Espinosa et al. 2008; Granstrand et al., 2020)

Los vínculos mencionados en el párrafo anterior son fundamentales entre los organismos y su entorno físico y biológico, constituyen un sistema en interacción y en constante cambio que se conoce como ecosistema. Los humanos son un componente de los ecosistemas. De hecho, en muchas regiones son el organismo dominante. Sin embargo, sean dominantes o no, los seres humanos dependen de las propiedades de los ecosistemas y de la red de interacciones entre organismos y dentro de los ecosistemas para su sustento, al igual que todas las demás especies y más aún tiene la capacidad de almacenar y codificar información en forma de lenguaje simbólico con una estructura sintáctica de alta complejidad que les permite generar conocimiento y desarrollar tecnología de manera progresiva. Si bien esta tecnología es la que está generando inconvenientes ecológicos, también es la mejor herramienta al momento que se tiene para combatirlos (Mass et al., 2015).

Esta situación es común en todo el planeta. Sin embargo, en México se presenta un caso particular donde se combinan, por un lado, la elevada diversidad biológica y cultural del país, y por otro, un profundo deterioro de los sistemas que albergan esta biodiversidad, con consecuencias negativas para la población humana, aunque bien el desarrollo de la ecología y sus implicaciones para la conservación de la biodiversidad ha tenido un crecimiento detectable y ha aportado conocimientos sobre aspectos básicos de la ecología de especies de fauna y flora que pueden ayudar a establecer principios de conservación, también es real que se tienen algunas áreas dentro de la ecología que requieren mayor exploración generando conocimiento útil para el diseño de estrategias de conservación de comunidades bióticas y de ecosistemas completos, con enfoques emergentes tales como

la ecología de redes complejas de interacciones bióticas, ecología de comunidades, filogenia, ecología de la conservación en paisajes modificados por actividades humanas (List et al., 2017) y el funcionamiento de los servicios ecosistémicos (SE) (Salzman et al., 20018).

Particularmente, en términos de SE, el concepto es relativamente reciente y su desarrollo actual ha recibido una atención creciente. Su principal virtud es que permite el análisis integrado de los aspectos ecológicos y sociales de la gestión de los ecosistemas, así como los problemas ambientales (MA, 2003). También es una excelente herramienta para informar a las partes interesadas y los tomadores de decisiones sobre la dependencia humana de los ecosistemas y la necesidad de estrategias de gestión sostenible (Salzman et al., 2018).

Los servicios ecosistémicos en síntesis, son todos los beneficios que los ecosistemas aportan al bienestar social (ver Figura I. 1), se obtienen principalmente de los procesos y funciones ecológicas propias del mismo, pero también incluyen las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y sus acciones sobre ellos, que además de que influyen directamente en la dinámica funcional de los mismos, generan beneficios específicos tanto para las personas y las comunidades que los habitan, como para las comunidades y sociedad global en general (Balvanera y Cotler, 2009; MA, 2003).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en inglés) pone especial atención a los vínculos que hay entre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano. La evaluación aborda una amplia gama de ecosistemas: desde aquellos relativamente inalterados, como los bosques naturales, hasta paisajes con patrones mixtos de actividad humana y ecosistemas manejados y modificados intensamente por los seres humanos, como los suelos agrícolas y las zonas urbanas.

Una evaluación completa de las interacciones que se producen entre las personas y los ecosistemas requiere de un enfoque multiescala, ya que éste refleja de mejor manera los distintos niveles en los que se aplica la toma de decisiones, permite examinar las fuerzas impulsoras que pueden ser exógenas en determinadas regiones, y ofrece un mecanismo para examinar los impactos diferenciales que tienen los cambios de los ecosistemas y las respuestas de planificación en las diferentes regiones y los grupos que en ellas habitan, en este sentido, nuevamente el enfoque de cuenca, puede facilitar este tipo de análisis.

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio describe los siguientes servicios, dependiendo de la dinámica funcional de los ecosistemas (Balvanera y Cotler, 2009; MA, 2003):

**Soporte:** Son los procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión, de regulación y culturales. Entre estos servicios se encuentran la productividad primaria, que es la conversión de energía lumínica en tejido vegetal, y el mantenimiento de la biodiversidad. Se diferencian de los servicios de provisión, los de regulación y los servicios culturales en que sus impactos en las personas son indirectos o se producen durante un período muy largo, mientras que los cambios en las otras categorías tienen impactos relativamente directos y de corto plazo en las personas. (Algunos servicios, como el control de la erosión, pueden clasificarse como un servicio de apoyo y un servicio de regulación, según la escala de tiempo y la inmediatez de su impacto en las personas). Por ejemplo, los seres humanos no utilizan directamente los servicios de formación de suelo, aunque los cambios en este afectarían indirectamente a las personas a través del impacto en el servicio de provisión durante la producción de alimentos.

**Provisión:** Se trata de bienes tangibles, también llamados recursos naturales o bienes; en esta categoría están incluidos los alimentos, el agua, la madera, las fibras. Estos servicios proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas.

- **Alimentos y fibra.** Esto incluye la amplia gama de productos alimenticios derivados de plantas, animales y microbios, así como materiales elaborados a partir de madera, yute, cáñamo, seda y muchos otros productos derivados de los ecosistemas.
- **Combustible.** La madera, el estiércol y otros materiales biológicos sirven como fuentes de energía.
- **Recursos genéticos.** Esto incluye los genes y la información genética utilizados para la cría de animales y plantas y la biotecnología.
- **Bioquímicos, medicinas naturales y farmacéuticas.** Muchos medicamentos, biocidas, aditivos alimentarios como alginatos y materiales biológicos se obtienen de los ecosistemas.

- **Recursos ornamentales.** Los productos de origen animal, como pieles y conchas, y flores se utilizan como adornos, aunque el valor de estos recursos a menudo se determina culturalmente. Este es un ejemplo de vínculos entre las categorías de servicios de los ecosistemas.
- **Agua dulce.** El agua dulce es otro ejemplo de vínculos entre categorías, en este caso, entre servicios de provisión, regulación y soporte.

**Regulación:** Se incluyen procesos ecosistémicos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades productivas. En general se puede decir que en esta categoría se incluyen la regulación climática, hídrica, la regulación de los vectores de enfermedades, la regulación de la erosión de los suelos, entre otros. Algunos de ellos se mencionan a continuación:

- **Mantenimiento de la calidad del aire.** Los ecosistemas contribuyen y extraen sustancias químicas de la atmósfera, lo que influye en muchos aspectos de la calidad del aire.
- **Regulación climática.** Los ecosistemas influyen en el clima tanto a nivel local como global. Por ejemplo, a escala local, los cambios en la cobertura terrestre pueden afectar tanto a la temperatura como a las precipitaciones. A escala mundial, los ecosistemas desempeñan un papel importante en el clima al secuestrar o emitir gases de efecto invernadero y son la clave para afrontar el Cambio Climático.
- **Regulación del agua.** El momento y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones y la recarga del acuífero pueden verse fuertemente influenciados por los cambios en la cobertura terrestre, incluidas, en particular, las alteraciones que cambian el potencial de almacenamiento de agua del sistema, como la conversión de humedales o la sustitución de bosques por tierras de cultivo o tierras de cultivo con áreas urbanas.
- **Control de la erosión.** La cobertura vegetal juega un papel importante en la retención del suelo y la prevención de deslizamientos de tierra.
- **Depuración de agua y tratamiento de residuos.** Los ecosistemas pueden ser una fuente de impurezas en el agua dulce, pero también pueden ayudar a filtrar y descomponer los desechos orgánicos introducidos en las aguas continentales y los ecosistemas costeros y marinos.

- **Regulación de enfermedades humanas.** Los cambios en los ecosistemas pueden cambiar directamente la abundancia de patógenos humanos, como el cólera, y pueden alterar la abundancia de vectores de enfermedades, como los mosquitos.
- **Control biológico.** Los cambios en los ecosistemas afectan la prevalencia de plagas y enfermedades de los cultivos y el ganado.
- **Polinización.** Los cambios en el ecosistema afectan la distribución, abundancia y efectividad de los polinizadores.
- **Protección contra tormentas.** La presencia de ecosistemas costeros como manglares y arrecifes de coral puede reducir drásticamente el daño causado por huracanes o grandes olas.

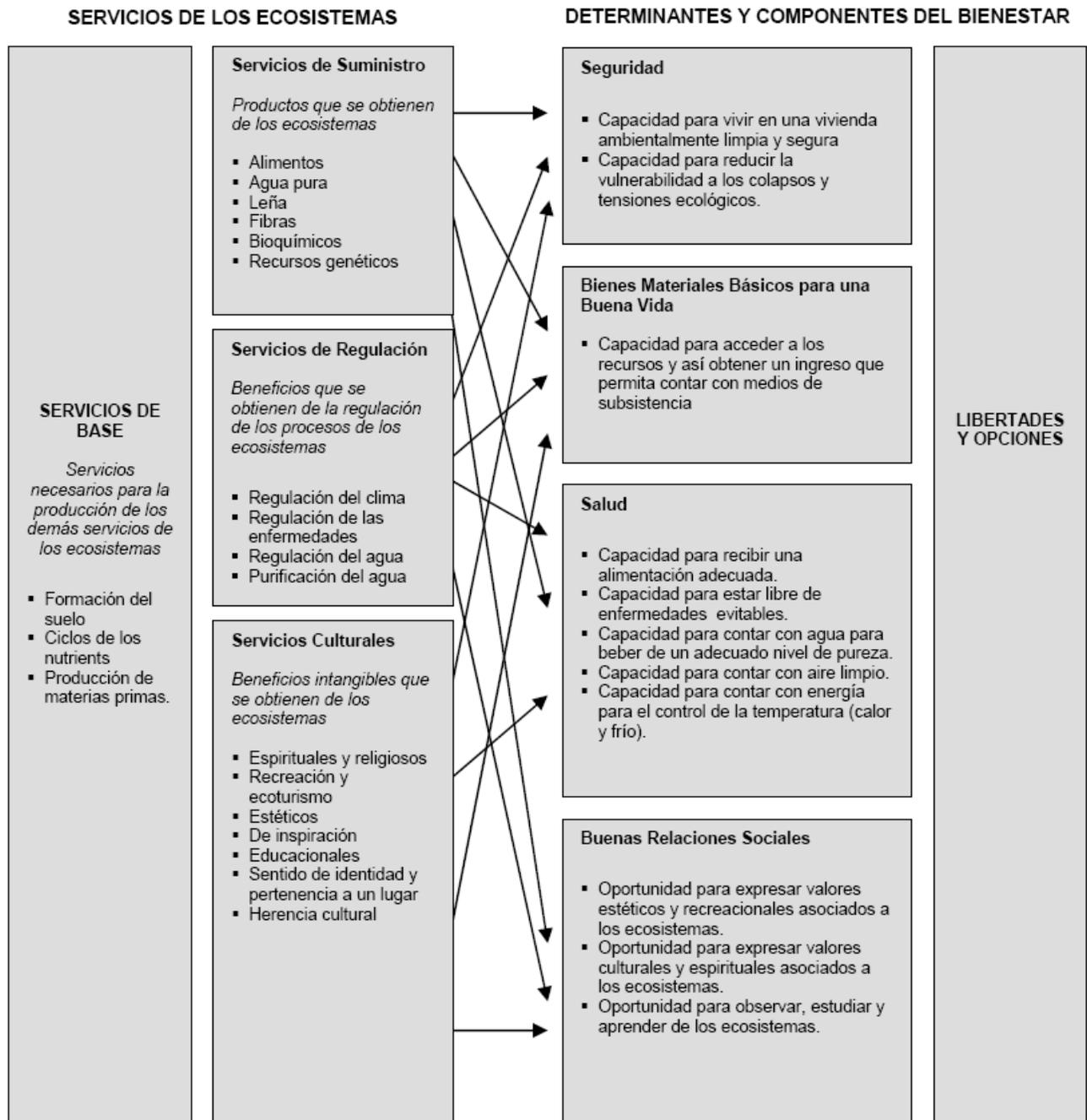
**Culturales:** Beneficios que dependen de las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes, los cuales pueden ser materiales o no materiales, tangibles o intangibles. Los beneficios espirituales, recreativos o educativos que brindan los ecosistemas se consideran en esta categoría.

Estos son algunos de los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas, que incluyen:

- **Diversidad cultural.** La diversidad de ecosistemas es un factor que influye en la diversidad de culturas.
- **Valores espirituales y religiosos.** Muchas religiones atribuyen valores espirituales y religiosos a los ecosistemas o sus componentes.
- **Sistemas de conocimiento (tradicionales y formales).** Los ecosistemas influyen en los tipos de sistemas de conocimiento desarrollados por diferentes culturas.
- **Valores educativos.** Los ecosistemas y sus componentes y procesos proporcionan la base para la educación formal e informal en muchas sociedades.
- **Inspiración.** Los ecosistemas proporcionan una rica fuente de inspiración para el arte, el folclore, los símbolos nacionales, la arquitectura y la publicidad.
- **Valores estéticos.** Muchas personas encuentran belleza o valor estético en varios aspectos de los ecosistemas, como se refleja en el apoyo a los parques, los “recorridos escénicos” y la selección de ubicaciones de viviendas.

- **Relaciones sociales.** Los ecosistemas influyen en los tipos de relaciones sociales que se establecen en culturas particulares. Las sociedades pesqueras, por ejemplo, difieren en muchos aspectos en sus relaciones sociales de las sociedades agrícolas o de pastoreo nómadas.
- **Sentido de lugar.** Muchas personas valoran el "sentido de lugar" asociado con las características reconocidas de su entorno, incluidos los aspectos del ecosistema.
- **Valores del patrimonio cultural.** Muchas sociedades valoran mucho el mantenimiento de paisajes de importancia histórica ("paisajes culturales") o de especies de importancia cultural.
- **Recreación y ecoturismo.** Las personas a menudo eligen dónde pasar su tiempo libre basándose en parte en las características de los paisajes naturales o cultivados en un área en particular.

Figura I. 1. Servicios que ofrecen los ecosistemas y sus vínculos con el bienestar humano. Tomado de (MA, 2003)



La teoría y la práctica dicen que los cambios que experimenten estos servicios afectan de diversas maneras el bienestar humano (MA, 2003). La agricultura, la pesca y la explotación forestal, han sido el pilar básico de las estrategias de desarrollo de los países

durante siglos. En general, estos cambios se han llevado a cabo para resolver las crecientes necesidades de alimentos y agua para los humanos, aunque el modelo de desarrollo económico basado en el capital, de alguna manera ha promovido que incluso la extracción de los recursos exceda las necesidades de la sociedad y por lo tanto, estos beneficios se han conseguido a costos cada vez mayores, causando la degradación de muchos servicios de los ecosistemas y provocando aumento en la pobreza, desigualdad y riesgos en la salud e integridad de las personas (Janetos y Kasperson, 2005).

El planteamiento basado en el concepto de SE parte de analizar el valor intrínseco o utilitario que presentan los ecosistemas y con ello sopesar el beneficio que aportan a la sociedad (MA, 2003). En este sentido, se plantea concientizar el uso que se le da a los bienes que brindan los ecosistemas, con la finalidad de armonizar y racionalizar el manejo en pro del bienestar humano y el mismo ecosistema, visualizando las consecuencias a corto mediano y largo plazo de las acciones que se planteen realizar (MA, *op cit*).

Los servicios ecosistémicos y su aplicación para la toma de decisiones dependen de un mejor entendimiento del vínculo de las personas con los ecosistemas bajo distintos contextos socioeconómicos y ambientales. En este sentido, el presente trabajo se toman como premisas el concepto de cuenca ligado al entendimiento integrado del funcionamiento de los ecosistemas y considera a los SE por su vínculo con el bienestar humano, para realizar un análisis integral que facilite la identificación de sitios clave para el bienestar social.

### **I.3 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota en el Análisis Espacial**

Se denomina análisis espacial a los métodos y técnicas que emplean información referida al espacio para derivar medir, calcular o estimar propiedades de los fenómenos espaciales o de los eventos que intervienen en dichos fenómenos (Morales, 2009). Desde la perspectiva funcional, los SIG se conciben como sistemas de apoyo a la decisión espacial. No obstante, convencionalmente el éxito del análisis espacial requiere de la aplicación de las técnicas o métodos que dependen enteramente del conocimiento que el usuario tenga de estos o de la disponibilidad y calidad de los datos requeridos, así como de la sofisticación de las herramientas empleadas (Morales, 2009).

Los sistemas naturales, se distribuyen sobre el espacio; por lo tanto pueden ser analizados y posteriormente representados en mapas como parte del resultado. En la actualidad, una forma de almacenar y analizar este conjunto de datos es mediante los sistemas de información geográfica (SIG), de esta manera, resulta posible relacionar en forma coherente y sistemática los datos de localización de los sistemas con sus características descriptivas, cuantitativas y cualitativas. Este hecho ofrece una visión integral y territorial de los datos (en su localización geográfica, y en sus características temáticas), lo cual permite mejorar las técnicas analíticas, incluyendo las estadísticas y las geoestadísticas (Bocco, 2004).

Por otro lado, las técnicas de teledetección o percepción remota, puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. En este sentido, la teledetección permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. Dichas imágenes resultan una herramienta clave en el análisis de recursos naturales (Chuvieco, 1996).

El presente trabajo, se apoya en las tecnologías antes mencionadas para llevar a cabo el análisis de los Servicios Ecosistémicos presentes en la zona de estudio.

## **CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO DE LOS INDICADORES AMBIENTALES**

### **II.1. Zona de estudio**

La cuenca de estudio pertenece a la Región Hidrográfica del Papaloapan, particularmente constituye uno de los afluentes de mayor altitud de la subcuenca del Río Quiotepec entre los 595 msnm a los 3354msnm. Cuenta con una población de 32, 864 habitantes distribuidos en 38 municipios. Por su cultura, y su alta diversidad de grupos étnicos es reconocida como una región con presencia indígena, donde se tiene identificada a la Familia Oto-mangue con al menos diez variantes lingüísticas entre chinanteco, cuicateco, mixteco y zapoteco.

La cuenca pertenece a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, el cual es el sistemas montañosos de carácter orogénico más complejo del país, por la variedad de las rocas y estructura que lo constituyen: intrusivas, volcánicas, sedimentarias y metamórficas, de edades variadas. En la cuenca de estudio particularmente se presenta un relieve montañoso con pendientes que van desde los 0° a 72°, está afectado por una disección intensa que se manifiesta en aéras concentraciones de corrientes fluviales y valles profundos conformados a partir de un sistema geológico representado por rocas de diversos tipos y diferentes edades, que van desde el paleozoico, mesozoico y cenozoico.

También es parte de la Región Terrestre Prioritaria Sierra de Juárez la cual se trata de una región importante por la gran diversidad de ambientes interconectados debidos a la compleja fisiografía. Representa una región cuya superficie se encuentra cubierta por grandes extensiones de bosque. Desde el punto de vista ecológico ofrece un importante aporte de servicios ecosistémicos dada su notable diversidad biológica y su gran capacidad de captación de agua, que es recargada por la fuerte precipitación pluvial que a su vez alimenta a uno de los ríos más importantes de México, el Papaloapan (Pérez, 2008).

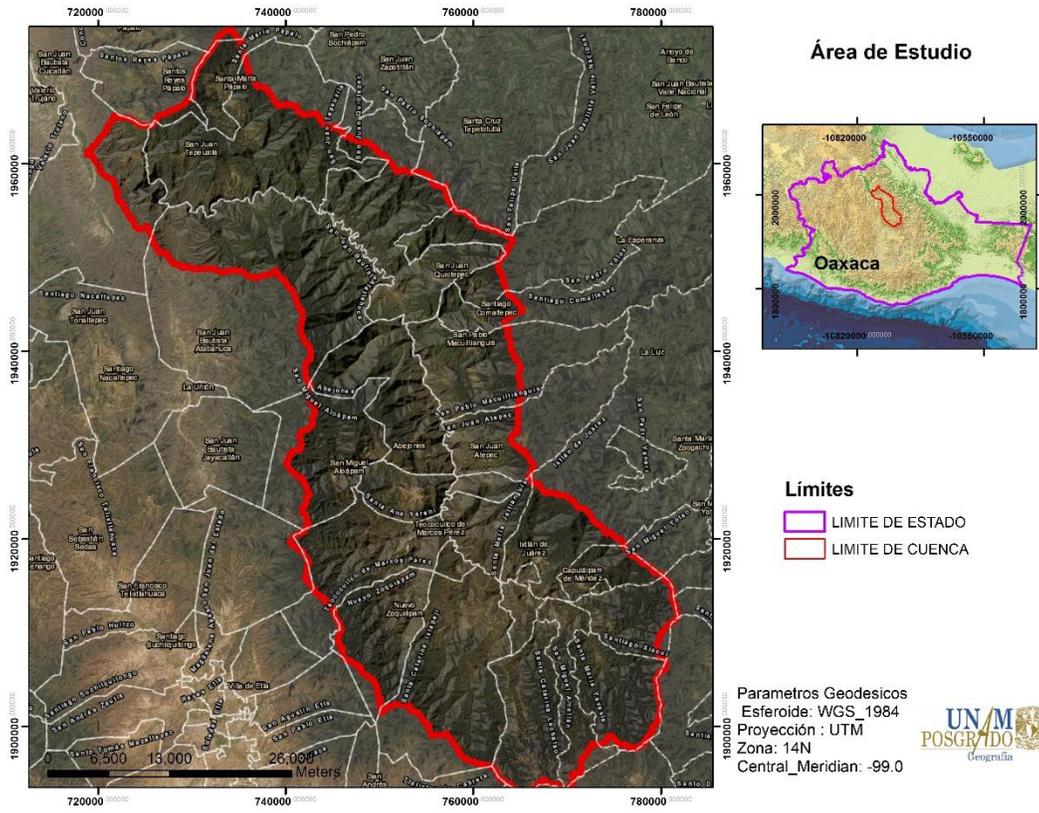


Figura II. 1. Área de Estudio

El 82% de la cuenca se constituye por bosques y selvas, donde la más representativa con el 35.30% son los bosques de coníferas, seguidas de los bosques de encino con una ocupación del 26.77%. Esto ha hecho de esta zona una importante fuente para el aprovechamiento forestal. Por otro lado, si bien la agricultura no es una actividad principal si ocupa el 16.61% del área como se muestra en la siguiente grafica.

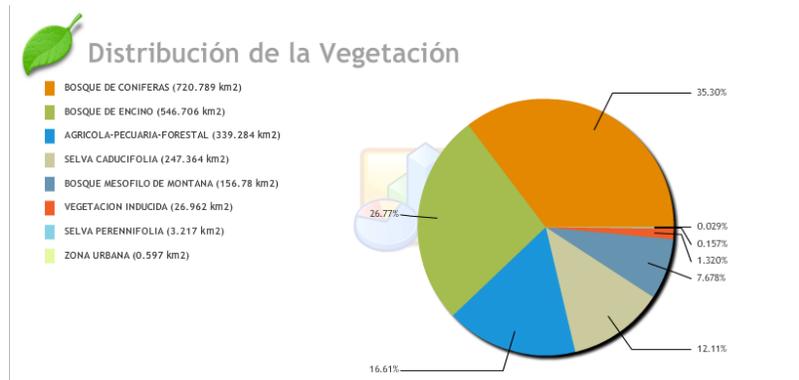
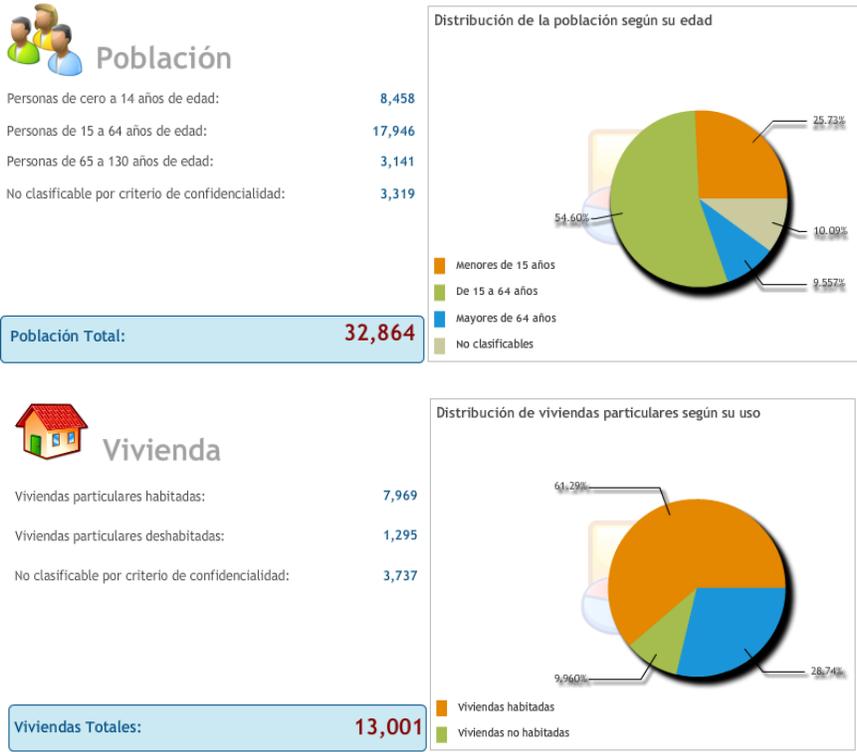


Figura II. 2. Distribucion de la vegetación en la cuenca de estudio (SIATL, INEGI).

En cuanto a la población, la cuenca tiene un total de 32,864 habitantes. Esto resulta en una densidad de 16 habitantes por km2. No obstante la distribución de la población no es homogénea y se tienen áreas con mayor concentración de población que otras, así como áreas sin población. La localidad con mayor número de habitantes correspondiente a Ixtlán de Juárez, cuenta con una población total de 2718, seguida de la localidad Guelatao de Juárez con 517 habitantes. En total la cuenca presenta un total de 38 municipios y 116 localidades

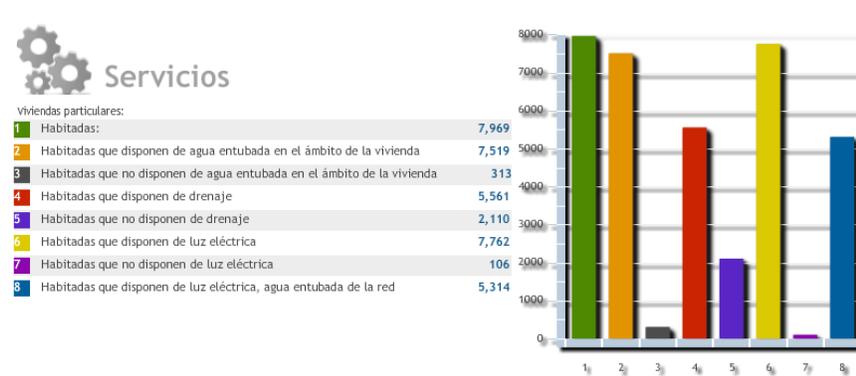
El 54% de la población puede considerarse como población activa entre los 15 y 64 años de edad, 25.73% pertenece a población menor a los 15 años y solo un 9.56% es mayor de 64 años. Se tiene un total de 13 001 viviendas particulares, la mayoría habitadas (ver figura 3)..



**Figura II. 3. Poblacion y vivienda en la cuenca del area de estudio (SIATL, INEGI)**

En general, la mayor parte de la población presenta altos niveles de marginación lo cual deriva en una gran deficiencia en servicios básicos en la vivienda. De las 7969 viviendas habitadas solo 5314 cuenta con luz eléctrica y agua entubada, mientras que se tienen 2110 que no disponen de drenaje, 106 que no cuentan con luz eléctrica y 303 que no

disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura II. 4. Servicios basicos con los que disponen las viviendas dentro de la cuenca de estudio (SIATL, INEGI)**

Finalmente cabe destacar que el territorio presenta una amplia diversidad cultural, y se considera un territorio con presencia indígena, la mayoría de las poblaciones son de la agrupación lingüística zapoteco de la familia oto-mangue, aunque también se encuentran grupos de mixtecos, cuicateos y chinantecos. En general constituyen nueve variantes indígenas (INEGI, 2010 y SNIB, 2015).

## II.2. Métodos

Para la región de estudio, se realizó una selección de variables en función de la disponibilidad de datos espaciales y de su relevancia en términos de SE, para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica en distintas bases de datos geográficas (ver **Anexos**, observables). Las variables encontradas se ordenaron en una tabla según los criterios de Curtis (2000), por ser un método que de manera general permite ordenar en una tabla, la secuencia lógica de los procesos que se deben llevar a cabo para obtener los resultado, Así, se tiene al grupo de observables que representan los análisis que se pretenden llevar a cabo; los observables que son las variable que se requieren para poder llevar a cabo el análisis y finalmente **la muestra**, que representa la forma o el método a partir del cual se obtendrán las variables y los resultados esperados (ver **Anexos** ).

### II.3. Variables, Funciones de Valor y Normalización

Para procesar la información a partir de las cuales se obtuvo el análisis de los SE en la zona de estudio, se preparó un Sistema de Información Geográfica en combinación con técnicas de Percepción Remota utilizando el Software ArcGis, versión 10.1 y ENVI versión 5.1 (2013) (los procedimientos se describen en este capítulo). Finalmente, algunas operaciones entre variables se llevaron a cabo usando dinámica de tablas en Excel 2013.

De cada una de las variables obtenidas, un aspecto a considerar en la definición de atributos es el referente a la naturaleza de la información geográfica que debe ser manipulada y analizada en un SIG. Los datos geográficos pueden ser expresados en cuatro unidades básicas de medida:

**Nominal:** Lista desordenada de categorías o clases descriptivas, la única relación que se establece es la de igualdades o desigualdad entre categorías.

**Ordinal:** Lista de clases jerarquizadas, es decir, se establecen además una relación mayor/menor

**Intervalo:** lista de clases jerarquizadas que indica las distancias que separan entre sí a las entidades pero que tienen un cero arbitrario.

**Razón:** lista de clases jerarquizadas que si cuenta con un cero u origen absoluto de la variable

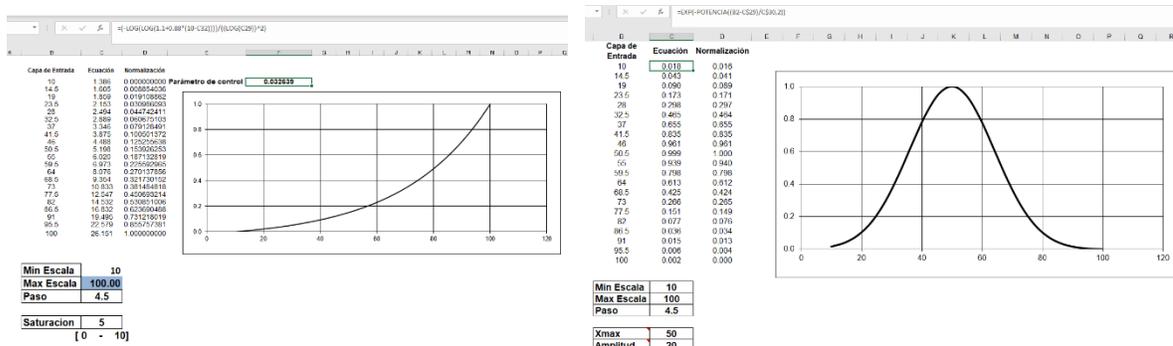
En todo el análisis geográfico las unidades de observación pueden estar caracterizadas por conjunto de variable expresadas en diversas escalas de medida. Desde el punto de vista cuantitativo por ejemplo, la precipitación tiende a expresarse en una escala de razón y la temperatura se maneja en una escala de intervalo. De igual manera, existe información geográfica como el tipo de ocupación del suelo que se manifiesta en forma nominal. Sin embargo en algunos casos como el que confiere al presente estudio, se requiere que todos los criterios se expresen en una escala de razón única para poder ser comparados. Es por ello que se hace necesaria la transformación de variables para que puedan ser evaluadas entre sí y una vez transformadas a una escala numérica común (Gomez, 2009). En este sentido, las variables en este estudio han sido transformadas en variables cuantitativas y de razón, se les ha aplicado una función de valor dependiendo del comportamiento de la variable con respecto al fin analizado y han sido finalmente normalizadas.

Una función de valor busca unificar las unidades de los distintos indicadores a través de una escala de satisfacción. Dicha unificación se lleva a cabo en un intervalo entre 0 y 1 donde 0 representa el valor más bajo, 0.5 valor medio y 1 el valor de mayor jerarquía en este caso el valor óptimo para lo que se esté buscando. Para poder relacionar las distintas variables en el análisis de SE, se usaron funciones de valor y normalización basadas en el rango y comportamiento de las variables de acuerdo a la siguiente Tabla II. 1.

**Tabla II. 1. Funciones de valor usadas en el proceso de Normalización de las variables**

| FUNCIÓN                    | ECUACIÓN                                                                                         |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cóncava creciente</b>   | $\text{Exp}(\text{Parámetro\_control} * [\text{capa\_entrada}])$                                 |
| <b>Convexa creciente</b>   | $1 - \text{Exp}(- \text{Parámetro\_control} * [\text{capa\_entrada}])$                           |
| <b>Campana</b>             | $\text{Exp}(- \text{Pow}(\frac{([\text{capa\_entrada}] - X_{\text{max}})}{\text{Amplitud}}, 2))$ |
| <b>Campana inversa</b>     | $\text{Exp}(- \text{Pow}(\frac{([\text{capa\_entrada}] - X_{\text{min}})}{\text{Amplitud}}, 2))$ |
| <b>Convexa decreciente</b> | $1 - \text{Exp}(\frac{([\text{capa\_entrada}] - 30)}{\text{Parámetro\_control}})$                |
| <b>Cóncava decreciente</b> | $\text{Exp}([\text{capa\_entrada}] * - \text{Parámetro\_control})$                               |

El parámetro de control, Xmin, Xmax y la amplitud , representa en estas funciones un parámetro de ajuste en la curva y está definido dependiendo de los valores de cada variable y del comportamiento de la misma. Para obtener este valor de ajuste en cada variable se usó un programa de funciones de valor elaborado en Excel y proporcionado por el INIFAP (Cruz-Bello *com pers*), tal como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura II. 5. Esquemas de los programas usados para aplicar las funciones de valor y normalizar las variables Modelo lineales y no lineales y Modelo en forma de campana**

Donde:

**Parámetro de control para una función Creciente=**

$$(-\text{LOG}(\text{LOG}(1.1+0.88*(10-\text{saturación}))))/((\text{LOG}(\text{máxima escala}))^2)$$

**Parámetro de control para una función decreciente=**

$$10^{(3/10*(\text{LOG}(\text{Máxima escala}^5)-\text{saturación}))}$$

**Saturación=** Factor de ajuste de la exponencial (que tan curva o lineal es el comportamiento de la variable se representa en una escala entre 0 - 10)

**Máxima Escala:** Valor máximo representado en la variable a analizar

**Mínima Escala:** Valor mínimo representado en la variable a analizar

**Paso (intervalo de valores entre un valor tabulado y otro=**

$$(\text{Escala Máxima} - \text{Escala Mínima}) / 20$$

(20 representa el intervalo que existe entre 21 valores tabulados ver figura 2)

**Campana**

**Xmax:** media, mediana, moda o valor optimo

**Amplitud:** grado o nivel de apuntalamiento o achatamiento de la curva, desviación estándar de acuerdo a la variable analizada.

Lo que representa esta función de valor es el rango de la variable (en el ejemplo de la Figura II. 5) es de 10 a 100), y nos indica que conforme aumenta el valor de la variable, el estado de la variable se vuelve el más adecuado para la actividad que se esté analizando (cuando llega a 1.0). Una vez obtenido el parámetro de control o los valores de la curva, estos se sustituyen en las ecuaciones de la tabla dos mediante un SIG y aplicados a la variable de interés.

Las funciones de valor para obtener el parámetro de control de cada variable en este estudio se presentan en el **Anexo 5**

Posteriormente, aunque el valor de los criterios se encuentre expresado en valores de razón en cada variable, estos valores pueden ser mutuamente incompatibles si las escalas

y las unidades de medida difieren entre sí. En este sentido, la normalización resulta especialmente importante para producir una compensación entre los diferentes valores, la ecuación usada en este trabajo es la siguiente:

$$Normalización = \frac{(\text{dato}_{\text{entrada}} - \text{Mínimo})}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

Este proceso de normalización resta a cada valor del criterio considerando el valor mínimo que presenta dicho criterio y se divide entre el rango de los datos. se interpreta como el porcentaje del rango y garantiza que los valores normalizados si cubrirán el intervalo (0, 1), esto es, que el peor valor será 0 y el mejor 1.

Finalmente en cuanto a la escala espacial de las variables, se requiere hacer uso de técnicas que ayuden a evaluar a nivel regional, los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas. No obstante, uno de los problemas que limita este tipo de análisis, es la falta de información ambiental con suficiente grado de detalle que permita analizar y generar información a escala detallada, mientras que resulta muy costoso en tiempo y recurso generar información directamente de campo que ayude a validar los datos. Ante esta situación, se requiere, hacer uso de información de distintas escalas y por lo tanto, trasladar información de escalas finas a otras más gruesas con la finalidad de disminuir la omisión de la heterogeneidad espacial. En la integración de diversas fuentes o niveles de observación, viene implícito un escalamiento de modelos (King et al., 1991).

## II.4 Descripción de Variables y su Relevancia para el Análisis de los Servicios Ecosistémicos.

### II.3.1 .Delimitación de Microcuencas y Caracterización Morfométrica

La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del parteaguas (puntos de mayor nivel topográfico), que representan una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en cada sistema, este escurrimiento fluye hacia el punto de salida de la cuenca (Villón, 2004).

En este trabajo, el procedimiento para delimitar la cuenca de interés y a su vez las microcuencas dentro de ella, se llevó a cabo con ayuda del Software ArcGis 10.1 y su

extensión ArcSWAT 2012.10.18 del modelo SWAT2005<sup>2</sup>. La delimitación de la cuenca en microcuencas permite referirse a distintas áreas de la vertiente de acuerdo al espacio y así facilitar el análisis en diversas áreas dentro de la misma con diferentes tipos de uso de suelo (Uribe, 2010). SWAT pide un parámetro de referencia para generar el tamaño de las cuencas (Eitsch, *et al.*, 2002). este fue de 1,000 ha (microcuencas) (Villón *op cit.*, 2004). El programa requiere de un Modelo Digital de Elevación y un archivo shapefile de ríos para poder realizar el procedimiento. Se usó el MDE de INEGI con una resolución espacial de 15m (INEGI, 2006) y la capa vectorial hidrológica 1:50 000 obtenida del portal de SIATL (INEGI, 2010). Cabe mencionar que la cuenca principal se delimitó desde el portal del SIATL y posteriormente con ayuda de la herramienta ARCSWAT 2012.10.18 se recortó la zona obteniendo solo el brazo correspondiente a la parte más alta de la cuenca R. Quiotepec. Para fines de este trabajo se usó únicamente el módulo *Watershade Delineator*, el cual, además de la función para identificar y delimitar subcuencas, contiene funciones para el cálculo de parámetros geomorfológicos de cada una de ellas (Winchell *et al*, 2009). Las variables geomorfológicas obtenidas con SWAT se usaron para realizar una caracterización morfométrica que al mismo tiempo dada la resolución de 15m del MDE ayudo a obtener información de las características de la zona a nivel de microcuenca.

La morfometría, resulta ser una herramienta clave en el análisis fisiográfico de una cuenca, (sobre todo cuando se carece de información a detalle en la zona de estudio), ya que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento y comportamiento de una cuenca a partir de la descripción de algunas de sus características físicas que guardan una estrecha relación con los procesos de modelación del paisaje (Aparicio, 1992; Breña y Jacobo, 2006; Fuentes, 2004; Geissert y Enríquez, 2004; Jardí, 1985; Ortiz, 2004; Villón, 2004).

La importancia de las variables geomorfológicas usadas para generar el análisis morfométrico se explican a continuación:

---

<sup>2</sup>SWAT 2005 por sus siglas en ingles ***Soil and Water Assessment Tool*** es un modelo de simulación hidrológica, desarrollado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en conjunto con la Universidad de Texas (Arnold et al. 1998). Fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la generación de agua, sedimentos y producción de sustancias agrícolas químicas, en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, uso de tierra y condiciones de manejo sobre un tiempo prolongado.

**Área de la Cuenca (A):** Es la medida de la superficie de una cuenca de drenaje. Del área de la cuenca depende el volumen de captación, los escurrimientos y la magnitud del caudal (Jardí, 1985).

**Pendiente (slo1) %:** Es el promedio de las pendientes de la cuenca, es un parámetro muy importante que determina el tiempo de concentración, su influencia en las máximas crecidas y el potencial de degradación de la cuenca (ver Tabla II. 2), sobre todo en terrenos desprotegidos de cobertura vegetal (Ortiz, 2004). A partir de la inclinación se puede clasificar la pendiente de acuerdo a su grado de erosión y el tipo de geoforma, por lo que pendientes bajas entre 0 y 5 % corresponden a planicies inclinadas con poca remoción; de 5 a 10 % son planicies inclinadas o ligeramente inclinadas de lomeríos con remoción moderada; de 10 a 17% coincide con la franja donde se fusiona el piedemonte y las laderas de montaña y corresponden a pendientes fuertemente inclinadas, porcentajes mayores que representan zonas con alta capacidad erosiva (Siebe y Jahn, 1996 ; Fernandez, 2009). Considerando esta explicación, la variable fue usada en el cálculo de la erosión dentro de los SE de regulación.

*Tabla II. 2. Clasificación de la pendiente según su complejidad. Tomado de Siebe y Jahn (1996 )*

| Pendiente  |           | Relieve                 |                        |
|------------|-----------|-------------------------|------------------------|
| Porcentaje | Grados    | Pendiente sencilla      | Pendiente compleja     |
| 0-2        | 0-0.5     | Casi plano              | Casi plano             |
| 2-4        | 0.5-2     | Ligeramente inclinado   | Ligeramente ondulado   |
| 4-9        | 2-5       | Moderadamente inclinado | Moderadamente ondulado |
| 9-18       | 5-10      | Fuertemente inclinado   | Fuertemente ondulado   |
| 18-27      | 10-15     | Escarpado moderado      | Escarpado moderado     |
| 27-36      | 15-20     | Escarpado               | Escarpado              |
| más de 36  | más de 20 | Muy escarpado           | Muy escarpado          |

**Longitud del Cauce Principal (L):** Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, medido desde la parte más alta de la cuenca hasta la salida. Este parámetro tiene relación directa con el tiempo de concentración de la cuenca, el mismo que depende de su geometría, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Al igual que el área de la cuenca es clave en el cálculo de otras variables que facilitan la caracterización (Horton, 1932; Ortiz, 2004).

**Pendiente de cauce principal (P) en %:** Es el promedio de las pendientes del cauce principal. Este parámetro se relaciona directamente con la magnitud del socavamiento o erosión en profundidad y con la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y de arrastre, fenómenos que brindan servicios de regulación en los ecosistemas es por ello que esa variable se usó para evaluar la erosión en los SE de regulación. Así mismo, también es una variable que ayuda a determinar la concentración del agua en el espacio, razón por la cual se ha incluido en el análisis de provisión de agua, ya que a mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración en el espacio. En general la pendiente del cauce principal es menor que la pendiente de la cuenca (Ortiz *op cit*, 2004).

Una vez que se obtuvieron las variables geomorfológicas, estas fueron utilizadas para obtener una clasificación morfométrica (**AnexOA**). A continuación, se describen los parámetros morfométricos usados como apoyo para evaluar los SE en la zona de estudio.

**Elevación y Desnivel altitudinal (H) en m:** La altitud se puede expresar en rangos o pisos altitudinales los cuales representan cambios en los ecosistemas conforme se cambia de piso altitudinal. Una cuenca con mayor número de pisos altitudinales manifiesta mayor heterogeneidad ambiental dada la variación en su precipitación y temperatura. En este sentido la *H* es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja (Horton, 1932; Ibañez et al., 2011). Es un indicador que se relaciona con los SE de soporte al brindar de forma indirecta información sobre la heterogeneidad ambiental.

$$H = H_{my} - H_{mnr}$$

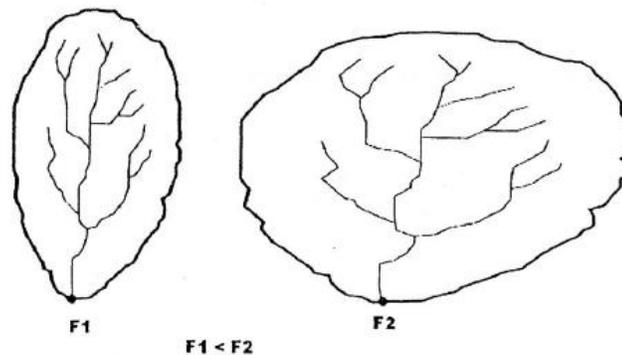
*H<sub>my</sub> = mayor elevación reportada en la cuenca*

*H<sub>mnr</sub> = menor elevación reportada en la cuenca*

**Factor de Forma (Ff):** Es uno de los parámetros que explica la elongación de la cuenca. Indica la relación entre el área de la cuenca (A) en km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal en km<sup>2</sup>. Un valor de Ff superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas (Horton, 1932). En términos generales, si una cuenca tiene un Ff mayor que otra, existe mayor posibilidad de tener una tormenta intensa simultánea, sobre toda la extensión de la cuenca (Figura II.

6). En este sentido, mide la tendencia hacia las crecidas rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas según su valor tienda a valores extremos-grandes o pequeños respectivamente. Es un indicador relacionado con los SE de provisión y regulación de agua por lo que se ha usado en este estudio para su evaluación. Sin embargo, el indicador se encuentra condicionado principalmente por la pendiente, la permeabilidad del suelo y la vegetación; ya que por ejemplo, para cuencas de drenaje de forma irregular y especialmente aquellas con suelos permeables, el Ff podría no ser un indicador sensible de las características hidrológicas (Horton, 1932).

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$



**Figura II. 6.** Imagen que ilustra el factor de Forma donde se muestra el grado de achatamiento de una cuenca, tomado de Villon, op cit (2004)

**Coefficiente de Masividad o Martone CM:** Surge como apoyo al valor de la altura media (*Hmed*) en Km ya que este valor por sí mismo no es representativo del relieve, pues existen cuencas con igual elevación y relieves completamente distintos. El CM es el cociente entre la *Hmed* y el área proyectada de la cuenca en Km<sup>2</sup>, el resultado expone cuencas más o menos montañosas mientras aumenta el valor (ver anexo 2).

$$CM = \frac{Hmed}{A}$$

**Coefficiente orográfico (Co):** Mejora CM, permite reflejar la influencia del relieve en la degradación. Es el producto de la altura media (*Hmed*) por su coeficiente de masividad. El resultado es alto para cuencas de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos, en otras palabras, crece mientras la altura media del relieve aumenta y la

proyección del área de la cuenca disminuye. Por esta razón toma valores altos en microcuencas pequeñas y montañosas (Ortiz, 2004; Ortiz et al., 2015; ).

$$Co = Hmed * CM$$

Se uso para evaluar el potencial erosivo de la cuenca en los SE de regulación, considerando que este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, crece mientras que la altura media del relieve aumenta y la proyección del área de la cuenca disminuye por lo que valores altos son indicativos de gran capacidad erosiva (Ortiz, 2004; Ortiz et al., 2015).

Para complementar el análisis morfométrico, se usó la carta vectorial Hidrológica 1: 50 000 de INEGI, 2010. La carta contiene en la tabla de atributos información referente a las características de la corriente. Para este trabajo se usó la longitud y condición de la corriente, a partir de la cual se obtuvo la densidad de corrientes en general y la densidad de corrientes perennes por microcuenca.

**Densidad de drenaje (Dd):** Es la suma de las longitudes de los tributarios (Tr) en km, dividida por el valor del área (A) de la cuenca en km<sup>2</sup> y se define a partir de la expresión.

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

Este parámetro brinda información referente a la complejidad ambiental y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca, así como a las condiciones climáticas y litológicas de la región. En este sentido, valores elevados, hablan de un régimen pluvial elevado con una litología fácilmente erosionable, pendientes fuertes, grandes volúmenes de escurrimiento, mayores velocidades de desplazamiento y alta heterogeneidad ambiental ya que refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y de vegetación (Breña y Jacobo, 2006; Fuentes, 2004; Geissert y Enríquez, 2004; Jardí, 1985; Villón, 2004; Horton, 1945). En este estudio se usó esta variable para evaluar la heterogeneidad ambiental en los SE de Soporte

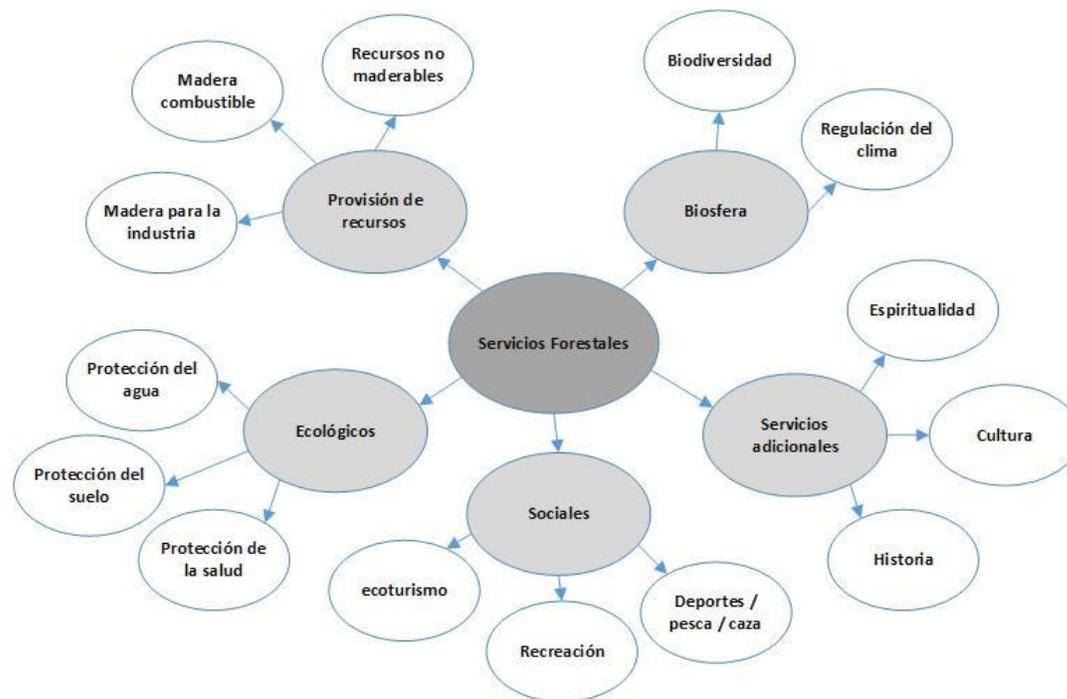
La clasificación de la Dd varía entre distintos autores, aunque todos concuerdan en que un valor de 2 km/km<sup>2</sup> es un valor alto de Dd. Esta variable resulta ser útil como indicador indirecto de la complejidad ambiental.

**Densidad de drenaje perenne** Representa la relación entre la longitud de las corrientes perennes y el área de la cuenca. Las corrientes perennes son cuerpos de agua constante

a lo largo de todo el año. En una corriente perenne el punto más bajo del cauce se encuentra siempre bajo del nivel de aguas freáticas. Estas corrientes transportan agua durante todo el año y siempre están alimentadas totalmente o parcialmente por el agua subterránea, es decir son afluentes (Aparicio, 1992). Entre mayor sea la densidad de corrientes perennes mayor aporte de agua. Para el presente trabajo se consideró la mínima densidad de corrientes perennes como un valor medio en el SE referente al aporte de agua.

#### *II.4.1. Análisis de Cobertura Vegetal .*

La cubierta vegetal, entendida aquí como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre y para términos de este trabajo con exclusión de tierras utilizadas para prácticas agrícolas, se clasificó en este trabajo dentro de los SE forestales, que a su vez pertenecen a los SE de Soporte (Hassan et al., 2005). Esta mención otorga a la vegetación en general, un gran peso cuando se habla del mantenimiento de la vida en la tierra, pues de ella, dependen una gran cantidad de SE sin los cuales la vida no podría existir como la conocemos. Estos servicios incluyen la **conservación del suelo**, al proteger los paisajes contra la erosión y los deslizamientos de tierra, particularmente en las montañas; **conservación del agua**, al retener y mantener la calidad protegiendo las orillas de los ríos contra la destrucción (abrasión), previniendo la sedimentación de depósitos y la redistribución de la escorrentía superficial y subterránea (Biao, 2010); **regulación del clima y en mayor escala la mitigación del cambio climático global**, con el aumento de las precipitaciones y la disminución de la evaporación así como el importante rol que juega en la regulación del ciclo global del carbono; **la conservación de la biodiversidad**, al operar como importantes refugios para biodiversidad terrestre y proveer de alimentos y diversos productos de los cuales también el humano se beneficia; **en el contexto social** mejora las condiciones urbanas y periurbanas al proveer recursos a partir de los cuales éstas desarrollan su economía; mantiene el patrimonio cultural donde muchas comunidades indígenas desarrollan sus tradiciones y espiritualidad; genera oportunidades de empleo y propicia las actividades recreativas, por mencionar algunas (Hassan *et al*, 2005; Chan et al., 2006; Chazdom, 2008 and Heller et al., 2009) ). Ante estos puntos, es claro entender la razón por la cual esta variable ha sido usada en este trabajo para la evaluación de diferentes servicios bajo los criterios antes mencionados. A continuación, se muestra un esquema que resume la importancia de los SE forestales.



**Figura II. 7. Diversidad de servicios Ecosistémicos que ofrecen los ecosistemas forestales, tomado de Hassan et al. (2005).(Hassan et al., 2005)**

Considerando la importancia que ofrecen los ecosistemas forestales en términos de SE, se identificó la cubierta vegetal presente en el área de estudio. Se utilizó una imagen satelital del sensor LANDSAT 8 OLI/TIRS correspondiente al 22 de marzo del 2014, . La imagen es de libre acceso, con una resolución espacial de 30m, suficiente para poder obtener información de resolución aceptable, dado el tamaño de cuenca (205,246 ha). Además cuenta con la banda del infrarrojo cercano y bandas del espectro visible que son las que se requieren para poder discriminar al vegetación. La imagen se obtuvo de portal Earth-Explorer USGS con previo tratamiento de corrección geométrica y sin corrección atmosférica. La imagen se procesó con el software ENVI 5.1. a partir del cual, se realizó una corrección radiométrica con la herramienta *Radiometric Calibration*. La evaluación de la vegetación se llevó a cabo con el uso de cocientes para discriminar masas vegetales, cuyo empleo radica en el comportamiento reflectivo de la cubierta vegetal.

Se aplicó el Índice de Vegetación Mejorado (EVI por sus siglas en inglés) por ser el índice que presentó una mejor discriminación de los diferentes escenarios de vegetación vistos en campo, comparado con el NDVI, ya que este último sobreestimó los valores de la cubierta vegetal. El EVI, corrige las distorsiones de la luz reflejada causadas por la nubosidad o el

exceso de humedad y los aerosoles en la atmósfera que bloquean la visión de los satélites (Liu y Huete, 1995) , se expresa de la siguiente manera.

$$EVI = G * \frac{IR - R}{IR + C1 R - C2 BLU + L}$$

*Donde:*

*IR= Banda infrarroja de la imagen*

*R= Banda Roja de la Imagen*

*BLU= Banda Azul de la Imagen, la cual es usada para corregir la influencia de los aerosoles sobre la imagen*

*L= Corresponde a un ajuste de la señal antecedente del dosel de las plantas cuyo valor es 1*

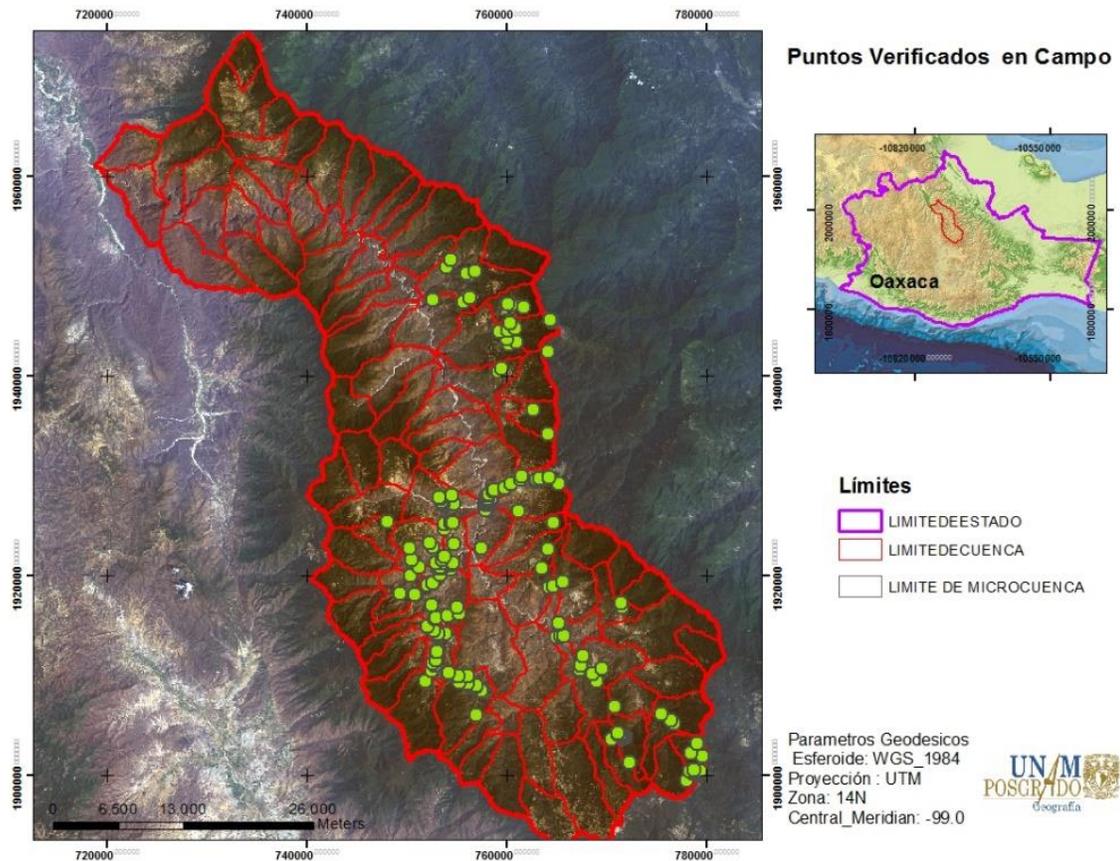
*C1y C2 son los coeficientes diseñados para corregir los efectos de la dispersión y absorción de los aerosoles, respectivamente.*

*C1= se ha fijado en 6*

*C2= fijado en 7.5*

*G= factor de cambio igual a 2,5*

Con el objetivo de poder verificar y ajustar los resultados obtenidos desde gabinete, se verificaron 203 puntos en campo a lo largo de la cuenca (ver Figura II. 8), donde se obtuvo información general de las características de los sitios visitados. Las verificaciones se dividieron en 2 partes (Ver *Anexo 3 A y B*): Verificaciones en sitios específicos con descripciones particulares del sitio (A) y verificaciones de paisaje (B), donde se tomaron fotografías y coordenadas del punto de avistamiento y posteriormente se realizaron verificaciones de las características registradas del paisaje con ayuda de google earth para cada punto. Con la información, se generó una base de datos SIG que se complementó con bases de datos vectoriales 1:50 000 de degradación de suelos (CENAPRED, 2015; SEMARNAT, 2004), clima (García, 1998) y uso de suelo y vegetación (INEGI, 2013). Es importante mencionar, que por cuestiones de accesibilidad a la cuenca y el tiempo del proyecto, no fue posible verificar sitios cercanos a la desembocadura de la misma.



**Figura II. 8. Los puntos verdes representan sitios verificados en campo para validar el tipo y el estado de la vegetación**

Con el uso de los puntos de verificación tomados en campo (Figura II. 8), se extrajo el valor de EVI correspondiente al sitio y se relacionó con el tipo de vegetación presente en la zona, para obtener rangos entre el valor mínimo y el máximo de EVI por cada tipo de vegetación considerada en el estudio (ver Anexo 3C). Esta comparación se ejecutó dado que no todos los tipos de cobertura sana reflejan con la misma intensidad (Manzo Delgado, 2009). El hecho indica que de estimar la cobertura vegetal con un mismo rango podría subestimar o sobreestimar los resultados. Se asignaron parámetros de valor de EVI por tipo de vegetación, según los datos observados en campo. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** De los datos obtenidos en campo se eliminaron los valores extremos y aislados de EVI por tipo de vegetación para evitar sobreestimar los datos.

Para determinar y delimitar el tipo de vegetación por microcuenca, se usó la capa de vegetación y uso de suelo de INEGI Serie V 1:250 000, como una referencia y para considerar esa clasificación. A partir de la delimitación y considerando los rangos de valores

de EVI determinado en campo (Anexo 3C), se categorizó la cobertura vegetal presente por microcuenca.

La categoría de Agua y Vegetación de altura se incluyeron en la clasificación, sobre todo esta última no se encuentran dentro de la clasificación de INEGI. Sin embargo, se decidió incluirlas y se delimitaron a partir de valores de EVI bajos en el caso del Agua (-0.111 a 0.07 ) y en el caso de la vegetación de altura, a partir de altitudes de más de 2980 con un valor de EVI entre 0.23 y 0.37, según los resultados de verificación de campo. La vegetación de altura se observó en campo y dadas sus características presenta valores bajos de EVI, de no separarse, estas zonas se clasificarían como zonas de baja cobertura vegetal cuando en realidad se encuentran en sitios muy estratégicos y muy conservados dentro de la cuenca.

Se incluyó, además, dentro de la categoría de alta cobertura vegetal, la clasificación de INEGI correspondiente a vegetación secundaria con valores de EVI mayores o iguales a 0.7 siendo este un parámetro alto que determina una mayor cobertura forestal y vegetación sana. La agricultura con valores mayores a 0.7 se incluyó en la clasificación de cobertura media.

En el caso de la Selva Baja Caducifolia (SBC), el coeficiente EVI, presenta valores muy bajos (0.08 a 0.17) en zonas conservadas, esto indicaría una baja cobertura vegetal. Sin embargo, la imagen Landsat seleccionada corresponde a temporada de secas, donde este tipo de vegetación pierde su follaje. Esta selección de imagen facilitó la discriminación entre zonas perturbadas y no perturbadas, ya que durante el trabajo en campo se pudo observar que las zonas correspondientes a la SBC con alguna perturbación mostraban crecimiento secundario de algunas especies herbáceas y arbustivas, tales como aquellas del género *Dodonea sp.* cuya presencia es indicativa de terrenos degradados por sobrepastoreo, áreas quemadas o milpas abandonadas, sobre todo en zonas del trópico seco. De esta manera, se puede observar en los valores de EVI muestreados, que las zonas perturbadas de este tipo de vegetación presentan valores más altos en el nivel digital que aquellas que se mantienen conservadas.

Por lo tanto, en la selección del rango de valores digitales para SBC, los valores más bajos son los que se tomaron como zonas de mayor cobertura vegetal.

Se tomó la suma total de píxeles por microcuenca y la suma total de píxeles con valor EVI alto, medio y bajo respectivamente, los valores se usaron para obtener un porcentaje de cobertura vegetal alto, medio y bajo por microcuenca (*Anexo 3D*). La intención de generar estos valores radica en proporcionar un valor único a cada microcuenca. Tener un valor único por espacio, en este caso la microcuenca, facilita el análisis y la priorización de espacios. Es así que se usó una función de valor de graduación directa para priorizar las microcuencas según su tipo de cobertura vegetal (ver tema II.3. Variables, Funciones de Valor y Normalización). El método resulta más sencillo en variables discretas, como lo es este caso.

$$PrConserv = \sum_{i=1}^n W_i X_i$$

*Donde:*

*PrConserv= representa el valor de la prioridad de conservación en un rango entre 0 y 1*

*W<sub>i</sub>= valor del porcentaje de cobertura vegetal por microcuenca y clasificación de cobertura vegetal*

*X<sub>i</sub>= valor del peso dado a la clasificación de cobertura vegetal (alto 1, medio 0.5 y bajo 0)*

Los valores están ponderados entre 0 y 1, siendo 1 el valor de mayor jerarquía (*Anexo 3D*).

La evaluación de la cobertura vegetal se usó en el cálculo de los SE de soporte y para determinar los SE de regulación.

Finalmente, se realizó una cuantificación de los diferentes tipos de usos de suelo y tipos de vegetación por microcuenca (*Anexo 3E*). Para ello, se usó únicamente la base de datos correspondiente a cobertura vegetal alta y media ya que la intención es identificar aquellas cuencas que presentan el mayor número de espacios en buen estado o que no se encuentren altamente degradados. Esta evaluación se usó para evaluar la heterogeneidad ambiental en los SE de soporte.

### *II.4.2. Edafología*

El suelo es uno de los componentes más importantes del ambiente, representando uno de los hábitats más ricos en especies de los ecosistemas terrestres. Sus funciones incluyen toda la gama de SE clasificados por el MA y de los cuales dependen las poblaciones humanas. Está catalogado dentro de los SE de soporte por ser un elemento que influye en la permanencia de muchos otros servicios ecosistémico y por lo tanto es un recurso sin el cual la vida como la conocemos no podría existir. Dentro de los servicios que este elemento ofrece se encuentran los siguientes: la moderación del ciclo hidrológico, el soporte físico para las plantas, la retención y oferta de nutrientes para las plantas, el procesamiento de desechos y materia orgánica muerta, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, hábitat para muchos organismos que realizan algunas de estas funciones, almacén de carbono más importante en la tierra, aporte de servicios culturales como la estética, educación y espiritualidad. Su formación es muy lenta y la economía, el bienestar humano y ambiental en general, dependen de los bienes y servicios proporcionados por este componente (Blum, 2005; Jónsson y Davídsdóttir, 2016; Balvanera y Cotler, 2009).

Dada la presencia que tiene el suelo en el funcionamiento de diversos mecanismos dentro de un ecosistemas, se consideró a este importante elemento dentro del análisis de diversos servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos seleccionados para incorporar esta variable son los siguientes:

- ***El suelo como factor de diversidad ecológica y biodiversidad.*** En primera instancia, las diferentes propiedades de los suelos dependiendo del tipo de suelo por sí mismas constituyen una fuente importante de funcionalidad ecosistémica. Es decir cada tipo de suelo cumple una función única de acuerdo a sus características y a su posición en el espacio, si este se pierde por lo tanto, también se pierden funciones ecológicas y estas una vez perdidas no podrán ser restauradas.

Por otro lado, el suelo es una de las reservas más importantes de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en su superficie y al interior del mismo; la abundancia es tal, que se cree supera la establecida por encima de este cuerpo natural. Vale subrayar, que los servicios ecosistémicos que presta el suelo, dependen de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio. Finalmente para este punto, en los suelos recaen los depósitos del patrimonio geológico y arqueológico, donde

gran parte de los restos dan cuenta de la herencia humana y de la historia ambiental reciente de la Tierra.

En conclusión a este punto, la diversidad de tipos de suelo dentro de un espacio, por lo tanto infiere una mayor oferta de servicios ecosistémicos. Dada esta premisa, en primera instancia, se realizó una cuantificación de los diferentes tipos de suelo presentes en cada microcuenca, para ello, se utilizó la carta edafológica serie II 1:250000 (INEGI, 2014). Esta presenta en su tabla de atributos tres categorías de dominancia de suelo por unidad edafológica (G1, G2 y G3), es decir: suelo dominante G1 (representa el grupo de suelo que ocupa el 60% o más de extensión en la unidad edafológica), el suelo secundario G2 (se estima ocupa entre un 20 y 40% de extensión de la unidad edafológica) y suelo terciario G3 (ocupa un 20 % como máximo de extensión de la unidad edafológica), (INEGI, 2009). Para fines de este trabajo se incluyó en la cuantificación los suelos presentes en las tres categorías si es que la unidad edafológica contaba con ellos. La cuantificación se realizó a partir del uso de los SIG. Esta evaluación se uso para determinar la heterogeneidad ambiental por microcuenca.

- **El suelo en el almacenamiento y filtración de agua:** El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ámbito del ciclo hidrológico y permite así la recarga de los acuíferos. En estas circunstancias, el suelo influye en el ciclo del agua, y amortigua y atrapa ciertos contaminantes impidiendo que lleguen a las reservas de agua y así mismo tiende a modular indirectamente la temperatura y la humedad, por ello puede incidir incluso en la mejora del aire.

Las propiedades del suelo consideradas para evaluar su potencial para proveer el SE de provisión de agua y filtración de agua para la recarga fueron las siguientes:

1. *Permeabilidad.* La retención de agua en los suelos se comporta según las leyes de capilaridad y de adsorción a superficies fijas de manera que cuanto más estrecho sea un capilar, más alto subirá el agua dentro de él y más grande será la fuerza con la que el agua sea retenida. Si la totalidad del espacio poroso se encuentra saturado de agua, el suelo se encuentra a capacidad máxima de retención de agua. Caso contrario, en los suelos de texturas gruesas, estos presentan una alta conductividad hidráulica o son muy someros, por lo que el agua se infiltra con rapidez, en raras ocasiones se encuentra agua interna libre o solo a gran profundidad. Para que las plantas puedan tomar agua del suelo deberán

aplicar fuerzas de succión mayores a las fuerzas de retención con las que el agua se encuentra adsorbida al suelo.

2. *Conductividad Hidráulica*: Es una propiedad física que lo capacita para transmitir agua o aire. Se interpreta en términos de velocidad de paso de agua a través de una unidad de sección transversal de suelo saturado en una unidad de tiempo bajo condiciones hidráulicas.

3. *Geomorfología o posición fisiográfica donde tienden a desarrollarse*: Existe una estrecha relación entre el patrón de distribución de los suelos y la fisiología del terreno ya que los suelos y las formas del terreno evolucionan en forma paralela. Los procesos geomorfológicos determinan las características de los materiales superficiales. En este sentido el gradiente de la pendiente, al igual que su forma y longitud interfieren en la velocidad de infiltración y escurrimiento de la precipitación, lo cual también está relacionado con el proceso de erosión acumulación. Posiciones en cresta, generalmente son más secas que posiciones en laderas, en tanto que en los piedemontes ´puede haber estancamientos de agua. En este sentido las formas de relieve son criterios importantes para la delimitación de unidades de suelo.

4. *Textura*: Es una de las características más importantes de los suelos y se relaciona con la porosidad, los suelos contienen diferente número de poros de diámetro variado dependiendo de su textura, entre otras características. Las texturas gruesas presentan menor cantidad de poros, en poros más grandes el drenaje suele ser más rápido y presentan mayor capacidad de aireación; texturas medias presentan poros medianos de drenaje lento generalmente de agua disponible para las plantas y texturas finas a muy finas pueden generar agua muerta.

El tipo de suelo y las cuatro variables descritas en los párrafos anteriores, son variables discreta por lo que para poder cuantificar su relevancia se le asignaron valores de importancia normalizados entre 0 y 1 de acuerdo a sus características y en función con las variables analizadas, donde:

*Tabla II. 3 Criterios de clasificación asignados a las propiedades del suelo .*

|             |      |       |      |             |
|-------------|------|-------|------|-------------|
| muy<br>alta | alta | media | baja | muy<br>baja |
|-------------|------|-------|------|-------------|

|   |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 0.1 |
|---|-----|-----|-----|-----|

Para este punto, una vez que se identificaron los diferentes tipos de suelo presentes por microcuenca se evaluaron según la literatura a partir de sus propiedades según los 4 puntos antes descritos, a cada criterio se les asignó un valor entre 0 y 1 según lo determinado en la tabla II.3j>Error! No se encuentra el origen de la referencia. y dependiendo de su potencial para la recarga o para retener agua como se muestra en la siguiente Tabla II. 4:

**Tabla II. 4. Valores de importancia asignados a las características de los suelos según su potencial para retener o filtrar agua .**

| Característica                                                               | Tipo de suelo                                             |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                              | recarga                                                   | agua                                                        |
| <b>Permeabilidad:</b><br>definición según tipo de suelo                      | Calificación entre 0 y 1 según su función para la recarga | Calificación entre 0 y 1 según su función para retener agua |
| <b>Conductividad:</b> hidráulica:<br>definición según tipo de suelo          | Calificación entre 0 y 1 según su función para la recarga | Calificación entre 0 y 1 según su función para retener agua |
| <b>Geomorfología o posición fisiográfica:</b> definición según tipo de suelo | Calificación entre 0 y 1 según su función para la recarga | Calificación entre 0 y 1 según su función para retener agua |
| <b>textura:</b><br>definición según tipo de suelo                            | Calificación entre 0 y 1 según su función para la recarga | Calificación entre 0 y 1 según su función para retener agua |

Dado que son 4 criterios, una vez asignados los valores por cada criterio se sumaron para darle un valor de peso al tipo de suelo. El máximo valor que puede tener como potencial para recargar o acumular agua por tipo de suelo es 4.

Posteriormente, se usaron las propiedades físicas de los diferentes tipos de suelo según la carta edafológica serie II 1:250000 (INEGI, 2014), para tener una mayor precisión sobre la función del tipo de suelo.

Las propiedades de diagnóstico se caracterizan por una combinación de atributos que reflejan resultados extendidos y comunes de los procesos de formación del suelo o indican condiciones específicas de su formación, lo cual es un indicativo de los procesos que están ocurriendo en ese espacio. Los valores asignados siguieron el mismo criterio de evaluación conforme a la Tabla II. 4 según su indicativo explique la capacidad para almacenar o filtrar el agua.

Los valores asignados a las propiedades se sumaron a los valores asignados por tipo de suelo. Con los valores asignados se usó la carta edafológica serie II 1:250000 (INEGI, 2014), como se ha explicado ya, esta presenta en su tabla de atributos tres categorías de dominancia de suelo por unidad edafológica G1 60%, G2 20 y 40% y G3 20 % de extensión en la unidad edafológica por lo que el peso obtenido por tipo de suelo se multiplica a cada espacio según su ocupación, es decir: tipo de suelo \* 0.60; tipo de suelo \* 0.20 o 0.40 y tipo de suelo \* 0.20 según el espacio de ocupación del suelo presente y de este valor a su vez se obtuvo el porcentaje de ocupación por cada microcuencia. Finalmente el valor fue normalizado con la ecuación para Normalización (Cap. II.3). Este análisis se usó para obtener el cálculo de provisión de agua y recarga de acuíferos en los SE de soporte

### *II.4.3. Geología*

El medio geológico constituye un elemento de sostén para los ecosistemas y es vital en el desarrollo humano, tanto por lo que se refiere a los recursos como a los riesgos que provoca su manipulación y mal uso. La gama de servicios que ofrece comprende las cuatro líneas del MA, que van desde los SE de **Soporte**: al brindar material para la formación del suelo, aporte de nutrientes para el mantenimiento de la biodiversidad, control en la recarga de acuíferos; **Regulación**, como la capacidad potencial de almacenamiento de residuos radiactivos o de CO<sub>2</sub> y regulación de la contaminación del agua; **Provisión**: en el aporte de energía, agua, minerales y el propio subsuelo sobre el cual está construida la infraestructura urbana y **Culturales**, entre los que destaca la apreciación del paisaje, las artesanías y el aporte al conocimiento científico, por mencionar algunos (ICOG, 2015).

Dada la importancia que tiene la diversidad geológica en el aporte de SE, en el presente estudio se usaron las cartas Geológicas 1:50 000 del Servicio Geológico Nacional (SGM, n.d.) y se contabilizó el número de unidades litológicas por microcuenca, se midió la longitud de fallas y fracturas por unidad. Con los resultados se obtuvo la diversidad de unidades litológicas que fueron de utilidad para evaluar heterogeneidad ambiental por microcuenca en los SE de soporte y la densidad de fallas y fracturas por microcuenca para identificar sitios de mayor permeabilidad en la Recarga de acuíferos ya que estas funcionan como grietas que permiten la infiltración del agua hacia el sistema subterráneo.

Finalmente se usó la carta Hidrogeológica, (Marín y Torres-Ruata, 1990) Obtenida de CONABIO (1990). En ella se identifican las zonas de mayor y menor permeabilidad y se describen las eras geológicas que dieron origen a la formación litológica. Para fines de este trabajo, solo fue usada la información referente a la porosidad y permeabilidad de la roca. La carta se usó en conjunto con la densidad de fallas con la intención de tener una idea de los sitios de mayor permeabilidad potenciales para la recarga de acuíferos.

#### *II. 4.4. Orientación*

En la Tierra, la cantidad de radiación recibida en una ladera, que es cualquier lado en declive de una montaña, está en función del ángulo, la exposición hacia el sol, la latitud, hora del día y época del año. En el hemisferio norte, las laderas con exposición sur reciben mayor radiación solar que sus contrapartes con orientación norte. Es por ello, que las laderas con exposición norte son más húmedas en comparación con aquellas de orientación sur. En este sentido, el efecto de ladera modifica las condiciones micro climáticas de los sitios y representa un factor determinante en el desarrollo y la estructura de las comunidades vegetales, marcando incluso diferencias de composición florística en laderas que se encuentran una enfrente de otra (López-Gómez *et al*, 2012).

En el presente estudio, se usó la orientación como una variable geomorfológica que determina heterogeneidad ambiental y humedad. El análisis partió del uso del MDE para obtener la orientación con la ayuda de la herramienta Aspect, del módulo Spatial Analyst tools de ArcGis. La orientación se reclasificó asignando un valor numérico a cada tipo de orientación (norte, nor-este, nor-oeste, sur, sur-este, sur-oeste, Este, Oeste y sin inclinación) dando 9 clases en total. Se obtuvo entonces el área de ocupación de cada orientación por microcuenca, con lo cual se calculó el porcentaje que representa cada orientación con respecto al área total de cada microcuenca.

Suponiendo una cuenca homogénea en cuanto a orientación, el valor de porcentaje máximo por microcuenca debería ser cercano a 100, lo cual indicaría que la mayor área de la microcuenca está representada por una sola orientación. Caso contrario, de existir heterogeneidad y suponiendo un caso perfecto donde todas las orientaciones se representarían en igual proporción en una microcuenca, el valor máximo de porcentaje se encontraría alrededor de 11 (resultado de dividir el 100% entre 9 categorías de orientación). En cada cuenca se tomó el valor máximo de porcentaje representado para conocer el nivel de heterogeneidad por orientación.

Posteriormente, se realizó una comparación entre el porcentaje de ocupación de laderas con orientación norte y el porcentaje de ocupación de laderas con orientación sur por microcuenca. Como antes se mencionó, las laderas con exposición sur reciben mayor radiación solar y por lo tanto tienden a ser menos húmedas. La intención de este análisis es identificar las microcuencas con mayor contenido de humedad.

La prueba consistió en restar el porcentaje de área con orientación norte, menos el porcentaje de área con orientación sur por microcuenca.

$$CH = OR_{sur}\% - OR_{norte}\% + (100 - (OR_{sur}\% + OR_{norte}\%))$$

*Donde:*

*CH= contenido de humedad por microcuenca según la orientación*

*OR= orientación sur y norte respectivamente*

#### ***II. 4.5. Duración del periodo de lluvias DPLL***

Para este estudio, como factor climático se incluyó la distribución espacial de la “duración del periodo de lluvias” (DPLL) reportada por Delgado-Carranza (2011). La DPLL se expresa en meses húmedos consecutivos, iniciando cuando la precipitación pluvial (PP) excede a la evapotranspiración potencial (ETP) ( $PP > ETP$ ) y finaliza cuando la PP es menor que la ETP ( $PP < ETP$ ). Para ello se usaron los rasters de precipitación y temperatura generados por UNIATMOS (2009)<sup>3</sup> con una resolución espacial de 926 m, mismos que se usaron en

---

<sup>3</sup> Promedios mensuales calculados a partir de las Bases Climatológicas diarias del Servicio Meteorológico Nacional, usando bases de datos con el 90% de los registros y ajustando los datos considerando la topografía. El resultado obtiene el cálculo de la precipitación acumulada mensual para el territorio nacional, a muy alta resolución espacial (926 m). <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>

el cálculo de la evapotranspiración y aplicando sobre ellos el método de Thornthwaite1948, quien usa la temperatura como índice de energía disponible para la ETP. Supone que la temperatura del aire se correlaciona con los factores que controlan la ETP. No corrige por diferentes tipos de vegetación sino por máximo de hrs de insolación. Para estos cálculos se usó la herramienta Raster Calculator de ArcGis10.1.

La diferencia (PP > ETP) fue calculada por mes y los valores de estos se clasificaron en 5 categorías o valores de importancia de humedad en una escala entre 0 y 1, donde 0 representan todos aquellos valores donde PP < ETP. Los valores donde (PP > ETP) se clasificaron considerando el mes de mayor PP sobre ETP y se usó el método de intervalos definidos<sup>4</sup> en ArcGis, el intervalo de clasificación obtenido para este mes se aplicó igual para los demás meses ya que la idea es que todos los valores en los diferentes meses presenten el mismo criterio de clasificación. Una vez clasificados se sumaron todos los ráster, el resultado mostró un mapa donde se observan los sitios de mayor humedad de acuerdo al índice aplicado.

Finalmente para obtener el valor por cuenca se clasificó en cuatro clases con el objetivo de establecer zonas de mayor o menor DPLL por microcuenca. Estas clases se eligieron considerando la clasificación de la carta de Climatológica de INEGI en conjunto con el método de clasificación Natural Breaks (Jenks) del ArcGIS (este método se usa para identificar saltos o cambios significativos entre los valores)<sup>5</sup>, de cada microcuenca se obtuvo el porcentaje del área por clase de DPLL, a estos rangos se les asigno un peso entre 0 y 1 (dividiendo este rango entre 4), así, 1 corresponde a los valores más altos de DPLL y 0 a los valores bajos. Se usó la ecuación de valor como en el caso de la vegetación y se obtuvo un valor por microcuenca.

$$PrConserv = \sum_{i=1}^n W_i X_i$$

---

<sup>4</sup> Los intervalos definidos le permiten especificar el tamaño de intervalo utilizado para definir una serie de clases en el mismo rango de valores. Por ejemplo, cada intervalo abarcará 75 unidades. ArcMap determinará el número de clases según el tamaño de intervalo y el rango de todos los valores de campo. En el ejemplo siguiente, el tamaño del intervalo se ha especificado al 4 por ciento.

<sup>5</sup> Las clases de cortes naturales están basadas en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

Esta variable se usó en el cálculo para obtener los sitios de provisión de agua ya que es una variable que contribuye a determinar sitios de mayor disponibilidad de humedad; en el cálculo para determinar sitios de recarga de acuíferos, ya que esta depende también de las zonas con balances hídricos en los que la lluvia supera la ETP, por lo que hay excedentes de precipitación que se convierten en escurrimientos y en el cálculo para determinar la erosión ya que si bien la precipitación es un factor clave para provocar la erosión de los suelos, lo es más la intensidad de lluvia.

#### *II.4.6. Sistemas acuáticos .*

Los sistemas acuáticos (lagunas y ríos), son muy importantes porque incluyen una rica variedad de ecosistemas que sustentan una enorme diversidad de especies nativas de flora y fauna, muchas de ellas endémicas, son de gran relevancia en el ciclo hidrológico de diferentes regiones del país (Sarukhán *et al* 2009). Por sus funciones ecológicas, su importancia económica actual, potencial y por el valor que representa la naturaleza por sí misma, constituyen recursos que necesitan ser conservados (Sarukhán *et al.*, 2009). Conjuntamente, los servicios que proveen son múltiples, incluyendo el control de inundaciones, almacenamiento de agua, control de plagas, retención del suelo, control y estabilización de microclimas, provisión de alimentos, purificación de desechos, provisión de servicios estéticos y recreativos, entre otros (CONABIO, 2010). La pérdida de la biodiversidad acuática epicontinental y de los sistemas hídricos tiene como consecuencia la pérdida de servicios ambientales de suma importancia para el bienestar humano (Lara-Lara *et al.*, 2008)

Con la finalidad de identificar las microcuencas de importancia acuática y con ello complementar el análisis de diversidad ecosistémica en la región, en el presente estudio, se utilizó el shapefile de sitios prioritarios acuáticos epicontinentales para la conservación de la biodiversidad (CONANP-CONABIO, 2010), los cuales representan zonas acuáticas valiosas y útiles para dirigir los esfuerzos de conservación, rehabilitación y manejo sustentable. Dado que la mayoría de las microcuencas presentó más de un sitio de importancia epicontinental con diferente grado de priorización, se contabilizó el número de sitios de importancia epicontinental por microcuenca

Con la finalidad de poder comparar la importancia entre microcuencas, se asignó un valor de 1 a la categoría de priorización extrema, 0.75 al valor alto, 0.5 a la priorización media y 0 a las microcuencas que no contaron con ninguna categoría en su espacio. El número de sitios por microcuenca se multiplicó por el valor de la categoría de mayor

priorización que presentó, considerando que un solo sitio es de gran relevancia, finalmente se normalizó el valor en una escala de 0 a 1. Esta variable se usó para determinar sitios de gran heterogeneidad ambiental.

## *II. 4.7. Parámetros sociales*

### *II. 4.7.1. Índice de Marginación*

El índice de marginación toma como unidad de análisis los espacios geopolíticos y los espacios territoriales más reducidos como las localidades. La información se obtiene de los censos nacionales. Es una medida que agrega en un solo índice variables de educación, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y activos en el hogar. No se trata de una medida de pobreza ya que no incluye los indicadores de ingreso, seguridad social y alimentación, pero incorpora indicadores de carencia a servicios en la sociedad.

El índice busca establecer un parámetro analítico que permita entender cuándo un sector de la sociedad se encuentra en una situación donde no están presentes las oportunidades para el desarrollo, ni la capacidad para encontrarlas (CONAPO, 2005, 2012a, 2012b). La importancia del índice para este trabajo se centra en medir de forma indirecta la capacidad de participación social que pudiera tener la población para hacer frente a sus problemáticas ambientales y como un indicador de bienestar social en los ecosistemas tal como se explicará más adelante (tema II.5.2.2.. Bienestar social) .

Para incorporar este índice a la unidad de microcuenca, se unió el archivo de IM con el de microcuencas. La capa de IM presenta en su tabla de atributos el valor del IM por localidad y el grado de rezago entre bajo, medio y alto. Dado que en algunas microcuencas se tienen más de dos localidades y cada una con un valor de IM ya clasificado, se decidió obtener un promedio por microcuenca, utilizando el valor de índice y posteriormente clasificando está de acuerdo al grado de marginación según el valor obtenido.

En este trabajo se usó el índice de marginación como una variable que infiere sobre el bienestar social considerando que no necesariamente existe una relación directa y lineal entre la población humana y el impacto sobre los ecosistemas, aunque si una relación cultural relacionada con la educación, desarrollo y conciencia ambiental. Es así, que en teoría, una población con mayor acceso a sus satisfactores básicos, podría entonces con mayor facilidad acceder a enfocar sus esfuerzos en practicar una cultura a favor del bienestar ambiental; en comparación con una, donde la carencia de estos satisfactores

obligue primero a resolver estas necesidades y posterior preocuparse por el entorno que le rodea (Challenger & Dirzo, 2009). De ser así, identificar sitios de mayor bienestar social podría contribuir a localizar sectores donde existe mayor potencial para impulsar o mantener acciones en favor de la conservación es por ello que se consideró en el cálculo para obtener zonas potenciales con estabilidad en los SE de regulación.

Los resultados de esta variable se normalizaron considerando una ecuación de tipo cóncavo decreciente, por lo tanto las zonas con valores bajos de marginación se normalizaron a 1 y las zonas de mayor marginación se normalizaron a cero (ver anexo 6)

#### *II. 4.7.2. Población Indígena*

Las culturas humanas siempre han sido influenciadas y moldeadas por la naturaleza del ecosistema al mismo tiempo que la humanidad ha influenciado y modelado su entorno para mejorar la disponibilidad de sus servicios. Las poblaciones indígenas dentro del territorio mexicano, en gran parte, han estado en interacción constante con el entorno que se habita, así como han legado conocimiento de años de tradición y uso de del espacio. Muchas comunidades aún mantienen un importante vínculo y comprensión del funcionamiento del sistema, y cuando este conocimiento se ejerce, ayuda a mantener un uso racional, diversificado y saludable, permite aprovechar al máximo la variedad de servicios que cada ecosistema ofrece, mantiene la diversidad, evita o previene aprovechamientos peligrosos que pueden desencadenar en desastres ambientales y permite seguir conociendo las bondades aun no descubiertas del mismo (Boege y Chan, 2008; Boege, 2008b, 2009b; WHO, 2005).

Dada la importancia que tiene la diversidad de los pueblos indígenas y sus prácticas en la conservación, en el presente trabajo se realizó una identificación de la presencia de población indígenas por microcuenca y la ubicación de la diversidad de algunas especies de importancia comercial como el maíz, calabaza y frijol.

Se usó el mapa de Población Indígena (PI), (CONABIO, 2014), que contiene la población total indígena por localidad y cuya técnica de identificación está basada en el método descrito por Boege (2008), donde se considera como un indicador de la diversidad indígena a la población en hogares censales indígenas<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> El concepto de "población indígena" se refiere a la suma de los habitantes en cuyos hogares por lo menos uno de los cónyuges o ascendientes habla una lengua indígena. (E Boege & Chan, 2008)

Para obtener un valor de presencia indígena por microcuenca se usó como límite territorial al municipio y se obtuvo la población total de cada uno de ellos, así como la población de hablantes indígenas sin distinción de lengua. Como cada microcuenca puede contener en su espacio partes de más de un municipio, de cada microcuenca se obtuvo el área de ocupación correspondiente a cada municipio en km<sup>2</sup>, de esta manera las microcuencas y los municipios quedaron divididos en subconjuntos de coincidencia). Cada subconjunto dentro del conjunto que es la microcuenca, presentan distinta proporción de área y porcentaje de población hablante indígena (población que en teoría tienen acceso a la parte proporcional de la microcuenca que coincide con el municipio al cual pertenece) y por lo tanto distinto valor de presencia indígena dentro de la cuenca. Es así que se asignó un valor de peso a cada subconjunto.

Para ello, se obtuvo el porcentaje de ocupación de cada subconjunto con respecto a cada microcuenca (%SbCJ)

$$\%SbCJ = \frac{\frac{A_{subbMun} * 100}{A}}{100}$$

Donde:

$A_{subbMun}$  = Área del subconjunto, es decir, el área de ocupación correspondiente a cada municipio dentro de la microcuenca en km<sup>2</sup>

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

Y el porcentaje de población indígena por municipio %POBINmun

$$\%POBINmun = \frac{POBINmun * 100}{POBTOTmun}$$

Ambos porcentajes se multiplicaron para obtener un valor del subconjunto basado en el área de ocupación que tiene dentro de la microcuenca y el porcentaje de población indígena que tiene jurisdicción sobre ese espacio. Finalmente se sumó el valor multiplicado de todos los subconjuntos por microcuenca y los valores fueron normalizados.

Suponiendo un caso extraordinario donde la población hablante indígena de todos los subconjuntos sea del 100% el valor del índice será de 100. Lo cual supondría que esa microcuenca en cuestión se maneja en su totalidad por una población indígena. Mientras

que una microcuenca donde no exista población nativo hablante el índice tendrá un valor de cero. Esta variable fue usada en ese trabajo para identificar sitios de relevancia para brindar SE culturales.

#### *II. 4.8. Servicios diversos (usos diversos de los recursos)*

Se usaron datos provenientes de las cartas Topográficas 1: 50 000 de INEGI y se obtuvieron algunos otros indicadores como minas, presas, manantiales, cuerpos de agua y bancos de material, los cuales se caracterizan dentro de los SE de provisión.

INEGI, 2009, describe los siguientes elementos:

**Mina:** Excavación de la que se extraen minerales con rendimiento económico.

**Presas:** Obra que sirve para captar, almacenar y controlar el agua de una cuenca natural y que consta de una cortina y un vertedor de demasías. Las presas ofrecen grandes beneficios para la sociedad como almacenamiento de agua o generación de electricidad

**Manantial:** Flujo continuo de agua que brota de forma natural. Son una fuente importante de suministro de agua al sistema.

**Cuerpo de Agua:** Extensión de agua limitada principalmente por tierra. Son una fuente importante de suministro de agua al sistema.

**Bancos de Material:** Lugar de explotación en roca y depósitos recientes para la utilización en diversos fines

Se contabilizó por microcuenca, el número total de servicios y fueron usados para identificar SE de provisión.

#### *II. 4.9. Agrobiodiversidad y Agro ecosistemas*

Los agroecosistemas juegan un papel importante en la conservación y el buen manejo de los ecosistemas, ya que son sistemas antropogénicos de bajo impacto donde existe un acoplamiento entre las prácticas agrícolas y el sistema natural (Boege, 2008a, 2009a).

En este estudio se cuantificó como un indicador de SE de provisión por microcuenca, el número de especies de maíz, frijol y calabaza reportadas en el área por CONABIO referente a registros puntuales (CONABIO, 2015a, 2015b, 2015c). Finalmente se contabilizó el número de especies por microcuenca.

## II.5. Análisis de Servicios Ecosistémicos

Se buscó identificar a nivel de microcuenca los SE que cada una de ellas ofrece, la intención se encaminó a diversificar los usos y resaltar la importancia que tiene cada espacio por sí mismo. Para ello, los datos normalizados de cada variable por microcuenca y tipo de SE, se integraron en una matriz, donde se sumó el valor normalizado de cada una de las variables y posteriormente se volvió a normalizar para obtener las cuencas más representativas del tipo de SE que se esté mostrando. Para cada tipo de SE se asignaron distintas variables dependiendo del tipo de servicio como se verá más adelante. Un ejemplo de esta tabla se muestra a continuación:

Tabla II. 5. Ejemplo de matriz para priorización de microcuencas

| #microcuenca | variable 1 | variable 2 | variable 3 | $\Sigma$ variables | Valor normalizado |
|--------------|------------|------------|------------|--------------------|-------------------|
| 1            | 1          | 1          | 1          | 3                  | 1                 |
| 2            | 0.5        | 0.5        | 0.5        | 1.5                | 0.5               |
| 3            | 0          | 0          | 0          | 0                  | 0                 |

Las variables para cada grupo se eligieron dependiendo de la función que cada variable representa para el ecosistema según los SE del MA. La idea es encontrar parámetros que de manera directa o indirecta nos den cuenta del servicio al cual están representando como ya se ha explicado para cada variable en el Cap II.4.

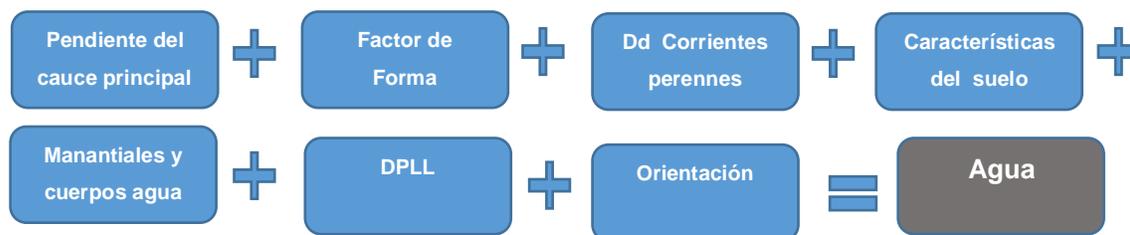
### *II.5.1 Servicios Ecosistémicos de Soporte*

#### *II.5.1 .1 . Agua*

Del agua, dependen un gran número de SE, por lo que la simple presencia denota un SE de soporte. Sin embargo, al igual que el ecosistema y su estado de conservación, el ciclo del agua juega tantas funciones en el ambiente, que es difícil encasillarla o definirla únicamente como un servicio de soporte, regulación o provisión (Balvanera y Cotler, 2009; Falkenmark, 1997). Sumado a esto en la sociedad su importancia económica se torna alrededor de las actividades productivas para consumo humano.

Dada la importancia que presenta el agua como SE de soporte, se identificaron aquellos sitios que por sus características pueden ser potencialmente importantes en la provisión de este servicio. Para identificarlos se eligieron variables cuya influencia como ya se ha

explicado en cada una de ellas, regula la provisión de este servicio y se presentan a continuación:



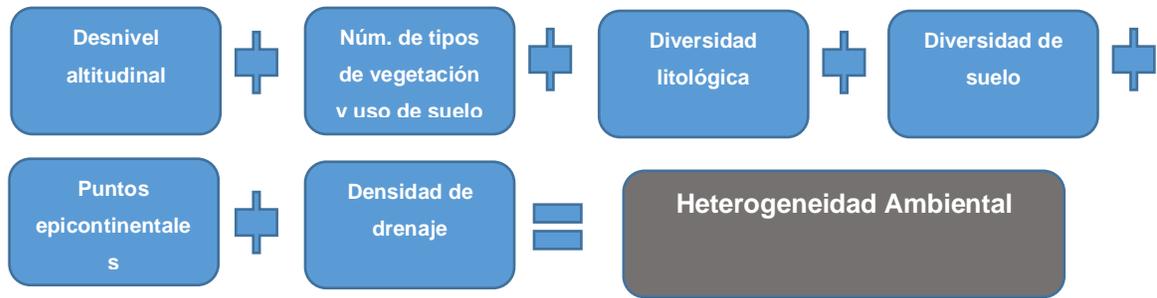
La pendiente del cauce principal es una variable cuya presencia denota una función decreciente para la disponibilidad de agua. Es decir, a mayor pendiente del cauce menor disponibilidad de agua en el espacio. En este sentido, cabe resaltar que el factor de normalización usado para esta variable corresponde con una función Concava Decreciente, donde los valores más altos se han normalizado a 0. De esta manera, aun cuando se esté sumando el valor en la matriz, si constituye zonas de alto valor de pendiente, estas variables estarán sumando con un valor de 0 o cercano a 0; por el contrario, si los valores son bajos, las variables tendrán valor de 1 o cercano a 1 (ver anexo 6).

### ***II.5.1 .2. Heterogeneidad Ambiental***

La biodiversidad juega un papel muy importante en el funcionamiento de los ecosistemas (Díaz *et al.*, 2006; Balvanera y Cotler, 2009), se involucra directamente con la polinización, dispersión de semillas, regulación climática, secuestro de carbono, control de plagas, enfermedades agrícolas, regulación de la salud humana; además, de afectar los procesos ecosistémicos como la producción primaria, el ciclo de nutrientes y agua; la formación y retención del suelo, apoya indirectamente la producción de alimentos, fibra, agua potable, refugio y medicamentos. a (Orijel *et al.*, 2008).

El presente trabajo no se ha enfocado en medir la biodiversidad, pero ha tomado como referente la heterogeneidad ambiental como un indicador de la diversidad de ambientes. En este sentido, la evaluación busca identificar microcuencas donde estén presentes distintos patrones geográficos que favorezcan la heterogeneidad ambiental y por lo tanto, se contribuya con la diversificación de hábitats y de especies.

Para medir la heterogeneidad ambiental se usaron las siguientes variables:



### II.5.1.3. Recarga de Acuíferos

El agua subterránea es aquella que se encuentra debajo de la superficie del suelo, incluye el agua que va de paso del suelo hacia el manto freático y aquella que se encuentra por debajo de éste. Los flujos subterráneos presentan un comportamiento, un límite y un destino distinto al flujo superficial de una cuenca hidrográfica (Carrillo-Rivera *et al*, 2002), desempeñan un papel clave en la dinámica ambiental como SE de soporte y provisión de agua.

En este trabajo, para identificar sitios con potencial de recarga de acuíferos, se usaron las siguientes variables:



### II.5.1.4. Zonas Potenciales para Brindar Servicios de Soporte

Las zonas potenciales para obtener los SE de soporte, se obtuvieron usando algebra de mapas, donde se sumaron los mapas (en formato raster) finales de cada SE, descritos en este bloque. El mapa final muestra en suma, el potencial que tiene cada microcuenca como unidad de sustento y ayuda a determinar áreas que por sus características juegan un papel importante en el equilibrio ambiental y son potenciales para implementar estrategias de conservación.

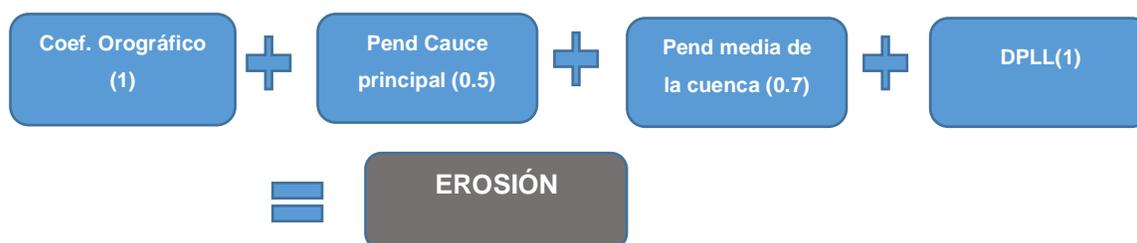


## II.5.2. Servicios Ecosistémicos Regulación

### II.5.2.1. Erosión

El control en la regulación de la erosión, se ve fuertemente modificado por los cambios de uso de suelo (Balvanera & Cotler, 2009). El mantenimiento del suelo y por lo tanto la regulación de su pérdida o erosión es fundamental para el bienestar de las poblaciones humanas. La identificación de sitios que por sus características presenten mayor potencial a la erosión, es una medida que puede ayudar a alertar y/o identificar sitios de importancia para la conservación (CENAPRED, 2015).

Con los resultados de la Normalización por variable, se usó álgebra de mapas para sumar las siguientes variables involucradas en el proceso de erosión:



### II.5.2.2.. Bienestar social

No necesariamente existe una relación directa y lineal entre la población humana y el impacto sobre los ecosistemas, aunque si una relación cultural relacionada con la educación, desarrollo y conciencia ambiental. Es así, que en teoría, una población con mayor acceso a sus satisfactores básicos, podría entonces con mayor facilidad acceder a enfocar sus esfuerzos en practicar una cultura a favor del bienestar ambiental; en comparación con una, donde la carencia de estos satisfactores obligue primero a resolver estas necesidades y posterior preocuparse por el entorno que le rodea (Challenger & Dirzo, 2009). De ser así, identificar sitios de mayor bienestar social podría contribuir a localizar sectores donde existe mayor potencial para impulsar o mantener acciones en favor de la conservación.

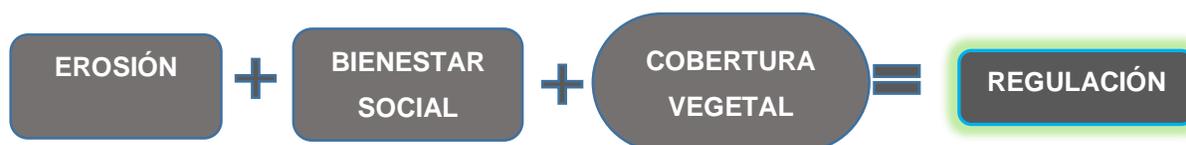
Las variables usadas en esta sección, refieren a identificar a las poblaciones dentro de cada microcuenca cuyo desarrollo social se aproxima a una mejor calidad de vida. Se usó el índice de marginación tomando en cuenta que una relación de bienestar ambiental,

implica un desarrollo armónico con el sistema que le rodea y con las condiciones de vida con que se disponga. Para obtener esta variable, se normalizaron los valores del IM considerando una ecuación de tipo cóncavo decreciente, por lo tanto las zonas con valores bajos de marginación se normalizaron a 1 y corresponden a valores altos de bienestar social, mientras que las zonas de mayor marginación se normalizaron a cero y corresponden con un nivel de bienestar social bajo (ver anexo 6)



### *II.5.2.2 Zonas Potenciales con Estabilidad en los Servicios Ecosistémicos de Regulación*

Las zonas con mayor estabilidad en los SE de regulación, se obtuvieron sumando los mapas finales de cada SE descritos en este bloque. El mapa final muestra en suma, el potencial que tiene cada microcuenca como unidad que regula el sistema y ayuda a determinar áreas que por sus características juegan un papel importante en la estabilidad ambiental y son potenciales para implementar estrategias de conservación. En suma se incorporó el valor del EVI, ya que la cobertura vegetal también determina la estabilidad del sistema sobre todo en sitios de grandes pendientes y en la calidad de vida de la población. En este sentido, las zonas de importancia donde es relevante mantener la regulación del sistema, para ese trabajo están identificadas por aquellas áreas con mayor potencial erosivo, mayor bienestar social (ver anexo 6, regulación) y una alta cobertura vegetal que mantiene la estabilidad de los sitios.



### *II.5.3 Servicios Ecosistémicos de Provisión*

Los SE de provisión, al ser fuente potencial de consumo, se encuentran constantemente expuestos a la demanda. No obstante su adecuado manejo ofrece gran potencial para la satisfacción del bienestar humano (Balvanera y Cotler *op cit*, 2009).

Para los servicios considerados en esta sección se brindó un valor de 0.5 ante la presencia de un solo servicio, considerando que la presencia de uno determina un sitio relevante, de esta manera el valor más bajo que podrá tener una microcuenca será cero en el caso de que no presente ningún servicio de provisión.



### *II.5.4. Servicios Ecosistémicos Culturales*

Como ya se ha mencionado los SE Culturales dependen de las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes. En este sentido las poblaciones indígenas en Oaxaca tienen una alta presencia en el territorio y han legado conocimiento de años de tradición y uso de del espacio. Muchas comunidades aún mantienen un importante vínculo y comprensión del funcionamiento del sistema, y muchas de sus prácticas se rigen por usos y costumbres. Es por eso que la presencia indígena se ha tomado en este trabajo como un indicador indirecto de la alta diversidad cultural del territorio (Boege y Chan, 2008; Boege, 2008b, 2009b; WHO, 2005).

El índice usado para estos servicios se muestra a continuación



### *II.5.5. Zonas potenciales para brindar Servicios Ecosistémicos*

Finalmente para tener una relación de los sitios donde se presenta una mayor interacción de distintos servicios, se obtuvo a partir de algebra de mapas la suma de los resultados por SE. En este caso se decidió priorizar a los SE de Soporte bajo el supuesto de que sin estos

servicios los demás tendrán menor probabilidad de existir. Cabe resaltar que en este nivel todos los valores han sido normalizados y cualquier valor entre 0 y 1 para las distintas variables tiene la misma relevancia, es por ello que pueden ser comparados entre sí y el objetivo es identificar áreas de mayor o menor relevancia .



# CAPITULO III: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POTENCIALES POR MICROCUENCA

## III.RESULTADOS

Para toda la cuenca general, se delimitaron un total de 103 microcuencas que abarcan áreas que van de 7.99km<sup>2</sup> a 44.74 km<sup>2</sup> (Figura III. 1).

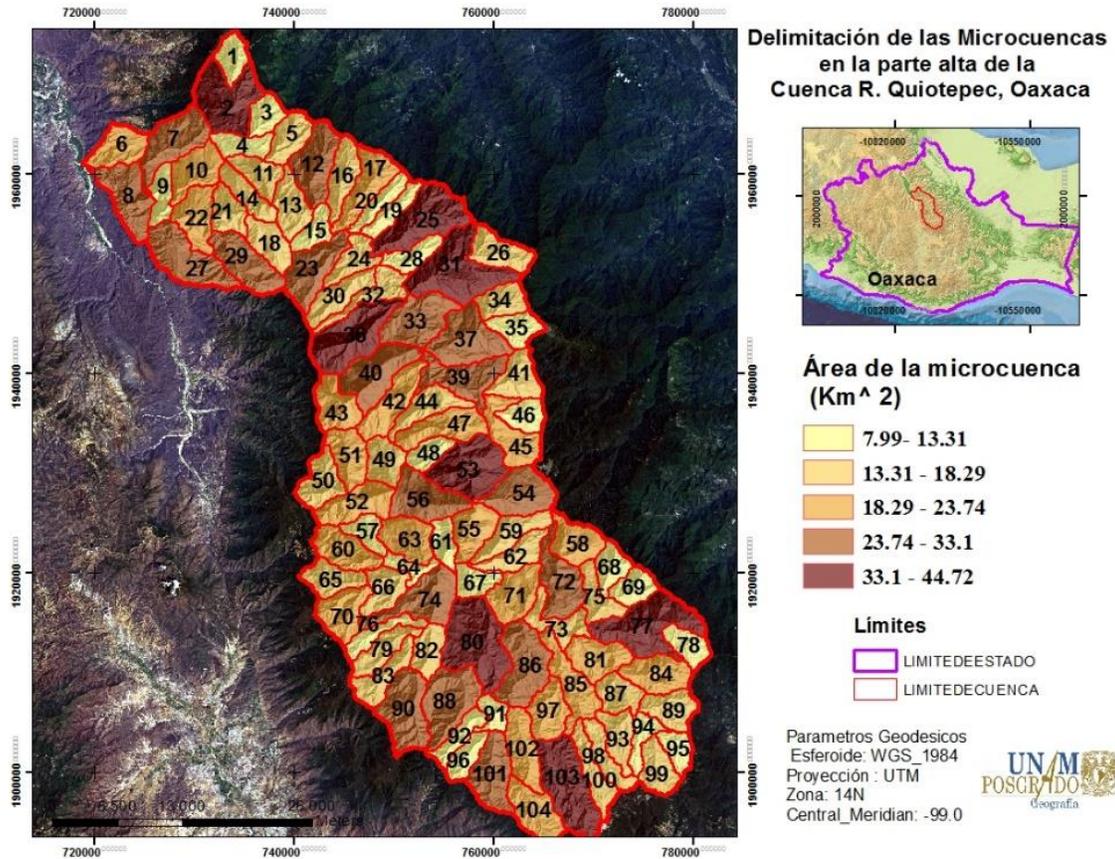


Figura III. 1. Área de las 103 microcuencas dentro de la zona de estudio

### III.1.1. Soporte

#### III.1.1.1. Agua

En general, la cuenca presenta un potencial de medio a alto para proveer de agua (ver Figura III. 2), con algunas excepciones como la cuenca 6, 8, 9, 10, 21, 22, 27, 100, 57

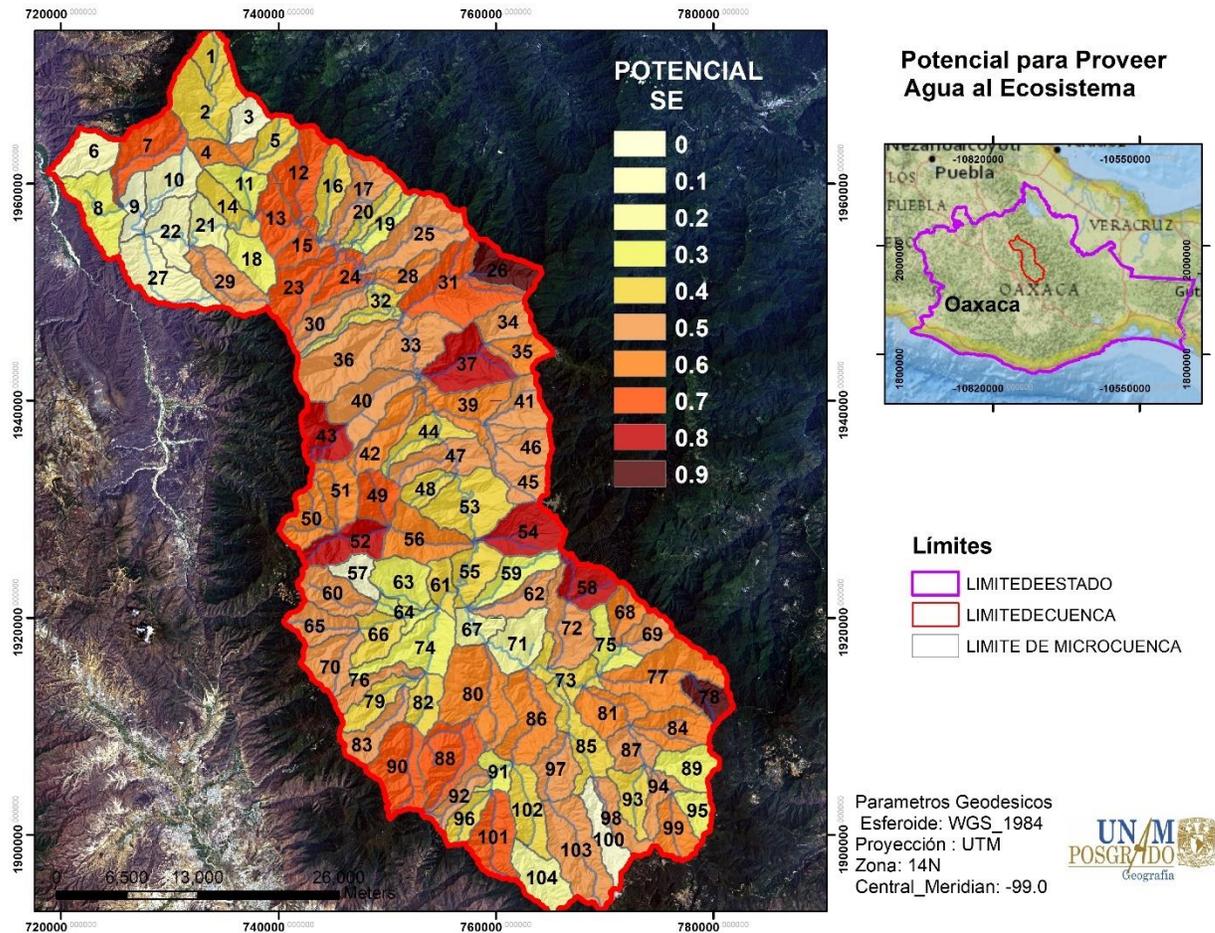
Las microcuencas situadas en la zona a menor altitud cuyo valor de acumulación de agua fue alto, parecen no depender del factor de humedad, en cuyo caso es bajo. Sin embargo, presentan otros factores que favorecen la acumulación de agua, como la presencia de pendientes de bajas o medias, valores altos en densidad de drenaje perenne, presencia de cuerpos de agua, manantiales, que dependen más de la presencia de flujos subterráneos y la orientación de la ladera.

Por la forma que presentan las microcuencas en general, el factor de forma (Ff) sugiere no tener efecto en los resultados, esto se debe a que la mayoría de las cuencas presentan una forma alargada y el potencial para acumular agua en ellas depende de otros factores.

Las microcuencas con mayor potencial para ofrecer SE de provisión de agua a los ecosistemas resultaron ser la número 78 seguida de la 58, ambas conformando parte de la cabecera de cuenca de la zona sur-este, ubicadas en los municipios de Ixtlán de Juárez y Santiago Xiacuí respectivamente. En conjunto, desde la microcuenca 58 a la 83 correspondiente casi en su totalidad a la cabecera de la cuenca (zona sur, sur-oeste y sur-este), y presentan un valor por arriba de 0.98 en la densidad de corrientes perennes y un valor por arriba de 0.5 en el potencial de acumulación de agua. Esta capacidad se favorece al ser zonas de bajas pendientes, alta precipitación, baja evapotranspiración, orientaciones dominantes hacia el norte, suelos permeable como el acrisol, y cambisol pero con potencial para retener agua y algunas microcuencas con presencia de manantiales como la 58, 68, 78, 90, 92 y 101. Lo anterior, categoriza a este grupo de microcuencas como una región importante para la conservación y restauración por su capacidad de captación y retención de agua en servicio a toda la cuenca.

Es importante resaltar el papel de las microcuencas 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 21, 22, 23, 27 y 29 de los municipios San Juan Bautista Cuicatlan, San Juan Tepeuxila y San Juan Bautista Atlatlahuaca, correspondientes a la zona nor-oeste y de emisión de la cuenca, cuya valoración resultó con bajo potencial. No obstante, la densidad de corrientes perennes es muy alta y por tanto pueden valorarse dentro de aquellas con potencial de provisión de agua, aunque se debe considerar que su abastecimiento al ser un sitio donde se concentra la energía de todas las corrientes de agua cuenca arriba, depende de las partes altas de la cuenca. En este sentido, es relevante que solo 9 cuencas no presentan ningún río perenne, mientras que el mínimo valor de densidad reportado es de 0.2 en la microcuenca 26 y el

máximo de 1.2 en la 32 con una media de 0.89. Esta peculiaridad, le da a la zona un indicativo de buen aporte de agua a casi todas las microcuencas.

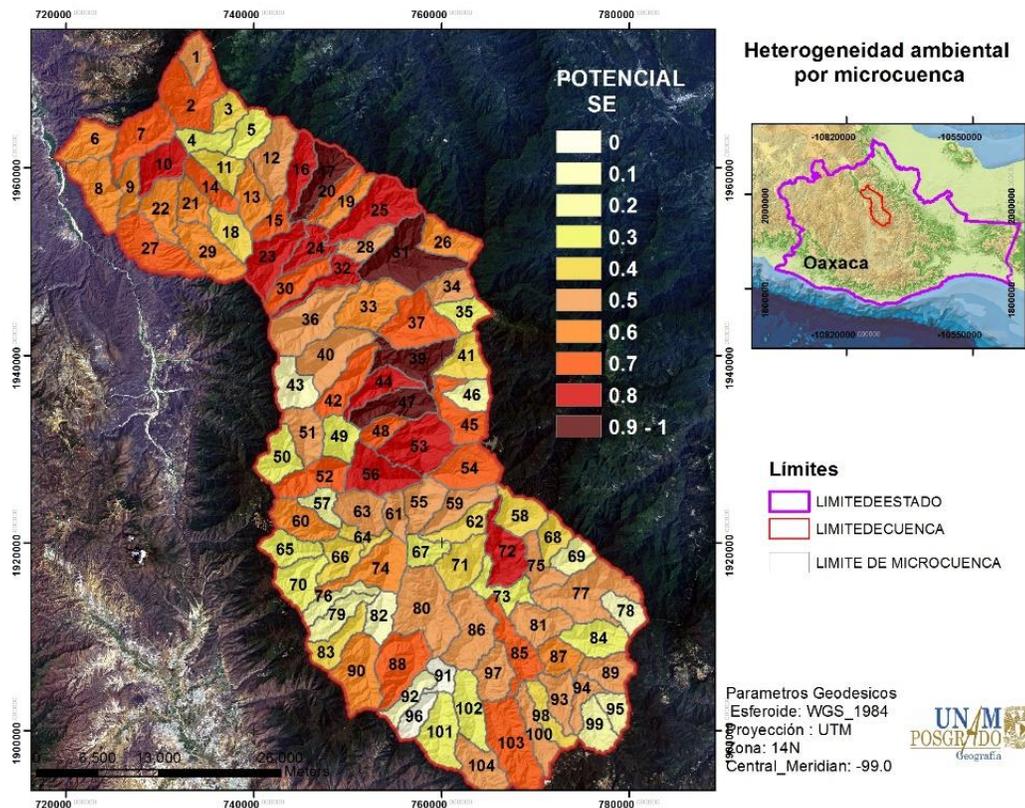


**Figura III. 2** Mapa que muestra el potencial ecosistémico para proveer agua en las microcuencas analizadas.

### III.1.1.2. Heterogeneidad Ambiental

La cuenca tiene una altitud que va desde los 595 a los 3,342 m.s.n.m., es decir, presenta una amplitud de 2,747 m. Este gradiente altitudinal permite una amplia diversidad de condiciones fisiográficas y climáticas que controlan tanto la distribución de los suelos como las coberturas vegetales. En el caso particular de las microcuencas, la menor amplitud en el gradiente altitudinal fue de 556 en la cuenca número 91 y el mayor a 2,407 en las cuencas 7,10,23, 32 y 30 todas con valores por arriba de 0.7 en el potencial de heterogeneidad ambiental. En general, el 31% de las microcuencas cuenta con un valor alto de este potencial.

En todas las variables medidas son notorios los altos índices que revelan cada una de ellas. La mayor heterogeneidad de microcuencas se presenta en la zona central de transporte de la cuenca, seguida de la parte baja y zona de descarga. Aún los valores bajos de heterogeneidad, presentan valores muy altos en alguna de sus variables. Esto significa que en general toda la cuenca presenta cierto grado de heterogeneidad. En la Figura III. 3, se pueden ver las que obtienen los valores más altos.



**Figura III. 3. Mapa que muestra el potencial por microcuenca para ofrecer SE relacionados con la diversidad de ambientes, medidos a partir de la heterogeneidad**

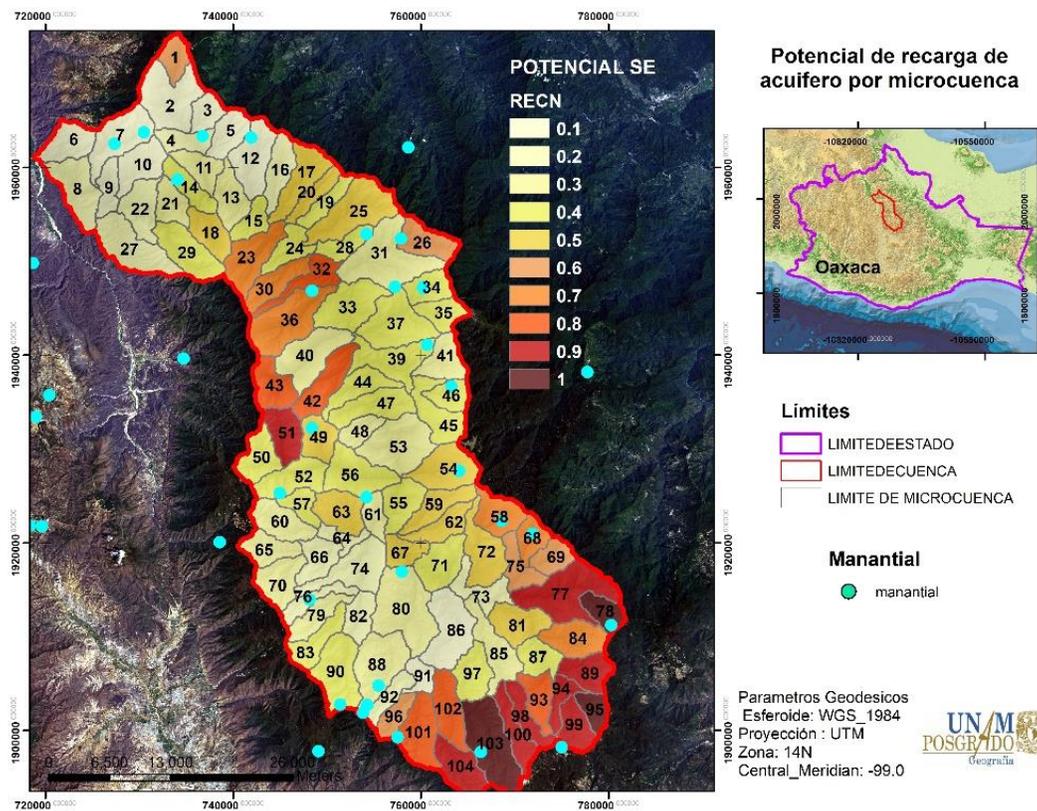
La microcuenca 31 ubicada entre los municipios de San Pedro Yolox y San Juan Quiotepec, presenta una alta diferencia altitudinal con 8 diferentes tipos de uso de suelo y vegetación, que van desde vegetación ribereña, zonas de agricultura de temporal anual, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, vegetación arbustiva de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de bosques de encino-pino, vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia, vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña; cuatro diferentes tipos de suelo representados por regosol, cambisol, umbrisol y acrisol; cuatro diferentes tipos de material litológico, aluvi3n, filita, esquisto y

cuarcita y finalmente una microcuenca considerada de alta prioridad epicontinental con valor de 0.93 en este último índice y valores por arriba de 0.7 en los demás. Estas características hacen de la microcuenca una zona de alta importancia dada su alta diversidad ecosistémica. No obstante, su valor de cobertura vegetal de 0.37 resulta ser alarmante ya que la microcuenca puede ofrecer grandes beneficios en el aporte de SE, pero sin una cobertura vegetal estable los beneficios se perderán. Se reconoce que una situación similar a la microcuenca 31 se presenta desde la microcuenca 16 a la 39 (según el orden de numeración espacial de las microcuencas en el mapa y que rodean a la microcuenca 31), las cuales forman parte de los municipios de San Juan Tepeuxila, San Juan Quiotepec, Santiago Comaltepec y San Pablo Macuiltianguis.

### *III.1.1.3. Recarga de Acuíferos*

Se puede observar que las zonas más permeables se encuentran en las zonas de mayor altitud de la cuenca. En suma a esto, todas las microcuencas de la zona de cabecera a excepción de la número 84 (la cual se caracteriza por su alta permeabilidad), cuenta con algún grado de actividad tectónica. Los manantiales se distribuyen a lo largo de toda la cuenca, incluso en las zonas de mayor altitud. De manera general, la cuenca de estudio cuenta con dos sitios importantes en la recarga de acuíferos. El primero, que abarca desde la microcuenca 77 a la 96 (este-oeste ver Figura III. 4) en la zona de cabecera y sitios de mayor altitud ubicados en parte de los municipios de Calpulápan de Méndez, Santiago Xiacuí, Santa María Yavesía, San Miguel Amatlán, Santa Catarina Lachatao y Santa Catarina Ixtepeji. En esta zona la permeabilidad de la roca volcánica principalmente basaltos y andesitas es de media a alta, el suelo es su mayoría es de tipo acrisol, son suelos con un horizonte árgico debido a la iluviación de arcillas, la lixiviación de cationes básicos es debido a la humedad ambiental y el avanzado grado de meteorización. Su perfil se encuentra constituido esencialmente por horizonte de acumulación de arcilla (Bt), baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases. La profundidad y el horizonte argico son indicadores de estabilidad y de la edad del suelo, lo cual se explica a partir de las bajas pendientes que presentan algunas áreas de la superficie cumbral y escalones de montaña. Por lo general son suelos con una capa superficial permeable con potencial para la recarga, aunque si se pierde la capa superficial puede encontrarse una costra dura que evita la permeabilidad y la retención de agua, debido a ello resulta de gran relevancia mantener estable la cobertura vegetal.

La segunda igual en zonas de gran altitud de las microcuencas 23, 30, 32, 36, 43, 42 y 51 de los municipios de San Juan Bautista Atlatlahuaca, Abejones, y San Miguel Aloápam. En estos sitios un factor importante de influencia puede ser el balance hídrico donde la precipitación supera a la evapotranspiración, pero también su formación a partir de rocas sedimentarias calcáreas como calizas y areniscas de alta permeabilidad y su formación de suelos a partir de luvisoles, lo cuales presentan un horizonte superficial permeable pero un horizonte árgico donde la capacidad de almacenaje de humedad “disponible” es más alta. En general son suelos con mediana a buena capacidad para retener agua y gracias a su capa superficial menos porosa favorece también la rápida infiltración de agua que favorece a la recarga.

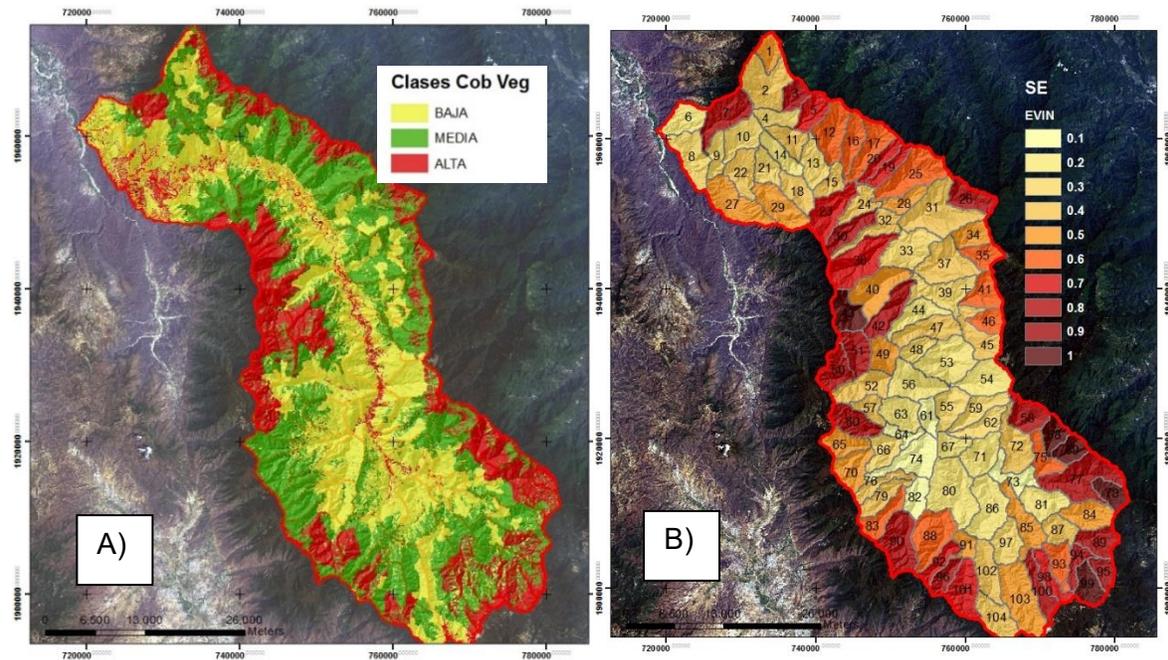


**Figura III. 4 Las zonas con mayor potencial para la recarga de acuíferos, corresponden a las áreas de mayor altitud de la cuenca.**

### III I.1.4. Cobertura Vegetal

Los datos de cobertura vegetal indican que el 22% del área total de la cuenca se encuentra en la categoría de alta cobertura vegetal, 38% con cobertura media y 39% con baja. La

distribución general se puede observar en la Figura III. 5 a y el valor normalizado por microcuenca se tienen en la Figura III. 5b



**Figura III. 5. A) Clasificación y distribución de la cobertura vegetal B) Potencial de cobertura vegetal por microcuenca**

En general el mapa de distribución de la cobertura, coincide con el mapa de potencial de cobertura por microcuenca. Se observa que en su mayoría las zonas de cabecera y zonas de mayor altitud de la cuenca corresponden a sitios protegidos con una cobertura vegetal. La excepción se presenta en las cuencas número 102, 103 y 104, correspondientes a la cabecera, donde se observa un deterioro en la cobertura vegetal. La zona de transporte o partes medias de la cuenca, muestran cierto grado de perturbación, mientras que las centrales de la cuenca por donde se encausa el Rio principal parecen ser las más afectadas.

La microcuenca con mayor cobertura vegetal resultó ser la número 43, ubicada a nivel de parteaguas de la zona nor-oeste de la cuenca, correspondiente a los municipios de Abejones, San Juan Bautista Atlatluhuaca y San Miguel Aloapan, importante además por su alto valor 0.81 en la recarga de acuíferos. Las microcuencas que rodean la zona son las numero 50, 51, 42, 36 y 40 ubicadas en los mismos municipios, todas con valores entre altos y medios en cobertura vegetal y de importancia en la recarga de acuíferos, en particular la 51 y la 36 con valores de 0.91 y 0.77 respectivamente.

Las microcuencas 68, 69, 99 y 78 con valores muy altos, se ubican en un corredor de alta cobertura vegetal que representa la cabecera de cuenca y que inicia en la microcuenca número 58 y termina en la 100 localizadas en los municipios de Ixtlán de Juárez, Natividad, Capulápan de Méndez, Santiago Xiacuí, Santa María Yavesía y San Miguel Amatlán, de la zona sur-este, con valores por arriba de 0.7 en cobertura vegetal. Todas estas microcuencas con excepción de la número 58, 68, y 69 son muy importantes en la recarga de acuíferos, y estas tres últimas microcuencas con valores altos en el potencial para proveer agua. Lo anterior evidencia la relevancia de conservar la cobertura vegetal en estas zonas, por un lado por su aporte en el mantenimiento y formación de cuerpos de agua, pero también, al ser representativas de bosque templado (ver Figura III. 5 a) por su capacidad en la captura y almacenamiento de carbono, formación y retención de suelos y provisión de una enorme cantidad de recursos forestales (Orijel et al., 2008).

### *III. 1.1.5. Zonas Potenciales para Brindar Servicios de Soporte*

De las 103 cuencas presenten en la zona de estudio, 28% cuentan con un valor mayor a 0.7, lo cual indica alto potencial para ofrecer SE de soporte, 32% presentan un valor entre 0.5 y 0.6 que se refiere a potencial medio y 42% tienen un valor inferior a 0.5 que nos indica la presencia de microcuencas con medio bajo y bajo grado de perturbación (. Figura III. 6. **Figura III. 6)** .

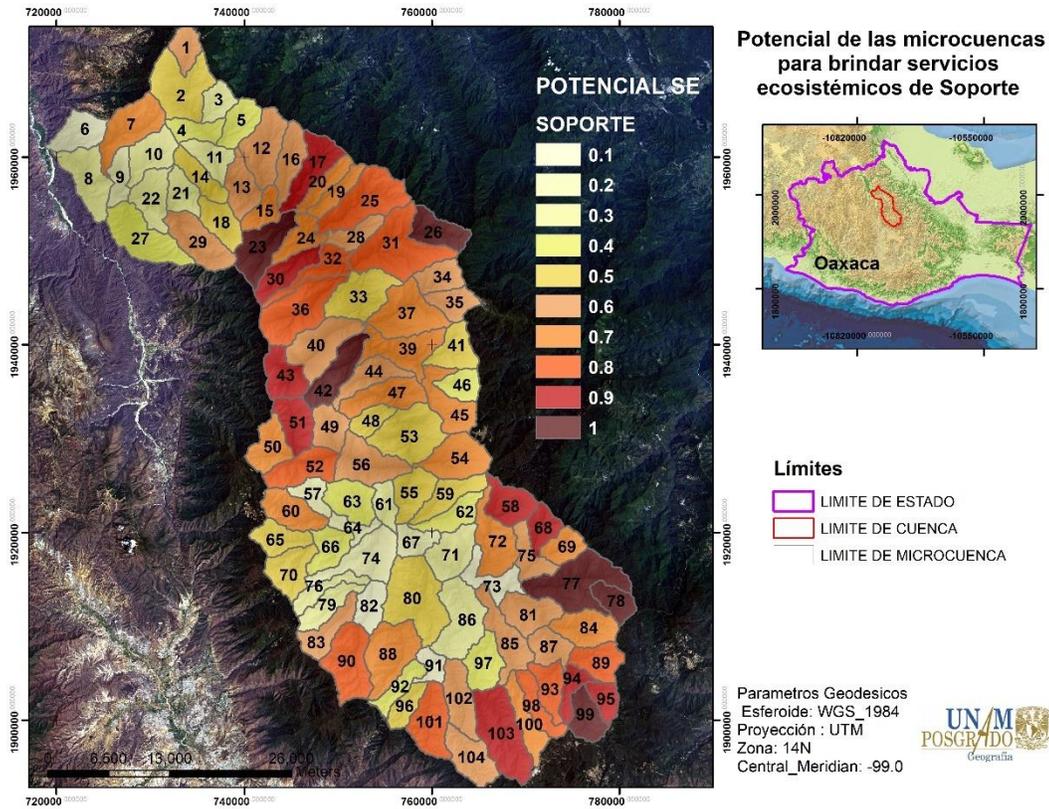


Figura III. 6. Potencial que cada microcuenca tiene para brindar Servicios Ecosistémicos de Soporte

En particular llama la atención la microcuenca número 103 cuya ubicación pertenece a la zona de cabecera y cuyo potencial es alto en todos los componentes menos en el de cobertura vegetal. La misma situación se tiene en las microcuencas 31 y 32 con valores menores a 0.4 en cobertura vegetal y las microcuencas 25, 17, 88 y 93 con un valor de cobertura menor a 0.6.

Las microcuencas que en combinación ofrecen mayor número de SE de soporte, corresponden a las microcuencas número 42 y 78 las cuales se ubican en dos sitios distintos dentro de la cuenca (área intermedia entre la zona de transporte-emisión nor-oeste y zona de cabecera sur-este respectivamente) (ver. Figura III. 6. Figura III. 6 ). La primera resulta importante por ofrecer un valor de 0.75 en el índice de heterogeneidad, 0.75 en el índice de cobertura vegetal y 0.83 en el valor que corresponde a la recarga de acuíferos.

Las microcuencas en vecindad, particularmente las 40, 49, 44 y 39 presentan valores de medios a bajos en los SE de soporte (0.64, 0.57, 0.47 y 0.46). Este hecho resulta

desfavorable si se tiene en cuenta que son las áreas aledañas a un área que se pretende conservar, las que cumplen con la función de amortiguar los impactos negativos y optimizar los efectos del área protegida (de la Federación, 1988). En este sentido, resulta conveniente usar como referencia las microcuencas en el área con siguiente valor en priorización, que resultan ser la número 23 y 30 con un valor de 0.96 y 0.94 en el índice de soporte. De esta manera, de acuerdo a la distribución de las microcuencas con valores mayores a 0.5 en el índice soporte y en vecindad y continuo de la microcuenca número 30, se identifica como una región prioritaria para la conservación, el área correspondiente a las microcuencas 23, 30, 32, 36, 42, 43, 44, 50 y 51 ubicadas en los municipios de San Juan Bautista Atlatlahuaca, Abejones y San Miguel Aloápam de la zona nor-oeste (ver. Figura III. 6).

La microcuenca número 78 ubicada en la zona de cabecera, ofrece un valor de 1 en potencial de captura de agua, 0.93 en potencial de cobertura vegetal y 1 en el valor que corresponde a la recarga de acuíferos. Las cuencas en vecindad y continuo a esta microcuenca correspondientes a la zona de cabecera y con valores mayores a 0.7 en el índice de soporte se consideran prioritarias para la conservación. De estas cuencas resalta la número 103, 88, 93 y 101 con valores de 0.45, 0.58, 0.58 y 0.64 respectivamente en cobertura vegetal, ya que de este servicio depende el mantenimiento de los demás. Por lo tanto, sería necesario implementar estrategias de restauración. Algunas otras cuencas de interés en esta área son la 84 y 104, cuyo valor en el índice de soporte equivale a 0.64 y 0.65, importantes en la recarga de acuíferos con valores de 0.77 y 0.83 pero bajos valores en cobertura vegetal 0.43 y 0.36 respectivamente. No obstante, se encuentran en continuo con el área que se propone priorizar y por lo tanto, deben incluirse, con recomendaciones para restauración.

De manera general el mapa de SE de soporte muestra como áreas de importancia para la conservación, a la mayor parte de la cabecera de cuenca y diversas áreas de transporte de esta. Estas áreas se muestran con valores entre 0.8 y 1, lo cual quiere decir que ofertan sitios donde se está llevando a cabo la recarga de acuíferos, el potencial para proveer de agua a los ecosistemas es relevante; la heterogeneidad ambiental en cuanto a relieve, vegetación, suelos, litología es alta y la calidad ambiental según la cobertura vegetal que presentan, es buena como para mantener los servicios.

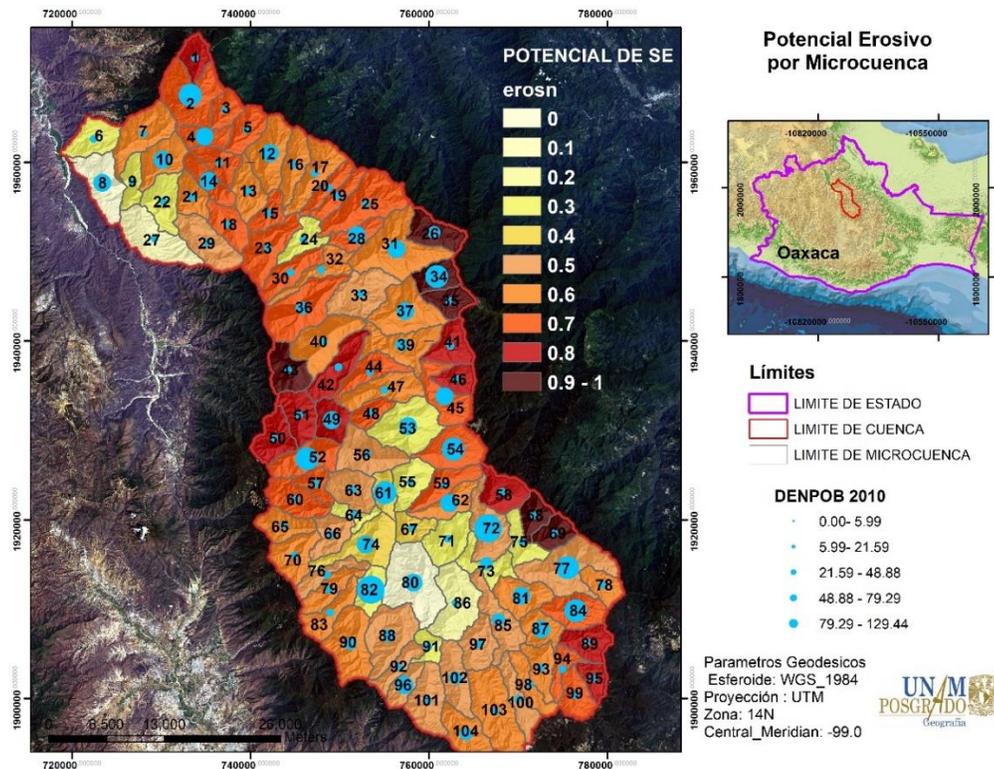
Las microcuencas con valores entre 0.5 y 0.7, reflejan áreas que son relevantes para ofertar alguno o algunos de los 4 servicios, pero sus valores son bajos en alguna categoría

de los SE de soporte. Lo interesante para estas áreas será identificar a partir de los mapas por tipo de SE de soporte cual es el factor que está limitando el potencial, de manera que de querer dirigir esfuerzos para su restauración estos deberán encaminarse a recuperar dicho servicio. Como se observa en el mapa muchas de estas microcuencas rodean a aquellas con mayor nivel de conservación, por lo que su recuperación contribuye con la conectividad de los ecosistemas. Finalmente, los sitios donde los SE de soporte han sido fuertemente alterados se muestran con los valores entre 0 y 0.4.

### *III.1.2. Regulación*

#### *III.1.2.1. Erosión*

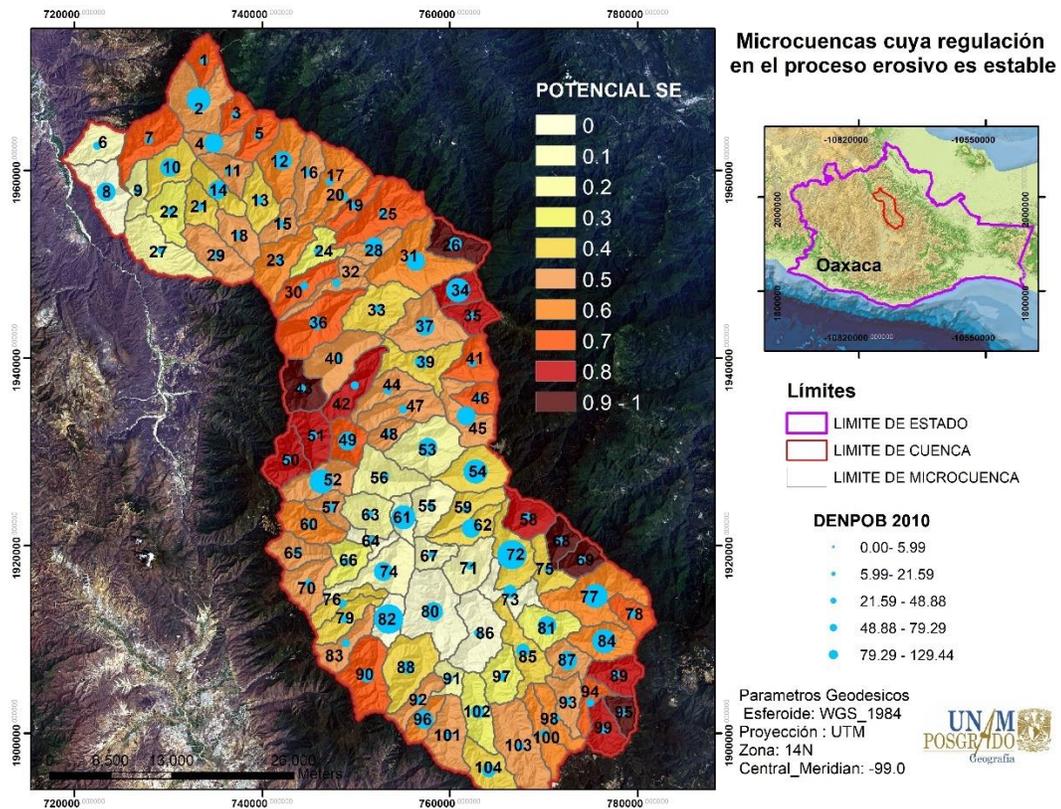
La cuenca en general presenta microcuencas cuyo rango de pendiente media varía entre 30% la media mínima a 78% la media máxima mientras que el mínimo valor del coeficiente de variación presente en la cuenca es de 41,104 en la cuenca número 7, con un máximo de 829,490.85 en la cuenca número 95 y una media de 275,241. Se puede decir ya con estos datos que todas las microcuencas presentes reflejan un potencial de degradación alto. De acuerdo al índice obtenido en este estudio de las 103 cuencas presentes en la zona de estudio el 41% presentó un alto potencial de erosión, con valores mayores a 0.7; el 27% un valor medio entre 0.7 y 0.5, mientras que solo el 32% indicó valores por debajo de 0.5. Resulta relevante decir también que las zonas donde se observa el potencial de erosión máximo coincide también con los sitios donde la duración de los periodos de lluvia es mayor y donde la precipitación excede a la evapotranspiración. Los resultados denotan el alto potencial erosivo de la mayor parte de la cuenca, si se suma el potencial medio y el alto tenemos un 68% de la cuenca con potencial a la erosión (ver **Figura III. 7**).



**Figura III. 7. Zonas potenciales a ser erosionadas. La graduación de puntos azules refleja la densidad poblacional.**

De las 42 cuencas con elevado potencial de erosión, solo 12 cuentan con una protección alta de cobertura vegetal, lo que indica que los SE de regulación en estos espacios están cumpliendo su función y por lo tanto deben ser prioritarias para la conservación. Los casos alarmantes resultan ser las microcuencas mostradas con tonalidad azul en la tabla del anexo 7, cuyo potencial erosivo se incrementa con la pérdida de cobertura vegetal.

Por otro lado, se observa que las cuencas con mayor cobertura vegetal, cuentan con una menor presencia de asentamientos humanos, mientras que aquellas donde se tiene mayor densidad de población, resultan estar más afectadas en el proceso de regulación, pues el componente vegetal es menor. Las microcuencas cuya regulación en el proceso erosivo es estable y por lo tanto es recomendable mantener su conservación se muestran en la Figura III. 8



**Figura III. 8 Potencial de las microcuencas para mantener los SE de Regulación a la Erosión**

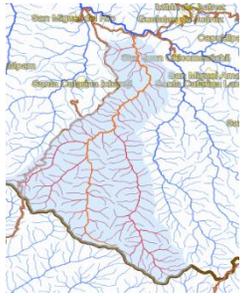
Se han identificado tres zonas importantes de protección, la correspondiente al municipio de Santa María Yavesía en la zona sur, que coincide con las microcuencas 99, 95, 94 y 89, 58, 68 y 69 donde el potencial erosivo fue alto y cuentan con una cubierta vegetal que las protege; la segunda área que se identifica corresponde a los municipios de San Juan Bautista Atalahuca, Abejones y San Miguel Aloápam de la zona nor-oeste, donde se encuentran las microcuencas número 30, 36, 42, 43, 49, 50, 51, todas con un valor de cobertura vegetal mayor a 0.7 con excepción de la microcuenca número 36 y 49 con valores de 0.68 y 0.69, en cuyo caso es recomendable implementar estrategias de reforestación para no perder el servicio y por último el área de los municipios San Juan Tepeuxila y San Juan Quiotepec que corresponde con las microcuencas número 3, 5, 12, 19 y 20, 26, 26, 34 y 35 aunque sus valores de cobertura vegetal resultan ser medios (0.75, 0.68, 0.56, 0.51, 0.68 y 0.62), su potencial erosivo es muy alto por lo tanto requieren atención.

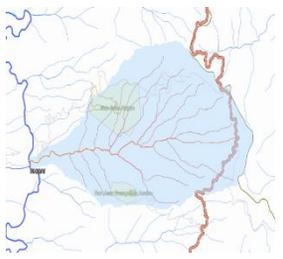
### *III. 1.2.2. Bienestar social*

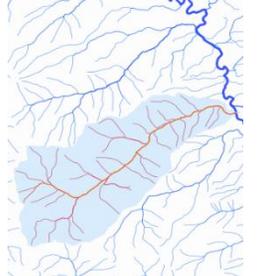
Los resultados muestran que de las 45 microcuencas con alguna localidad, 16 mostraron tener un Índice de marginación muy alto, 14 alto, 8 medio y 6 bajo. Esto quiere decir que la mayor parte de la población según este índice presenta algún contratiempo que limita su desarrollo como sociedad. En general se observa una amplia segregación en la cuenca. Al realizar un acercamiento por subcuenca con el objetivo de entender cómo se agrupa la población, se consultaron las estadísticas realizadas por el SIATL a partir de subcuenca. No obstante es importante mencionar que estas estadísticas solo muestran algunos de los parámetros que mide el índice de marginación por lo que solo se pretende mostrar un acercamiento a las condiciones generales de estos espacios. Iniciando en la zona sur y analizando las subcuencas de oeste a este, se encontró lo siguiente

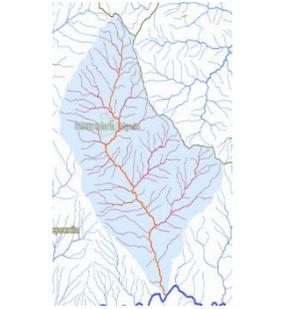
**Tabla III. 1. Resumen de las características del habitat de la población por subcuencas según su índice de marginación (SIATL, 2010)**

| Subcuenca | Microcuencas    | Nivel de Marginación (CONABIO) | Población total de la subcuenca                                                             | Servicios básicos                                                                                                        | Uso de suelo y Vegetación                                                                                      | Mapa de la subcuenca                                                                 |
|-----------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 61, 74, 82 y 90 | medio a alto                   | 2561 habitantes, la mayoría se encuentra entre los 15 y 64 años de edad                     | La mayoría cuenta con servicios básicos como drenaje ( con excepción de 42 vivienda) , luz y agua                        | 77.01 % bosque y selvas<br>22.87% actividades agrícolas como principales usos de suelo                         |   |
| 2         | 80 y 88         | alto a medio                   | 1659 habitantes, la mayoría se encuentra entre los 15 y 64 años de edad (población activa). | Solo 192 viviendas cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz, mientras que 126 viviendas no cuentan con drenaje | el 80% de este subcuenca se constituye por bosques y selvas y el 18.75% por actividades agrícolas y forestales |  |

| Subcuenca | Microcuencas                              | Nivel de Marginación (CONABIO) | Población total de la subcuenca                                                                                                                             | Servicios básicos                                                                                                                                            | Uso de suelo y Vegetación                                                                                                              | Mapa de la subcuenca                                                                 |
|-----------|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 3         | 86, 91, 96, 92, 102 y 104                 | medio a muy alto               | 1243 habitantes, la mayoría 61.70 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad (población activa), con una importante población menor a 15 años 23%        | De las 360 viviendas habitadas solo 178 cuentan con servicio de luz y agua. Al menos 152 y 76 no cuentan con drenaje y agua entubada respectivamente         | Alrededor del 79% de la subcuenca se constituye por bosques mientras que el 20.76% por actividades agrícolas pecuarias y forestales.   |   |
| 4         | 85, 97,98, 100, 103,                      | de alto a muy alto             | Se compone por un total de 506 habitantes, la mayoría 51.18 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad (población activa).                               | De las 115 viviendas habitadas 77 cuentan con servicio de luz y agua, pero se tiene el caso de 31 viviendas que no disponen de drenaje y 8 sin agua entubada | 76% de la subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 23.73 por actividades agrícolas pecuarias y forestales          |   |
| 5         | 73, 77, 78 81, 84, 87, 89, 93, 94, 95, 99 | de bajo a muy alto             | 2456 habitante, la mayoría el 57 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad (población activa), con una importante población del 23% menor a los 15 años | Solo 249 viviendas habitadas de las 630 cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz, mientras que 301 viviendas no cuentan con drenaje                | el 89 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas y solo el 10.78 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales. |  |

| Subcuenca | Microcuencas            | Nivel de Marginación (CONABIO) | Población total de la subcuenca                                                                                                                                | Servicios básicos                                                                                                                             | Uso de suelo y Vegetación                                                                                                                                      | Mapa de la subcuenca                                                                  |
|-----------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 6         | 73, 77, 78, 75, 68 y 69 | bajo a medio                   | 2526 habitantes la mayoría el 55.30 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad                                                                              | La mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 8 viviendas de las 585 que no cuentan con drenaje.                | el 89 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas y solo el 10.78 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales.                         |    |
| 7         | 72 y 58                 | muy bajo                       | 3334 habitantes la mayoría el 59.12 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad (población activa), con una importante población del 27% menor a los 15 años | En general se observa que la mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 8 viviendas que no cuentan con drenaje  | el 82 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas y solo el 17.29 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales                          |    |
| 8         | 54                      | alto.                          | 1918 habitantes, La mayoría el 51.18 % se encuentra en un rango de edad de entre los 15 y 64 años de edad, mientras que el 22.21% cuenta con menos de 15 años. | En general se observa que la mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 12 viviendas que no cuentan con drenaje | La microcuenca presenta una marcada actividad agrícola donde el 66.50% del espacio esta destinado a esta actividad y solo el 33% se ocupa con bosques y selvas |  |

| Subcuenca | Microcuencas    | Nivel de Marginación (CONABIO) | Población total de la subcuenca                                                                | Servicios básicos                                                                                                                                                                                                                 | Uso de suelo y Vegetación                                                                                                                       | Mapa de la subcuenca                                                                  |
|-----------|-----------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 9         | 39, 41, 46 y 45 | alto a muy alto                | 931 habitantes, de los cuales el 48.65% presentan una edad entre 15 a 64 años                  | En general se observa que la mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 22 viviendas de las 251 habitadas que no cuentan con drenaje, 2 que no disponen de luz y 3 que no cuentan con agua entubada | el 77.6 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 22.36 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales.  |    |
| 10        | 37, 34 y 35     | alto                           | 2004 habitantes de los cuales la mayoría el 53.6% se encuentra entre los 15 y 64 años de edad. | De las 491 viviendas habitadas 391 cuentan con servicios de agua y luz. No obstante se tiene el registro de 78 viviendas que no cuentan con drenaje, 5 sin agua entubada y dos sin luz eléctrica                                  | el 73.58 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 26.26 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales. |    |
| 11        | 40 y 43         | alto                           | 88 habitantes, de los cuales el 67% presentan una edad entre 15 a 64 años                      | De las 23 viviendas habitadas solo 2 cuentan con servicios de agua y luz, 20 viviendas que no cuentan con drenaje, 9 sin agua entubada y 20 sin luz eléctrica.                                                                    | el 78.31 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 21.12 % se constituye por vegetación inducida                   |  |

| Subcuenca | Microcuencas      | Nivel de Marginación (CONABIO) | Población total de la subcuenca                                                                 | Servicios básicos                                                                                                                                                                                                            | Uso de suelo y Vegetación                                                                                                                    | Mapa de la subcuenca                                                                 |
|-----------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 12        | 26 y 31           | alto                           | 2210 habitantes, de los cuales la mayoría se encuentra entre los 15 y 64 años de edad           | De las 453 viviendas habitadas solo 354 viviendas cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz; mientras que 53 viviendas no cuentan con drenaje y 10 no cuentan con agua entubada                                     | el 80 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 27.62 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales. |   |
| 13        | 33 y 36           | muy alto                       | 347 habitantes de los cuales la mayoría el 61.95 % se encuentra entre los 15 y 64 años de edad. | De las 78 viviendas habitadas solo 50 viviendas cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz; mientras que 24 viviendas no cuentan con drenaje y 8 no cuentan con agua entubada.                                       | el 87.91 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas mientras que el 12.04 % cuenta con vegetación inducida                       |   |
| 14        | 1, 2, 3, 4, 5, 11 | muy alto                       | 2643 habitantes, de los cuales la mayoría el 61.52% se encuentra entre los 15 y 64 años de edad | De las 715 viviendas habitadas solo 40 viviendas cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz; mientras que 641 viviendas no cuentan con drenaje, 72 Y 24 no disponen de agua entubada y luz eléctrica respectivamente | el 82 % de esta subcuenca se constituye boques y selvas y solo el 17.86% por actividades agrícolas                                           |  |

Del 100% de las microcuencas que presentan población, el 15% cuenta con un valor de bienestar social alto; 20% medio con valores entre 0.5 y 0.7 y 65% con valores menores a 0.5. De manera general se puede apreciar a nivel espacial que las microcuencas cercanas a la cabecera de la cuenca, presentan mayor estabilidad social, con excepción de aquellas alrededor de la número 97. Las microcuencas 92, 96 y 77, 90, 91, 75 y 26, presentan mayor bienestar social con valor mayor a 0.7 en el índice. A excepción de la microcuenca número 77, las demás presentan una densidad poblacional (DP) baja.

De acuerdo al análisis por subcuenca de la Tabla III. 1, solo tres subcuencas manejan un nivel de bienestar social alto:

**Subcuenca 5:** Las microcuencas 73, 77, 78 81, 84, 87, 89, 93, 94, 95, 99, presentan un nivel de marginación de bajo a muy alto. En esta subcuenca, solo 249 viviendas habitadas de las 630 cuentan con ambos servicios de agua entubada y luz, mientras que 301 viviendas no cuentan con drenaje, un acto preocupante considerando que estas localidades forman parte de la cabecera de la cuenca .

Por su parte la población de Santa María Yavesía presenta un índice de marginación bajo (cuenca 87). Esto se debe a que en general la población cuenta con todos los servicios básicos; la educación presenta carencias sobre todo en el nivel de primaria. No obstante la mitad de la población tiene estudios de educación primaria (51.94%), le sigue los que poseen estudios de secundaria, que corresponde a 15.95%, solo el 10% desean continuar preparándose y para ello acuden al CECYTE, ubicado en el municipio de Ixtlán, desafortunadamente un problema que se presenta es la falta de transporte (PDM de Santa María Yavesía 2009 – 2011). En cuanto al cuidado al ambiente, este municipio se ha caracterizado por presentar una defensa activa hacia sus bosques (Trejo-Vázquez Com pers., 2015).

El municipio de San Miguel de Amatlán presenta mayor nivel de rezago (microcuenca 81), según datos del CONEVAL, 2010, se tiene un total de Viviendas que no disponen de drenaje (30.5% del total), viviendas con piso de tierra (24.1%), viviendas sin ningún bien (2.1%), viviendas con un solo cuarto (1.4%), viviendas que no disponen de energía eléctrica (0.7%) y viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública (0.4%), Población de 15 años y más con educación básica incompleta (74.1% del total), población sin derechohabencia a servicios de salud (66.6%), viviendas que no disponen de refrigerador

(59.9%), viviendas que no disponen de lavadora (48.2%), población de 15 años o más analfabeta (5.7%), población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (3%) y viviendas sin excusado/sanitario (0.4%).

De acuerdo a los datos del SIATL 2010), el 89 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas y solo el 10.78 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

**Subcuenca 6:** Las microcuencas 73, 77, 78, 75, 68 y 69, presentan un nivel de marginación de bajo a medio. La mayoría de las localidades presentes en esta subcuenca corresponden con el Municipio de Calpulalpan de Méndez. En general se observa que la mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 8 viviendas que no cuentan con drenaje.

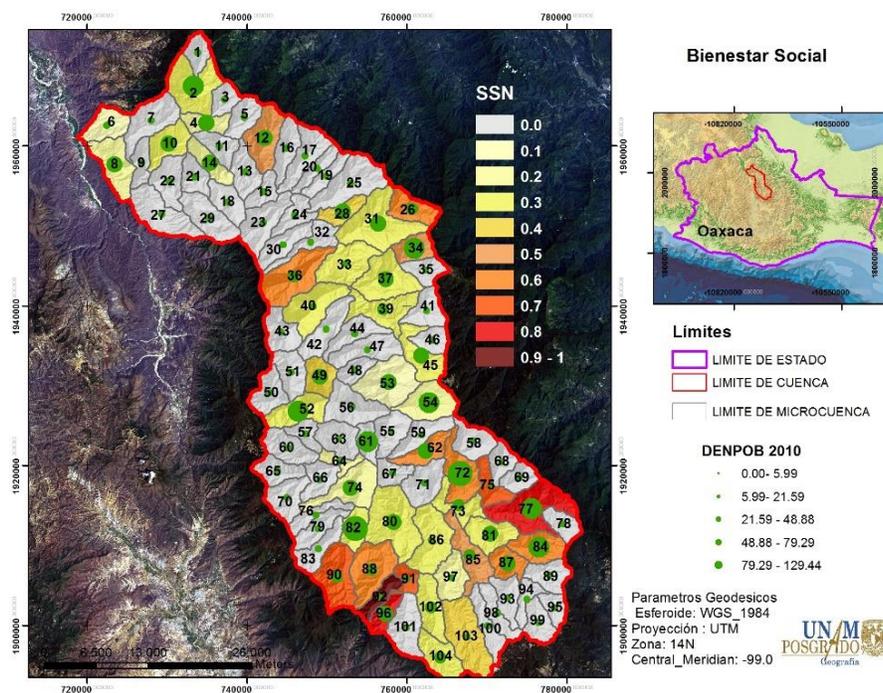
**La subcuenca 7:** Contiene a las microcuencas 72 y 58 presentan un nivel de marginación muy bajo. Estas localidades corresponden al municipio de Ixtlán de Juárez en su mayoría. En general se observa que la mayor parte de la población cuenta con todos los servicios básicos salvo 8 viviendas que no cuentan con drenaje, aunque en otros servicios relacionados con la educación por ejemplo, el grado promedio de escolaridad de la población es de 4.8 años, es decir, la mayor parte de la población no concluyó la primaria. La edad en que asisten más a la escuela es de 6 a 14 años.

De acuerdo a los datos del SIATL 2010), el 82 % de esta subcuenca se constituye por bosques y selvas y solo el 17.29 % presenta actividades agrícolas, pecuarias y forestales. No obstante, aunque es una región que se reconoce por el desarrollo sustentable de sus bosques se reporta tala no regulada en los mismos (PDM Ixtlán de Juárez Oaxaca 2009).

Dentro del área de cabecera es relevante hacer referencia a la subcuenca 3

**Subcuenca 3:** Para esta subcuenca que compone a las microcuencas 86, 91, 96, 92, 102 y 104, presentan un nivel de marginación de medio a muy alto. Las microcuencas con niveles de ,marginación medios 86, 91, 96 y 92 corresponden con las localidades de loma Grande y Rio Frio ambas pertenecientes al municipio de Santa Catarina Ixtepeji. Mientras que las localidades de mayor marginación en las microcuencas 102 y 104 corresponden en su Mayoría al municipio de Sta. Catarina Lachatao en la cabecera de cuenca. De las 360 viviendas habitadas solo 178 cuentan con servicio de luz y agua. Así mismo, al menos 152 y 76 no cuentan con drenaje y agua entubada respectivamente.

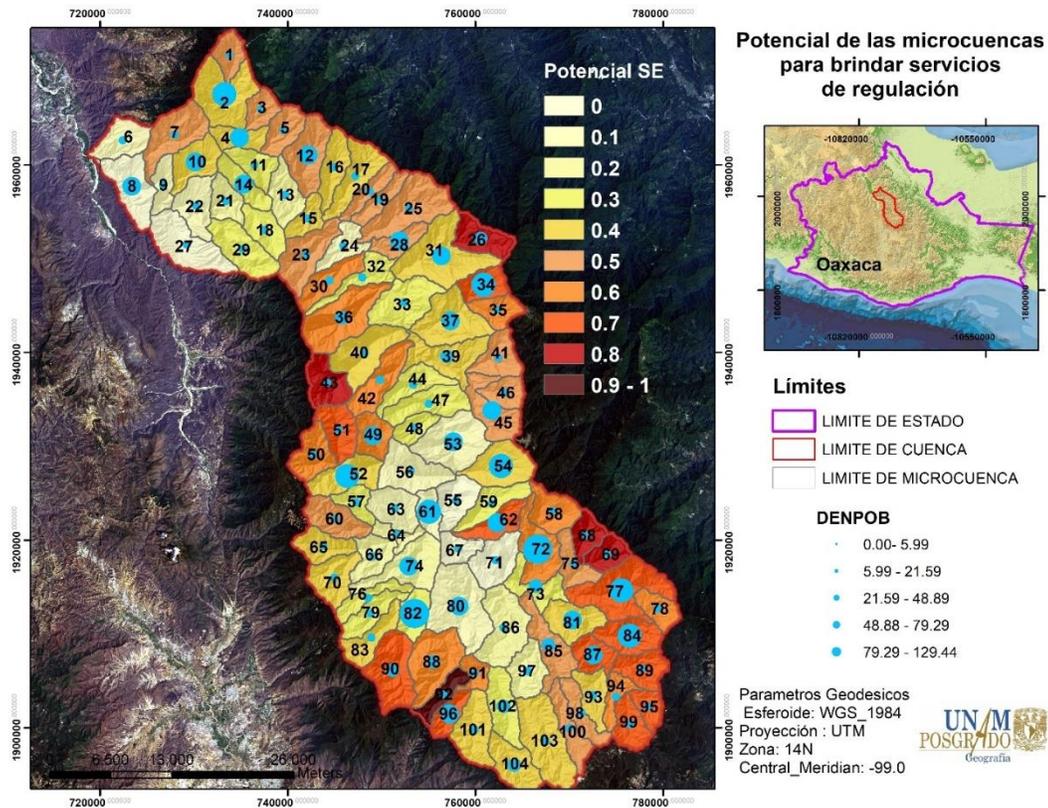
Para el municipio de Santa Catarina Lachatao presente en esta subcuenca, de acuerdo al PDM 2011- 2013, aunque los valores del INEGI y del CONAPO refieren que la población se encuentra con estudios de primaria, la realidad difiere, puesto que el aprovechamiento escolar es bajo, buena parte del alumnado a pesar de ir en los últimos grados de primaria, no sabe leer acorde a lo que marcan los estándares nacionales y por lo tanto no sabe escribir correctamente, lo cual impacta directamente en el aprovechamiento de todo los programas educativos. Una de las posibles causas es la falta de clases que no se imparten debido a movilizaciones y el ausentismo de los docentes. En la administración municipal se ha podido observar que un área de oportunidad es el trabajo en equipo entre los habitantes, donde existe un sentido de pertenencia como integrantes del pueblo de Santa Catarina Lachatao (PDM Santa Catarina Lachatao, 2011-2013). De acuerdo con los datos del SIATL 2010), alrededor del 79% de la subcuenca se constituye por bosques mientras que el 20.76% por actividades agrícolas pecuarias y forestales.



**Figura III. 9. Potencial de Bienestar social por microcuenca. Los puntos graduados representan la densidad poblacional en la zona.**

### III.1.2.3. Zonas Potenciales con estabilidad en los Servicios Ecosistémicos de Regulación

Del 100% de las microcuencas en la zona, solo el 10% cuenta con un valor superior a 0.7, 17% presenta un valor intermedio entre 0.5 y 0.7, mientras que el 71% cuenta con valores por debajo de 0.4.



**Figura III. 10. El mapa muestra las microcuencas con mayor estabilidad en los procesos de regulación.**

Las áreas potenciales para brindar SE de regulación enmarcan sitios donde existe una mayor estabilidad ambiental, es decir, el componente físico y social de la cuenca permanece estable y se representa por aquellas microcuencas con valores superiores a 0.7 en el índice de regulación (ver Figura III. 10). Es importante para estas cuencas mantener su estabilidad, con la finalidad de evitar futuras complicaciones ambientales y se proponen en este estudio como estratégicas para la conservación.

Se resalta la condición de las microcuencas 12 zona nor-este, 49 zona oeste y 28 norte, que aun cuando su valor de regulación resulta ser mayor a 0.7, presentan un índice de bienestar social por debajo de 0.5.

Se resalta la condición de las microcuencas correspondientes al municipio de Santa María Yavesía, Santiago Xiacuí y Capulálpam de Méndez en la zona sur y sur oeste de la cabecera de cuenca, que coincide con las microcuencas 87,89,94,95,99; 77,78.84 y 69, 68 donde el potencial erosivo es muy alto por arriba de 0.7, la cubierta vegetal es densa con valores mayores a 0.7 y el índice de bienestar social es medio a alto con un valor de 0.6 y 0.8.

La segunda zona al sur-este correspondiente con las subcuencas 1, 2 3 (según lo visto en el análisis de Bienestar Social), corresponde con sitios de alto potencial erosivo, pero la zona de cabecera se presenta una alta cobertura vegetal con valores por arriba de 0.7 en el índice, mientras que los niveles de bienestar social por ejemplo en la subcuenca 3 microcuencas 88, 91, 96 y 92 correspondiente con las localidades de loma Grande y Rio Frio ambas pertenecientes al municipio de Santa Catarina Ixtepeji, los valores de bienestar social son medios altos. Así la misma situación para las microcuencas a un costado 88 y 90.

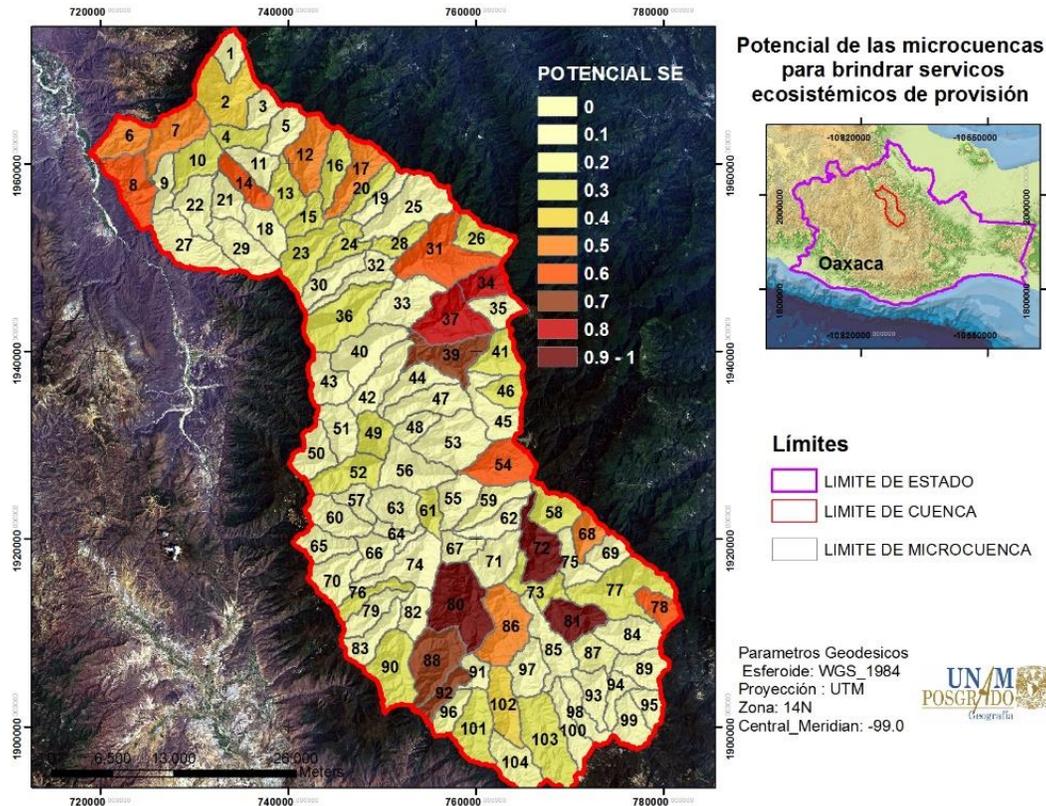
Finalmente los municipios de San Juan Bautista Atlatlahuca, Abejones y San Miguel Aloápam de la zona nor-oeste, donde se encuentran las microcuencas número 30, 36, 42, 43, 49, 50, 51, todas con un valor de cobertura vegetal mayor a 0.7 pero los índices de bienestar social son bajos.

En general como ya se ha mencionado casi toda el área de la cuenca presenta un potencial erosivo alto, la mayor cobertura vegetal se presenta en la cabecera de la cuenca y uno de los principales problemas en la zona son los índice de bienestar social pues son pocas las áreas que presentan un valor por arriba de 0.7. No obstante las áreas que pueden considerarse para la conservación según este servicios se muestran en el mapa Figura III.

### III.1.3. Provisión

#### III.1.3.1. Zonas Potenciales para Brindar Servicios de Provisión

Del 100% de las microcuencas el 50% ofrece algún tipo de servicio de provisión. Las microcuencas número 72, 80 y 81, resultaron tener los valores más altos en el índice. El 8% de las microcuencas cuenta con un valor mayor a 0.7, 11% con valores intermedios entre 0.5 y 0.7, 30% con un valor entre 0.1 y 0.5 (Figura III. 11)



**Figura III. 11. Potencial que presenta cada microcuenca en el aporte de SE de provisión**

Las zonas, de mayor aporte en SE de provisión correspondientes con el municipio de Santa Catarina Ixtepeji y en las microcuencas número 80, 88 y 92 del área sur-este con valores mayores a 0.7 en el índice sobresalen por su relevancia en la cantidad de manantiales que presentan y por su diversidad en cuanto la variedad de calabazas que se cultivan; la segunda en los municipios de San Pedro Yólox, Santiga Comaltepec y San Pablo Macuiltianguis de las cuencas 39, 37, 34, de la zona nor-este, con valores mayores a 0.7 por su aporte en el número de manantiales y su diversidad en cuanto la variedad de maíz que se cultivan. La microcuenca 81 correspondiente al municipio de Amatlán en

particular en este estudio sobresalió por su actividad minera y de extracción de bancos de material una de ellas se encuentra en el parteaguas de la microcuenca entre el municipio de Santa María Yavesia y San Juana Amatlán. La microcuenca 72 destaca por la diversidad de variedades de frijol que se manejan en la zona.

Un sitio relevante corresponde con la zona de descarga de la cuenca (microcuencas 6 y 8) donde se localiza la presa Matamba, Es allí, donde el agua de toda la cuenca converge y por lo tanto presenta mayor acumulación.

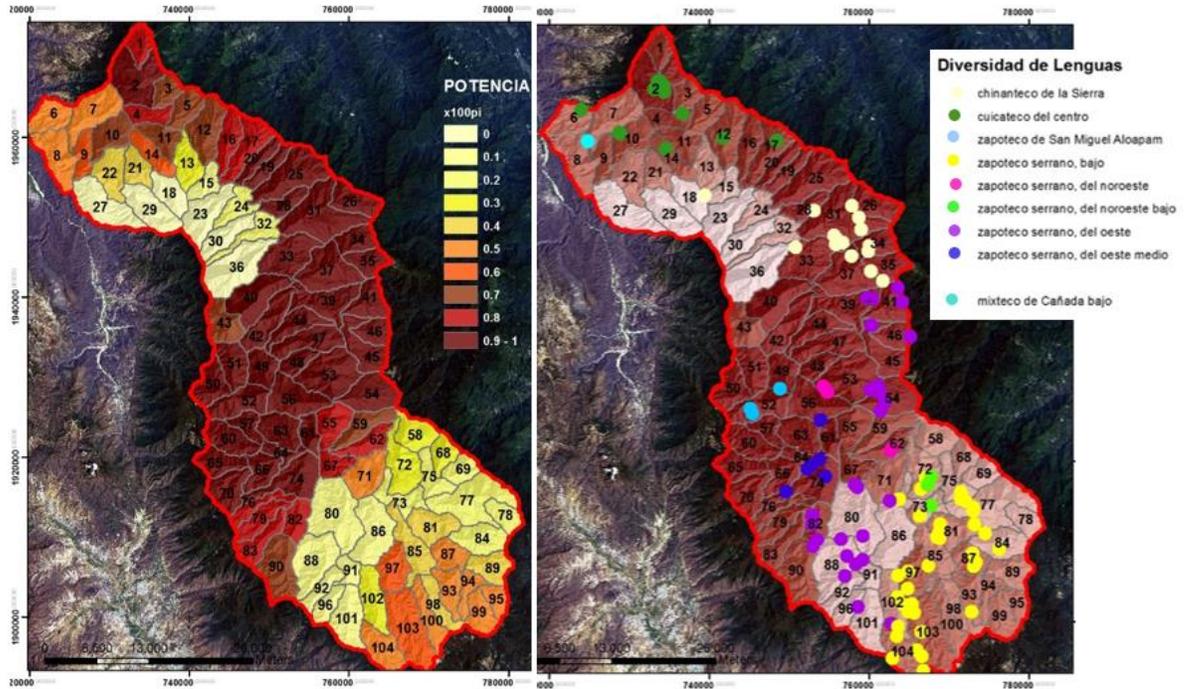
Finalmente, en la cabecera de cuenca (entre las microcuenca 78 y 84), se localizan 3 bancos de material

De los servicios que más predomina son los manantiales, seguidos de los cuerpos de agua, lo cual hace evidente la importancia de la zona en los servicios ecosistémicos relacionados con la provisión de agua.

#### III.2.4. Servicios Ecosistémicos Culturales

##### *III. 1.3.2. Población Indígena y Diversidad Cultural*

A lo largo de toda la cuenca, como se ve en la Figura III. 12 A, la mayor parte del territorio de la cuenca denota presencia de población indígena y diversidad cultural (Figura III. 12 B). Los resultados muestran que de las 103 microcuencas, el 54% presentan un dominio indígena de más del 70% sobre cada unidad, 14% cuenta con un dominio entre 50 y 70% y 33% con menos del 50 %. Se muestra la presencia de comunidades indígenas a lo largo de toda la cuenca, siendo más fuerte en la zona centro de la cuenca y con menor actividad en la zona de cabecera y zona de descarga.

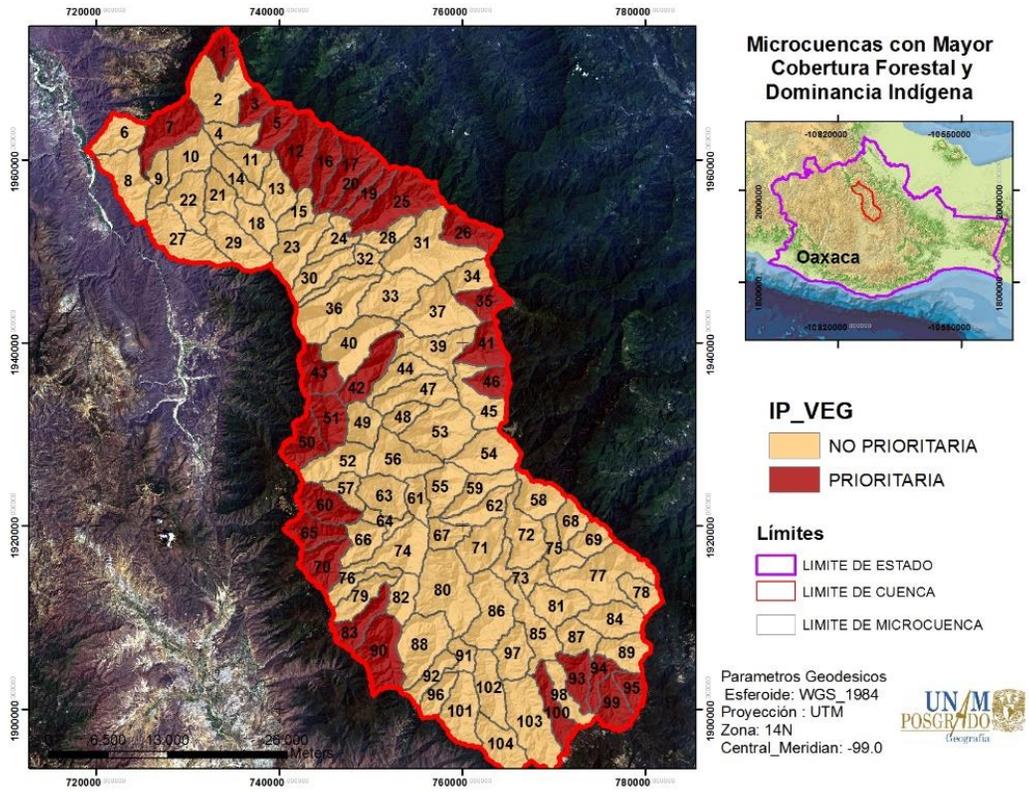


**Figura III. 12. A) Presencia de pueblos indígenas por microcuenca B) variantes de pueblos indígenas en la cuenca**

En cuanto a diversidad cultural (Figura III. 12 B), la mayoría de las poblaciones son de la agrupación lingüística zapoteco de la familia oto-mangue, aunque también se encuentran grupos de mixtecos, cuicateos y chinantecos. En general constituyen nueve variantes indígenas<sup>7</sup>, cada una con diferencias particulares entre sí y por tanto importantes *per se*. Se puede decir, a partir de los datos, que la cuenca es una Región importante por su diversidad cultural

Al integrar la dominancia indígena con las zonas de mayor cobertura vegetal como se muestra en la Figura III. 13, se tiene que las microcuencas donde los espacios no han sido altamente modificados o perturbados y la presencia de culturas indígenas es alta, en general corresponden a zonas de mayor altitud en la cuenca.

<sup>7</sup> La VARIANTE LINGÜÍSTICA es la categoría que alcanza el mayor grado de detalle de los niveles de catalogación y se define como una forma de habla que: a) presenta diferencias estructurales y léxicas en comparación con otras variantes de la misma agrupación lingüística; y b) implica para sus usuarios una identidad sociolingüística que contrasta con la identidad sociolingüística de los usuarios de otras variantes (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas, 2008) .



**Figura III. 13. Representación espacial de las microcuencas con dominancia Indígena mayor a 0.5 y EVI mayor a 0.5**

### III.1.3.3. Zonas Potenciales para Brindar Servicios Ecosistémicos

De las 103 cuencas presentes en el área de estudio. 20 de ellas que representan el 19% del total de la cuenca, cuentan con un valor de priorización superior o igual a 0.7; 31% presentan un valor medio entre 0.7 y 0.5, mientras que el 50% presenta valores por debajo de 0.5. Son las áreas con valor mayor a 0.7 donde la gama de SE es amplia y por lo tanto deberían ser prioritarias para establecer planes de protección y conservación (Figura III. 14). En este sentido, se puede resaltar que las microcuencas número 34, 12, 49, 28, 54 Y 2 (nombradas en orden de relevancia según el índice, con valores de priorización mayores a 0.7), cuentan con un valor menor a 0.6 en los SE de soporte, lo cual resalta la importancia de establecer medidas de mitigación en estas microcuencas.

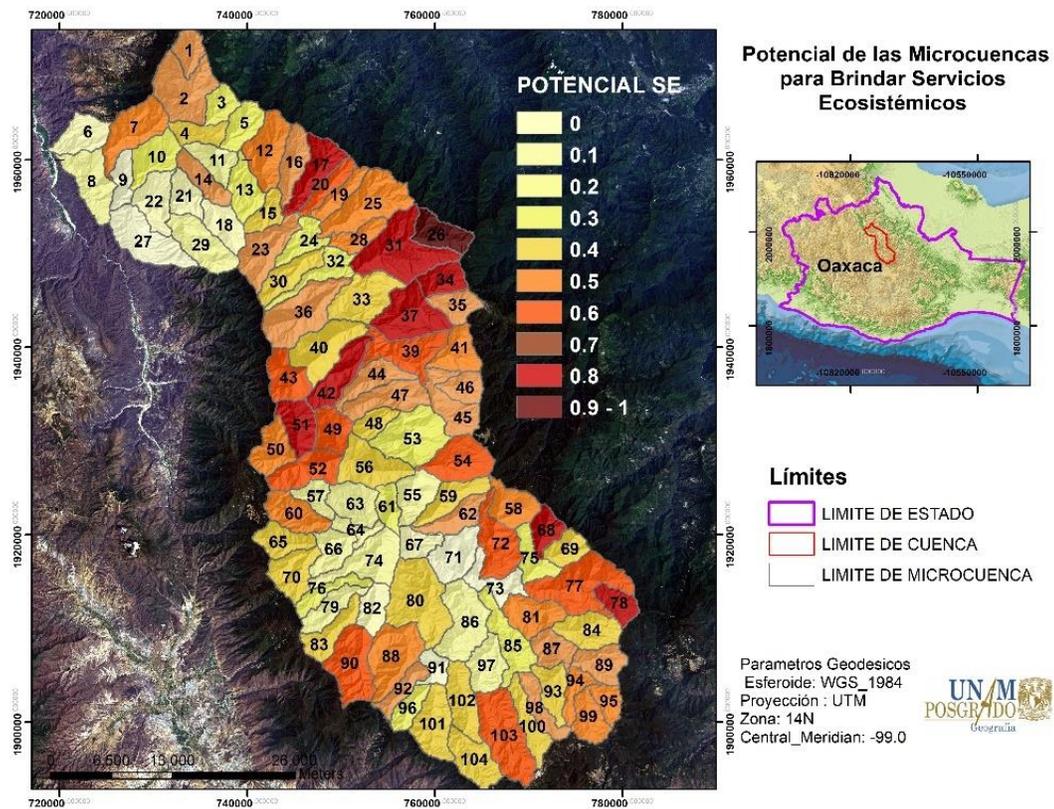


Figura III. 14. Microcuencas con mayor y menor aporte de SE

Aquellas microcuencas con potenciales medios para brindar SE, presentan valores mayores o iguales a 0.7 en al menos dos tipos de servicios y por lo tanto se recomienda tomar precaución en aquellas cuencas donde el valor de soporte es menor a 0.5, tal como el caso de las microcuencas 81, 92, 14, 46, 4, 40, 10, y 62 que aun cuando su potencial

para este caso es medio, su valor podría verse afectado por la falta del sostén que brindan los servicios de soporte.

## III.2 DISCUSIÓN

La Sierra Norte de Oaxaca (García-Mendoza *et al.*, 2004) y particularmente para este estudio, el afluente de mayor altitud de la cuenca R. Quiotepec ofrece a sus habitantes gran biodiversidad y amplia gama de Servicios Ecosistémicos (SE). La delimitación del espacio a partir del enfoque de cuenca y análisis de variables con distintos niveles de resolución espacial usados en este trabajo hasta llegar a las microcuencas, permitieron visualizar el espacio en unidades funcionales *per se* (las microcuencas ) y en conexión con el sistema que les rodea, de tal manera que fue posible identificar las características particulares de cada microcuenca en el aporte de SE, pero también identificar el aporte de cada una de ellas, en relación con la cuenca.

Los modelos de procesos ecológicos locales se pueden usar para describir procesos relacionados a escalas espaciales regionales si se consideran cuidadosamente las influencias entre ellas. Parte de este desafío es la traducción de modelos a partir de descripciones de procesos locales (es decir, de grano fino, de pequeña extensión) dentro de rodales o parches homogéneos (es decir, de grano largo, de gran extensión ) de paisajes heterogéneos como conjuntos agregados únicos (King, 1991).

De esta manera, considerando el enfoque de Servicios Ecosistémicos en las cuatro categorías propuestas por el MA (soporte, regulación, provisión y culturales), ha sido posible en este estudio obtener un mapa clave para identificar sitios que al día de hoy, aún conservan estabilidad ecosistémica y resultan de relevancia para la conservación (aquellos con valores mayores a 0.7 en el índice analizado). Sitios que por sus características y relevancia requieren esfuerzos para mitigar o restaurar funciones ecológicas que se han visto afectadas (valores entre 0.5 y 0.7 según el índice analizado), pero también, sitios que han sido transformados para satisfacer actividades económicas primarias que sustentan la calidad de vida de las familias y como en el caso de la agricultura, actividades que forman parte de la cadena de producción de alimentos para satisfacer a la población y en cuyo caso, tal vez sería necesario implementar mejoras en las prácticas de manejo (valores por debajo de 0.5).

La cuenca de estudio muestra una elevada heterogeneidad ambiental debido a su compleja fisiografía, lo cual le permite ofrecer diferentes tipos de SE. En primera instancia, la identificación de la condición actual de los SE de soporte analizados en este trabajo, permitieron determinar la capacidad o el potencial que tiene la cuenca para ofertar servicios, entendiendo que sin la presencia de estos sería difícil o imposible generar los demás. Siendo así, se analizó la condición de la cobertura vegetal, la disponibilidad del agua para proveer de su servicio al ecosistema; la heterogeneidad ambiental, como una variable indirecta para determinar diversidad y la recarga de acuíferos.

Considerando el punto anterior es necesario entender dos situaciones en este análisis. La primera refiere al potencial con el que cuenta cada microcuenca en la oferta del servicio y la segunda es la condición en la que se encuentra para realmente poder ofertarlo. En este sentido los SE como la provisión de agua al ecosistema y la heterogeneidad ambiental analizados en este estudio, se obtuvieron a partir de variables que determinan el potencial, pero dada la falta de medición de variables determinadas a partir del trabajo en campo, no se puede estimar la condición en la que se encuentra el servicio, es decir, no se cuenta con información para saber si la calidad ambiental para ofertar el servicio es óptima o no.

En el caso de la heterogeneidad ambiental, por ejemplo, aun cuando el análisis puede inferir una alta diversidad ambiental en las microcuencas, la pregunta sería ¿Cómo se encuentran la calidad ambiental y los niveles de conservación en las mismas para favorecer y mantener la diversidad? Se sabe que la diversidad y más aún la biodiversidad dependen del estado de conservación de los ecosistemas. La respuesta en este punto es que considerando las variables analizadas no es posible saberlo. Lo mismo pasa con el potencial para ofertar agua, con las variables analizadas en este estudio no se sabe cuanta y que calidad presentan. Resulta indispensable en un estudio como este (donde el área de trabajo es lo suficientemente extensa como para limitar el trabajo exhaustivo en campo, pero se requiere entender el espacio con una mayor resolución espacial), determinar y compensar el análisis con variables de fácil medición, que mejoren la resolución espacial y que sean clave para inferir el estado de las demás variables.

Considerando lo establecido en el párrafo anterior el análisis de cobertura vegetal en este estudio resultó ser primordial para la evaluación de los SE, ya que es una variable que está implícita en el soporte de otros servicios, pero además su medición puede llevarse a cabo a partir de imágenes satelitales con distintos niveles de resolución espacial, espectral

y temporal (misma que depende de los objetivos del estudio), Particularmente para los fines que confiere al presente, se pudo llevar a cabo con una mayor resolución espacial cuyo análisis mejoró la capacidad del modelo para poder inferir sobre el estado de conservación del espacio permitiendo así dar respuesta a la condición de los demás servicios.

Las microcuencas con mayor cobertura vegetal, en su mayoría se encuentran formando parches de alto valor en las zonas de mayor altitud. Este hecho resulta favorable ya que es aquí donde nacen las corrientes hidrológicas para la cuenca y por su función (principalmente de captación), es la zona de mayor fragilidad para que los SE sigan cumpliendo su función (Cotler, 2007). Dado que estas áreas también concuerdan con sitios de relevancia en la recarga de acuíferos y sitios de gran heterogeneidad ambiental, se observa en el mapa de SE de soporte que confieren valores altos que enmarcan áreas de conservación.

Por otro lado, en términos de los sitios de recarga en zonas altamente accidentadas como en esta cuenca, los flujos de agua tienden a ser de tipo local donde la **recarga** y descarga podrían estar presentes en el mismo valle, así, sus distancias de recorrido son cortas y con un tiempo que puede variar de días a pocos cientos de años. Este fenómeno podría explicar la presencia de manantiales o ríos perennes en la zona de cabecera de la cuenca.

En la área se observa un alto potencial de provisión de agua al ecosistema, mismo que se ve influenciado por el clima, la accidentada topografía que forma amplios valles, el suelo con capacidad para retener y transportar flujos de agua, la basta cobertura vegetal y por la recarga. Adicionalmente, todas las microcuencas de la zona de cabecera a excepción de la número 84 (la cual se caracteriza por su alta permeabilidad), cuenta con algún grado de actividad tectónica, que favorece el desarrollo de fallas que pueden comportarse como grandes poros que conducen el agua al subsuelo, pudiendo generar flujos de tipo local, intermedio o regional. Estos últimos dos, son flujos de mayor extensión que conducen el agua a valles aledaños localizados a un nivel topográfico menor y con una profundidad mayor según sea el caso. Esto resalta la importancia de identificar zonas de recarga y brindarles protección, ya que cualquier afectación que se genere en estos sitios, repercutirá en otros, días meses o años después, o bien, las afectaciones o impactos negativos presentes en un acuífero pudieron haber ocurrido cientos de años atrás (Tóth, 2009).

Por otro lado, los SE de Regulación elegidos para este estudio (sitios de importancia para regular eventos erosivos y zonas de mayor bienestar social), se enfocan en dos temas que por su naturaleza se relacionan con la vulnerabilidad y los riesgos de incurrir bajo determinadas circunstancias (como por ejemplo una baja estabilidad ambiental), en una degradación ambiental y social a causa de eventos catastróficos. La relación entre ambos servicios parte de la idea de la resiliencia, que en este caso depende tanto de las condiciones de los recursos naturales, en este caso la accidentada topografía que presenta la cuenca y que pone en manifiesto su potencial para incurrir en procesos de remoción de masa cuando se pierde la cobertura vegetal; como del nivel de conocimiento y de la capacidad de la población y sus instituciones para organizarse, aprender, gestionar sus recursos y hacer frente a sus problemáticas (Balvanera *et al.*, 2017). En este último punto se observa que la cuenca presenta un alto nivel de marginación donde solo el 15% de las microcuencas analizadas puede considerarse que son habitadas por comunidades con bajo nivel de marginación.

Si se considera que el bienestar social, está vinculado con el acceso a servicios básicos y los relacionados con la salud ambiental (Corlovan *et al.*, 2005). La falta de servicios públicos como el agua, sanitarios, drenaje y educación pueden llegar a causar serios problemas de salud ambiental, por ejemplo, la descarga de residuos urbanos al suelo y al agua, pueden sobrepasar la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, y provocar contaminación del suelo, agua potable, pérdidas en la diversidad ambiental y con ello la disminución de cualquier servicio ecosistémico útil para la población humana. Así mismo el déficit en el sistema educativos en las comunidades, debilita la capacidad de las mismas para impulsar y hacer frente a su desarrollo y bienestar (MA, 2005). En este sentido, cabe resaltar que la distribución de la población no es homogénea y se tienen áreas con mayor concentración de población que otras y diferentes grados de marginalidad donde los límites políticos no respetan la división de cuenca. Sin embargo, es un hecho que, en materia de protección civil, planificación y cuidado al ambiente, resulta conveniente integrar el enfoque de cuenca para el manejo de este espacio, ya que cualquier operación que se realice en ella, afecta de manera importante a todas las localidades presentes, sin importar este límite.

La mayor área de la cuenca, tiene potencial de alto a muy alto a presentar procesos de remoción en masa. que se observaron en los recorridos en campo. La conservación de la vegetación, contribuye a regular estos desastrosos eventos, pero su mantenimiento, está

relacionada con el manejo y gestión del uso del suelo. Particularmente, esta zona, tiene como una de sus actividades económicas primarias el uso y manejo de los bosques y, el nivel de organización comunitaria ha hecho posible que en los ejercicios de Planeación Comunitaria del Manejo del Territorio se hayan incluido acciones que contribuyen a mejorar las prácticas forestales con un enfoque ecológico (Chapela, 2007 y Aparicio, 2020). Estas acciones sin duda han contribuido que gran parte de la cabecera de la cuenca se mantenga en general con un buen nivel de cobertura vegetal como se ha visto en los resultados del presente estudio.

Si bien el empoderamiento de los pobladores hacia su territorio a través de constantes luchas históricas y recientes en defensa del mismo (Chapela, 2007; Chapela, 1993; López-Arzola, 2007; Grupo Mesofilo, 2013 y Aparicio, 2020), han sido un pilar para la conservación de los bosques en esta cuenca y ha generado un alto nivel de capital social que ha contribuido con su desarrollo, también es cierto que este empoderamiento se ha visto afectado negativamente por la marginación en que vive la mayoría de los habitantes de la región, la emigración de los jóvenes, la falta de escuelas o de un nivel educativo de calidad. Incluso el embate de las iniciativas conservacionistas (en pro de la preservación), o la falta de visión y comprensión de estos esfuerzos por parte de la sociedad urbana, son factores que limitan los alcances de la conservación y podrían poner en riesgo su presencia futura (Merino, 2008).

El mapa obtenido en el presente trabajo donde se enmarcan las áreas con mayor estabilidad en los procesos de regulación del ecosistema, discrimina sitios donde existe una mayor estabilidad ambiental, es decir, el componente físico y social de la cuenca permanece estable y se representa por aquellas microcuencas con valores superiores a 0.7 en el índice (ver Figura III. 8). Es importante para estas cuencas mantener su estabilidad, pero resulta importante también enfocarse en aquellas de bajo o medio valor, pues es allí donde las condiciones ameritan implementar acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes y con ello impulsar su estabilidad.

El enfoque de cuenca en este sentido permite visualizar la interconexión del espacio y la manera en cómo las prácticas llevadas a cabo en el mismo, tienen repercusiones positivas o negativas en las áreas cuenca abajo, por lo que resulta necesario disminuir la segregación observada para impulsar la participación y organización de las áreas que se observan más afectadas por la marginación, ya que bajo esta perspectiva se ha visto que algunos

subgrupos de la población pueden no tener la resiliencia para adaptarse debido a una carencia de recursos materiales, información pertinente, e infraestructura de salud pública. Identificar los sitios donde se pretende intervenir requiere además, una comprensión de las subpoblaciones demográficas o geográficas con mayor riesgo, ya que incluso pensando en que puede existir conciencia ambiental por parte de la población si no están satisfechas las necesidades básicas, su capacidad de prepararse para el futuro se ve deteriorada o se puede ver limitada (Corvalán *et al.*, 2005).

Los SE de provisión fueron medidos a partir de registros de estudios previos, ya que determinar este tipo de servicios considerando el tamaño de la cuenca y su gran diversidad, puede resultar una tarea exhaustiva. Por esta razón, se presentaron aquí algunos que son considerados como servicios diversos de importancia económica y especies de importancia agroecosistémica.

Ante la presencia de servicios ecosistémicos de provisión la cuenca, presenta un gran potencial para ofrecerlos. En primera instancia y como ya se ha mencionado, es una región considerada de importancia por el aprovechamiento de madera, particularmente de las zonas boscosas como el bosque de pino, de pino-encino y de oyamel, o por el aprovechamiento de leña en las zonas más secas como los bosques de encino arbustivo o la SBC (Ortega, 2004) o con cualquier otro SE que provenga del manejo del bosque como la colecta de hongos, obtención de resinas etc. Estos servicios de provisión no fueron evaluados en este análisis pero es relevante su mención por conformarse dentro de la vocación, historia y lecciones aprendidas en muchas regiones dentro de esta cuenca, a partir de las cuales se sabe que su aprovechamiento requiere control para asegurar su permanencia y para mantener la salud ecológica y social (Aparicio, 2020; Chapela, 2007 y Merino, 2008)

Por otro lado, la cuenca también es de relevancia por su gran capacidad de captación de agua, prueba de ello se tiene en la basta conformación de cuerpos de agua; ríos perennes a lo largo y ancho de toda la cuenca y manantiales presentes en ella incluso en las zonas de mayor altitud. Uno de estos manantiales y que vale la pena mencionar por su alto valor simbólico y su relación con la importancia del agua en esta región, es uno correspondiente con el municipio de Yavesía, en el cual se encuentra una piedra grabada zapoteca del periodo Posclásico, parte del paisaje ritual de los antiguos zapotecos. El tema al que alude es el de la serpiente representada con plumas en la cabeza (culebra del agua

persistente en las creencias de los zapotecos contemporáneos) y su asociación con el agua y las deidades de la lluvia. Estos lugares además de conformar un SE de provisión de agua, también son sitios sagrados considerados como umbrales que comunican la tierra con el interior del cerro (Luna, 2020) y constituyen un SE de carácter cultural.

Hasta aquí, los SE de provisión descritos y presentes en la cuenca, aunque deben ser manejados con control para asegurar su permanencia, se mantienen dentro de la vocación del bosque. No obstante existen algunos otros que requieren fuertes manipulaciones o incluso cambios de uso del suelo y aunque generan fuertes modificaciones en la dinámica ecosistémica, son relevantes para satisfacer necesidades de carácter social. Ante la presencia de estos servicios, se entiende que la interacción de las sociedades humanas con los ecosistemas, se lleva a cabo a partir de sistemas complejos de carácter teológico donde se modifican y hacen uso de los recursos naturales en pro del bienestar humano. De esta manera, impulsan las actividades productivas y económicas que se exigen como sociedad. (Balvanera y Cotler *op cit.*, 2009). El problema con estos servicios, es que hasta el día de hoy a pesar de ser necesarios en su mayoría generan fuertes impactos al ecosistema.

En la cuenca de estudio, en general las microcuencas situadas en el área de menor altitud, aunque no necesariamente de menor pendiente, se observa el mayor grado de perturbación particularmente por actividades agrícolas (ver Cap.II.1.4). Si bien en este estudio no se han considerado como sitios de relevancia para la conservación, si son sitios de relevancia en términos de servicios de provisión y donde es importante implementar mejoras en las prácticas de manejo orientadas hacia la sustentabilidad. Sobre este último punto, es necesario reconocer la importancia de las prácticas agrícolas como un servicio de provisión y no solo como elementos que generan consecuencias negativas a los ecosistemas (Tancoigne *et al.*, 2014). Uno de los enfoques que propone la contextualización de estas prácticas desde una perspectiva sustentable es el enfoque de socio-ecosistemas (SES) quien ayuda a reconocer la importancia de preservar la integridad del ecosistema y su vínculo con el bienestar de la población local (Mass, 2017). Los proyectos que suponen mejorar la sustentabilidad de los sistemas, no solo deben estar dirigidas a recuperar los SE naturales, sino también ofrecer una mejor calidad de vida a la población que depende de ellos, mejorando su espacio, su seguridad y las oportunidades de desarrollo.

Sobre este último párrafo, el cultivo de maíz, frijol, calabaza entre otras especies de cultivo en Oaxaca conllevan un historial milenario de prácticas y de uso de una gran diversidad de especies y sus variantes. El valor de la agrobiodiversidad en este sentido se puede concebir como una práctica de bajo impacto, en general destinada al autoconsumo y que donde se puede referir su importancia en al menos en 3 dimensiones: desde una dimensión social donde se incluye el valor que le dan los grupos sociales al conocimiento en general y al uso que se les puede dar en una amplia gama de alimentos; cultural por el vínculo entre el hombre y sus deidades con las plantas que lo alimentan, donde incluso algunas de ellas son empleadas en ceremonias sociales y religiosas y en lo ambiental como una estrategia para diversificar la producción ante la incertidumbre climática, para asegurar el abasto de la alimentación, mantener la diversidad genética y adaptar mejor la producción a los cambios (Escobar. 2006; Gonzales, 2016).

El resultado del mapa de agrobiodiversidad en este estudio, revela los sitios donde se tiene una mayor diversidad especies de maíz, frijol y calabaza. Estos esquemas de producción en general son de menor impacto y conforman parte del patrimonio legado de miles de años de tradición por lo que su conservación resulta importante dentro de las estrategias del desarrollo sustentable. No obstante, hasta ahora ha sido difícil plantear esquemas que permitan sustituir las prácticas de cultivo en masa por aquellas más amigables con el medio ambiente, por lo que es posible que en estos sitios se conserven esquemas, prácticas y conocimiento que permita impulsar este desarrollo. Es importante resaltar en este punto que el análisis realizado no considera una distribución potencial de las especies, ya que solo refleja sitios donde fue colectadas las variedades, por lo que es seguro que su distribución en las cuencas sea mayor. Así mismo en términos de agrobiodiversidad y considerando la riqueza cultural y biológica de la zona de estudio es posible afirmar que las plantas que se cultivan y usan son mucho mayores a las reportadas en este estudio pero no ha sido posible incluirlas dado el nivel de detalle que se requiere para realizar un estudio como este.

Finalmente en los SE de provisión la actividad minera en Oaxaca ha sido histórica, el gobierno mexicano ha justificado el otorgamiento de concesiones mineras como estrategia para promover el desarrollo. En la cuenca de estudio particularmente se identificaron tres áreas donde se tuvo aprovechamiento de bancos de material y minas (microcuenca 78, 81 y 88) las tres en la zona de cabecera de la cuenca. No obstante, esta regiones en la

actualidad, no comparten la visión homogénea de desarrollo impulsada por el gobierno mexicano y las empresas con relación al tema de la industria minera y del progreso, esto dadas las malas experiencias en la práctica de esta actividad (Fuente **et al.**, 2013). .

Estas comunidades poseen un conjunto de instituciones que favorecen la exigencia del derecho de consulta y de expresar otras nociones de desarrollo, y en su caso de sustentabilidad. Su valoración incorpora dimensiones culturales alternas con una valoración significativamente diferente a la puramente económica ofrecida por el gobierno mexicano y las empresas mineras y de manera especial, definida por los riesgos del deterioro de acceso al agua, tanto en la disminución de las fuentes de abastecimiento de agua de distintos manantiales como en la contaminación generada por los jales.

Hasta este punto es necesario resaltar que la minería y sus derivados forman parte fundamental de la vida cotidiana tanto rural como urbana, está presente en un sinnúmero de materiales que se usan en el día a día, simplemente para completar, sin agotar, se tiene en pleno proceso la denominada “tercera revolución industrial de la era informática y digital y el ingente requerimiento de componentes metalíferos y minerales para la producción en masa de nuevos productos electrónicos y digitales. Sin embargo el problema con las mineras en esta región, además de los serios problemas ambientales, ha sido la falta de claridad en las negociaciones, la sinceridad en las intenciones y la responsabilidad y compromiso social con las comunidades (Rodríguez 2012), tal vez en este punto se tendría que preguntar ¿Para quién es el desarrollo?. En este sentido, aun cuando la minería ofrece un servicio a la sociedad, en la cuenca de estudio se determina que es mayor el daño que ejerce que los beneficios obtenidos, ya que se debe entender que los daños a los servicios ecosistémicos en esta zona no sólo son un problema de riesgos e impactos sino que también son una deuda que supone pérdida patrimonial para las comunidades y sus ecosistemas

El último servicio analizado en este trabajo corresponde a los SE culturales. Para ello como ya se ha explicado, se consideró la diversidad de los pueblos indígenas dada la importancia que tiene su cultura, sus prácticas en la conservación y su conocimiento milenario. En este sentido cabe mencionar que la información con la que se cuenta permite solo aproximar o inferir los límites que estos territorios ocupan y particularmente en este trabajo las microcuencas sobre las cuales tiene injerencia la población indígena, pues como bien lo denota la CDI, (2009), la demarcación de las regiones indígenas de México es

sumamente compleja, ya que está sujeta a los procesos de cambio en las configuraciones de las poblaciones etnolingüísticas: procesos de mestizaje, aculturación o pérdida de las lenguas, migración en sus diferentes dimensiones (intermunicipal, interestatal, internacional, rural-rural, rural-urbana, definitiva, pendular o cíclica o de retorno), abandono o creación de nuevos asentamientos y la misma dinámica sociodemográfica de las poblaciones y grupos etnolingüísticos.

En el área de estudio se muestran determinantes las microcuencas de mayor dominancia indígena (ver Figura III. 13), donde más del 50% de la cuenca general, con valores mayores a 0.7 en el índice obtenido, se representa por estos pueblos. Aunado a esto, dada la diversidad de variantes indígenas, resulta difícil determinar qué área es o puede ser más importante ya que todas presentan gran relevancia. Sin embargo, considerando que las características del espacio son importantes en las prácticas de las distintas culturas, se pueden resaltar aquellas áreas que aún conservan parte de su estado natural, es decir, si las zonas han sido altamente modificadas por factores antropogénicos, las características del espacio donde inicialmente se desarrolló la cultura son ahora distintas y por tanto podría resultar más difícil a los pobladores llevar a cabo sus prácticas (ver Figura III. 13). Los sitios en general corresponden a zonas de mayor altitud en la cuenca.

Es importante mencionar en este último punto que el dominio de población indígena está determinado por el concepto de población indígena y algunas comunidades como la de Santa María Yavesia y Santa Catarina Lachatao, alrededor de las cuencas 93 y 103 de la zona sur, (donde los valores de dominancia indígena son medios y bajos) ha perdido en gran medida el idioma respectivo (particularmente zapoteco) a través de las generaciones, pero existe una fuerte resistencia por la permanencia de la cultura. Ante situaciones como esta, E. Boege, (2008), plantea la posibilidad de existir una adscripción voluntaria que permita a los pueblos indígenas, identificarse y ser reconocidos como tal, ya que aun cuando la lengua es patrimonio fundamental en la cosmovisión de cada cultura, es importante también reconocer la cultura legada, ya que mucho del conocimiento del territorio y la esencia de la visión permanecen aún activas en las prácticas de aquellas culturas que aún se identifican.

Por otro lado, lo anterior no quiere decir que las culturas donde se ha tenido mayor perturbación deban ser excluidas, ya que muchas veces en ellas se encuentra el secreto para la restauración. Esto lo ha mostrado el trabajo de Uprety *et al* (2012), quienes realizan

una síntesis de la literatura que muestra el potencial y éxito de la aplicación de los conocimientos tradicionales en la restauración ecológica. El trabajo concluye sobre lo imperante que es vincular los conocimientos tradicionales y la ciencia en proyectos de restauración ecológica. En este estudio como ya se ha mencionado el conocimiento tradicional en la práctica de los agroecosistemas está vinculado a estas poblaciones.

Finalmente el último mapa generado sobre SE que suma o intenta concentrar el valor de aporte de todos los SE analizados, es clave para identificar sitios que al día de hoy, aún conservan estabilidad ecosistémica y resultan de relevancia para la conservación. Son sitios que han sido identificados por aportar más de un servicio y potencializan una sinergia entre la conservación, su regulación, su productividad y sus prácticas culturales. El presente estudio por un lado, facilita la manera en que se puede explicar la importancia de cada espacio a partir de identificar el tipo de SE que ofrece, contribuye así a entender cómo se conforman las relaciones de dependencia entre distintos componentes del sistema y a partir de ellos dar una aproximación para evaluar la calidad ambiental del espacio y con ello poder determinar dónde es requerido enfocar esfuerzos para mantener, recuperar, implementar o mejorar el mismo de acuerdo a la oferta que brindan para mantener el funcionamiento del ecosistema. Representa una primera aproximación que puede explicarse a menor escala, para entender la dinámica del espacio a mayor escala espacial, con la intención de dirigir los esfuerzos de conservación y/o restauración acorde a las necesidades del mismo.

El mapa general, muestra que las zonas de mayor relevancia para la conservación en su mayoría se ubican en la cabecera de la cuenca (valores entre 0.7 y 1). Estas zonas representan sitios donde se tiene una buena estabilidad ecosistémica y actualmente aportan grandes beneficios a la cuenca en términos de SE. Así mismo los valores entre 0.5 y 0.6, determinan sitios con potencial para implementar estrategias de restauración ecológica, en el mapa se observa que en general acompañan o rodea a los sitios de mayor conservación por lo que su estabilidad amortigua, garantiza y protege la conservación de los sitios más conservados. Estos sitios reflejan además zonas que son de gran relevancia en el aporte de SE, pero alguno de sus componentes se encuentra fragmentado. En este sentido, los mapas finales que integran a cada SE en este estudio, son la clave para identificar el esfuerzo que debe realizarse para restaurar estos espacios en cada microcuenca o al conjunto de estas que conforman a las subcuencas.

Finalmente, se tienen aquellos valores entre 0 y 3 donde el nivel de pérdida de los SE es muy alto, en estos espacios nuevamente habrá que evaluar cuáles son las causas de la pérdida de estos servicios y en su caso aunque con mayores conflictos por lo regular sociales, evaluar la manera para poder implementar buenas prácticas, tal vez desde un enfoque socio-ecosistémico.

## **CONCLUSIONES**

El concepto de cuencas hidrográficas, ligado al funcionamiento de los ecosistemas y a su vez el vínculo entre los SE y el bienestar humano, han facilitado el análisis integral de la dinámica de un espacio y han permitido identificar zonas clave relacionadas con el bienestar de los ecosistemas de la cuenca de estudio.

Dada la limitada información a detalle en la cuenca, la morfometría resultó ser una herramienta útil en la caracterización de las microcuencas, ésta, al enfocarse en los rasgos fisiográficos, los cuales se obtuvieron con el MDE a 15 m de resolución espacial, permitió generar una caracterización a nivel de microcuenca con mayor detalle. Se pudieron identificar de primera instancia zonas de gran heterogeneidad ambiental, zonas con accidentada topografía potenciales a la erosión (lo cual fue constante en casi toda la cuenca) y brindó apoyo para analizar otras variables de menor resolución espacial. En general, la morfometría funciona como una herramienta de apoyo, pero requiere ser complementada con otras variables para poder explicar los fenómenos que se llevan a cabo en una microcuenca.

Las técnicas de teledetección, resultan ser una herramienta útil en la identificación y análisis de la dinámica y el estado actual de la vegetación, facilitan la generación de información y permiten obtener resultados con mayor grado de detalle. Sin embargo existen ciertas limitantes que pueden llegar a complicar el análisis, por ejemplo, se observó que la reflectancia varía entre distintos tipos de vegetación, así, zonas que se observaron conservadas en campo presentaron valores de EVI menores a 7 con respecto a otras igualmente conservadas con valores de 1; así también, los casos más complicados presentados en zonas de matorral y SBC, donde los valores de EVI resultan ser muy bajos y altos en zonas perturbadas con crecimiento de vegetación secundaria.

Es importante mencionar que, aun cuando estos índices resultan ser una herramienta que facilita el análisis de vegetación, se debe ser cuidadoso en el uso de los mismos, pues la resolución espacial, espectral, la dinámica de la vegetación, las condiciones atmosféricas, topográficas entre otras, modifican los valores de los índices y pueden subestimar o sobrestimar los resultados. En este trabajo, la utilización de la serie V de INEGI, facilitó el análisis y permitió asignar valores EVI por cada tipo, estado o uso de vegetación. Los resultados ayudaron a identificar microcuencas de alta, media y baja cobertura vegetal y el análisis es funcional en la comparación entre las microcuencas de toda la cuenca. No obstante, se debe aclarar que el aumento en la resolución espacial de la carta con respecto al de la imagen y la incertidumbre entre los valores por tipo de vegetación, generan cierta imprecisión en los resultados. Es así que se recomienda, de querer realizar un estudio tomando como unidad solo una de las microcuencas, utilizar una imagen con mayor resolución espacial y verificar nuevamente en campo los resultados, ya que como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, existe una alta heterogeneidad en una sola unidad.

Realizar una caracterización de parámetros físicos y sociales en un estudio con una doble dimensión en cuanto a escala espacial (es decir, la cuenca general es representativa de una región, pero las microcuencas analizadas en su interior representan áreas de mayor detalle), resulta una tarea compleja (sobre todo donde el área de trabajo es lo suficientemente extensa como para limitar el trabajo exhaustivo en campo, pero se requiere entender el espacio con una mayor resolución espacial), pero necesaria ya que sólo analizando las escalas de mayor y menor detalle es que se puede abordar de manera adecuada el carácter jerárquico de los ecosistemas. En este sentido, resulta indispensable determinar y compensar el análisis de las variables con menor resolución con variables de fácil medición que mejoren la resolución espacial y que sean clave para inferir el estado de las demás variables.

El análisis a partir de SE mostró la relevancia de cada espacio, se identificaron áreas de importancia para la conservación y se reconocieron aquellas áreas que han tenido usos intensivos y requieren mayor atención. En este sentido, aun cuando el mapa final muestra el aporte general de SE, resulta de mayor relevancia entender los procesos y el aporte de cada servicio en particular, lo cual permite generar mayor conciencia de la funcionalidad del sistema.

Como se ha mostrado, la cuenca de estudio, ofrece a sus habitantes gran biodiversidad y amplia gama de SE. Reconocer la variabilidad de servicios que ofrece un espacio, es una tarea que permite contextualizar la importancia del lugar, diversificar y optimizar los usos, al mismo tiempo que brinda una herramienta que podría facilitar el dialogo de interés común sobre el tema entre diferentes sectores sociales, promoviendo así, la concientización protección y gestión de sus ecosistemas boscosos.

La metodología empleada en el presente estudio, permitió identificar Servicios Ecosistémicos a nivel de microcuenca en las cuatro categorías propuestas por el MA (soporte, regulación, provisión y culturales) a partir de una selección de variables en función de la disponibilidad de datos espaciales en la zona de estudio y de su relevancia en términos de SE. Las funciones de valor y la normalización constituyeron una importante herramienta para poder comparar y relacionar las variables usadas en cada matriz ráster al unificar los valores. Así mismo, el uso de variables con mayor resolución espacial como las imágenes satelitales y la morfometría, conformaron un elemento clave para poder escalar la información de menor resolución espacial y así poder explicar a nivel de microcuenca la conformación de SE.

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se logró mostrar la relevancia de cada espacio en el aporte de SE, se identifican áreas de importancia para la conservación y se reconocen aquellas áreas que han tenido usos intensivos y requieren mayor atención por SE.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) Proyecto México para la Reducción de Emisiones por deforestación y degradación (M-REDD+), The Nature Conservancy, Rainforest Alliance, Woods Hole Research Center, Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable AC. Ellis, E.A., Romero Montero, J.A., Hernández Gómez, I.U., Anta-Fonseca, S. y LópezPaniagua, J.E. (2016). Determinantes de deforestación en el estado de Oaxaca. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), The Nature Conservancy (TNC), Alianza México REDD+, México, Distrito Federal.
- Alcamo, J., Ash, N., Butler, C. D., Callicott, J. B., Capistrano, D., Carpenter, S. R., & Zurek, M. (2003). Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. *World Health Organization (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Health synthesis: a Report of the Millennium Ecosystem Assessment.*
- Alder, J., Benin, S., Cassman, K., Cooper, D., Johns, T., Gaskell, J., Grainger, R., Kadungure, S., Otte, J., Rola, A., Watson, R., Wijkstrom, U., y Devendra. Food. *Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). Ecosystems and human well-being (Vol. 5).* Washington
- Aparicio, M. F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (LIMUSA). México. Retrieved from [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_-\\_Aparicio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf)
- Aquino-Vásquez, C., Ramírez-Juárez, J., Fuente-Carrasco, M. E., Méndez-Espinosa, J. A., Pérez-Ramírez, N., & Regalado-López, J. (2020). La Apropiación Forestal Comunitaria En La Sierra Juárez de Oaxaca Ante las Políticas Forestales. *Textual*, (75), 295-319.
- ArcGis, 10.1. (n.d.). Environmental System Research Institute, Inc (ESRI).
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM ( Landsat Data Continuity Mission ). *Documento Tecnico*. Retrieved from INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. *Capital Natural de Mexico, Vol. II: Estado de Conservacion Y Tendencias de Cambio, II*, 185–245. Retrieved from [http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II04\\_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf)

- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., & Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 141-149.
- Bartra, A. L. M. (2014). Los haceres de la sociedad en torno al medio ambiente. Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca, México. *Sociedad y ambiente*, (3), 72-88.
- Biao, Z., Wenhua, L., Gaudi, X., & Yu, X. (2010). Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value. *Ecological Economics*, 69(7), 1416-1426.
- Blum, W. E. H. (2005). Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4(3), 75–79. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>
- Boege, E. (2008a). De la conservación de facto a la conservación in situ. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad de los territorios indígenas. *Instituto Nacional de Antropología E Historia Y Comisión Nacional Para El Desarrollo de Los Pueblos Indígenas, México.*, 32–47. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Boege, E. (2008b). Regiones, territorio, lenguas y cultura de los pueblos indígenas. *El Patrimonio Biocultural de Los Pueblos Indígenas de México*, 48–79. Retrieved from [http://www.cdi.gob.mx/biodiversidad/biodiversidad\\_2\\_dos\\_48-79\\_eckart\\_boege.pdf](http://www.cdi.gob.mx/biodiversidad/biodiversidad_2_dos_48-79_eckart_boege.pdf)
- Boege, E. (2009a). Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz.
- Boege, E. (2009b). Retos y perspectivas de conservación en México. *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de Conservación Y Tendencias de Cambio.*, 49. Retrieved from [http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol\\_II/II00\\_Preliminares\\_Guia\\_de\\_lectura\\_Indice\\_Siglas.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol_II/II00_Preliminares_Guia_de_lectura_Indice_Siglas.pdf)
- Boege, E., & Chan, G. V. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. *Instituto Nacional de Antropología E Historia.*
- Boyer, C. R. (2006). Revolución Y Paternalismo ecológico : Miguel Ángel De Quevedo y La Política Forestal En México , 1926–1940.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.

- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. *Universidad Autónoma Metropolitana*, 288.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1988). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Última Reforma DOF 09-01-2015), 1–122.
- Carabias, J., & Provencio, E. (2016). Creación y consolidación de capacidades institucionales para la gestión ambiental. *Capital Natural de México, Vol. IV: Capacidades Humanas E Institucionales.*, IV, 37–49.
- Carranza, C. D., Bautista, F., Lanza, R. O., & Hernández, H. R. (2011). Classification and agroclimatic zoning using the relationship between precipitation and evapotranspiration in the state of Yucatán, Mexico. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (75), 51-60.
- Carrillo-rivera, J., Morales-manilla, L. M., & Angeles-serrano, G. (2002). Consideraciones geohidrológicas de la relación bosques – agua en la región de Sierra Gorda , Querétaro Realizada para el Instituto Nacional de Ecología a cargo de :, 1–59.
- Chapela, F. (2007). El manejo forestal comunitario indígena en la Sierra de Juárez, Oaxaca. Los bosques comunitarios de México. *Manejo sustentable de paisajes forestales*, 123-146.
- Chapela, F. J., & Lara, Y. (1993). Impacto de la política forestal sobre el valor de los bosques: El caso de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Estudios Rurales y Asesoría Campesina–WWF*.
- Corvalán, C., Hales, S., & McMichael, A. (2005). Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre salud. Un informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM). *Organización Mundial de la Salud. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*.
- Cruz-Bello G. (2013). **Diplomado en Geomática 2013**. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, 9º Diplomado en Geomática.
- CDI. (2009). *Regiones Indígenas de México*. Retrieved from [http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=245&Itemid=49](http://www.cdi.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=245&Itemid=49)
- CENAPRED. (2015). Regiones potenciales de deslizamiento de laderas en México', escala: 1:200000. edición: Primera. Centro Nacional de Prevención de Desastres . Distrito Federal Coyoacán.
- Challenger, A., & Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *Capital Natural*

de México, Vol. II Y Tendencias de Cambio, 37–73.

Chan, K. M., Shaw, M. R., Cameron, D. R., Underwood, E. C., & Daily, G. C. (2006). Conservation planning for ecosystem services. *PLoS biology*, 4(11), e379.

Chuvienco, E. (1996). *Fundamentos De Teledeteccion Espacial* (Rialp). Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=Chuvienco, E.>

CONABIO. (2010). Vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad acuática epicontinental de México, 2010.

CONABIO. (2014). Población indígena por localidad, 2010, escala: 1:1.

CONABIO. (2015a). Calabazas cultivadas y silvestres en México, escala: 1:1., (2015), 1–11.

CONABIO. (2015b). Distribución de maíces nativos en México, escala 1:1. *Comisión Nacional Para El Conocimiento Y Uso de La Biodiversidad. México, D.F.*, 1–8.

CONABIO. (2015c). *Frijoles domesticados ( cultivados y silvestres ) y otras especies silvestres de México escala: 1:1.*

CONANP-CONABIO. (2010). No Title.

CONAPO. (2005). Capítulo 2. Localidades, diferentes perspectivas. *CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN*, 15–20.

CONAPO. (2012a). Capítulo 3. Marginación de las localidades, 2010. *CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN*, 21–56. Retrieved from [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo03.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo03.pdf)

CONAPO. (2012b). Índice de Marginación por localidad 2010. *CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN*, 1, 11–14. Retrieved from [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo01.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/2010/documentoprincipal/Capitulo01.pdf)

Cotler, H. (2004). *El manejo integral de cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología* (Vol. 1).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Cotler, H. (Compiladora). (2007). *El manejo integral de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología* (Vol. 2).

Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., & Cuevas, M. L. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico Y Priorización.*, 231.

Cotler, H., & Priego, A. (2004). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: caso de la cuenca Lerma-Chapala, 17. <https://doi.org/10.4067/S0717-75262007000400006>

de la Federación, D. . (1988). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Última Reforma DOF 14-01-2017), 1–122.

Díaz, S., Tilman, D., Fargione, J., Chapin III, F. S., Dirzo, R., Kitzberger, T., ... Eardley, C. (2006). Biodiversity Regulation of Ecosystem Services. *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*, 297–329 ST–Biodiversity Regulation of Ecosystem.

Domingo, F., Villagarcía, L., & Were, A. (2003). ¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?: estado actual y evolución. *Ecosistemas*, 1.

Eitsch, S. L. N., Rnold, J. G. a, Iniry, J. R. K., Illiams, J. R. W., & Ing, K. W. K. (2002). V 2000. *Water Resources*.

ENVI 5.1. (2013). Exelis Visual Information Solution.

Escobar Moreno, D. A. (2006). Valoración campesina de la diversidad del maíz estudio de caso de dos comunidades indígenas en Oaxaca, México: tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona,.

Espinosa, D., Ocegueda, S., Aguilar, C., Flores, O., Llorente-Bousquets, J., & Vázquez, B. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *Capital natural de México*, 1, 33-65.

Falkenmark, M. (1997). Society's interaction with the water cycle: a conceptual framework for a more holistic approach. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 451–466. <https://doi.org/10.1080/02626669709492046>

- FAO. (2009). ¿Por qué invertir en la ordenación de las Cuencas Hidrográficas? *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación*, 10.
- Fernandez, V. T. (2009). *Balance Hídrico en la Parte Alta del Río Papaloapan como Herramienta para Servicios Ambientales Hidrológicos*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/20695494>  
<http://www.jstor.org/>action/showPublisher?publisherCode=iif.
- Fuentes, J. D. J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. *Instituto Nacional de Ecología*, 1–47. Retrieved from [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
- Fuente, M. E., & Barkin, D. (2013). La minería como factor de desarrollo en la Sierra Juárez de Oaxaca. Una valoración ética. *Problemas del desarrollo*, 44(172), 123-144.
- Fuente, M. E., & Barkin, D. (2013). La minería como factor de desarrollo en la Sierra Juárez de Oaxaca. Una valoración ética. *Problemas del desarrollo*, 44(172), 123-144.
- González-Amaro, R. M. (2016). Usos locales y preferencias de consumo como factores de la diversidad del maíz nativo de Oaxaca.
- García-Mendoza, A. J., Díaz, M. D. J. O., & Briones-Salas, M. (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. México, UNAM.
- García, E.-C. N. para el C. y U. de la B. (CONABIO). (1998). "Climas" (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000 México.
- Gasca Zamora, J., López Pardo, G., Palomino Villavicencio, B., & Mathus Alonso, M. (2010). La gestión comunitaria de recursos naturales y ecoturísticos en la Sierra Norte de Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Geissert, D., & Enríquez, F. E. (2004). La geomorfología. *Los Tuxtlas. El Paisaje de La Sierra*, (48), 159–178. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i48.12238>
- Gómez, R. A. (2009). *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Gonzalez, P, Hassan R., Lakyda, P., McCallum I., Nilsson S., Pulhin, J., van Rosenberg, B. Scholes B. (2005). Forest and Woodland Systems. *Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). Ecosystems and human well-being (Vol. 5)*. Washington

- Granstrand, O., y Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90(91), 102098.
- Grêt-Regamey, A., Walz, A., & Bebi, P. (2008). Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions. *Mountain Research and Development*, 28(2), 156-166.
- Grupo Mesófilo, A. C. (2013). Oaxaca, diagnóstico del sector forestal. Oaxaca, Oaxaca.
- Gudynas, E. (1999). Concepciones de la naturaleza y desarrollo en América Latina. *Persona Y Sociedad*, 13(1995), 101–125.
- Hassan, R. M., Scholes, R., & Ash, N. (2005). Ecosystems and Human Well-being - Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. *The Millennium Ecosystem Assessment Series (v. 1)*, xxi, 917. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.016>
- Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological conservation*, 142(1), 14-32.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 13(1), 350–361.
- Horton, R. E. (1945). Geological Society of America Bulletin. *Geological Society Of America Bulletin*, 56(1), 151–180. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56)
- ICOG, (Ilustre colegio oficial de Geólogos). (2015). Geología para la Sociedad.
- López-Arzola, R. (2007). El empoderamiento del manejo forestal comunitario en Oaxaca. La Unión de Comunidades Forestales y Ejidos de Oaxaca, 1985-1996. D. Bray, L. Merino y D. Barry op. cit.
- Ibáñez, S. A. R. A., Moreno, H., & Gisbert, J. M. I. B. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. Universidad politécnica de Valencia.
- INEGI. (2006). Sistema de Descarga del Continuo de Elevacion Mexicano con Resolución de 15 m (MDE) . *Direccion General de Geografia*.
- INEGI. (2009). Diccionario de datos Topográficos, escala 1:50 000, 0(Versión 3). Retrieved from <http://www.bne.gob.es/es/Micrositios/Guias/DiccionarioPremis/index.html>

- INEGI. (2010). Documento Técnico Descriptivo De La Red Hidrográfica Escala 1:50 000 (Edición 2.0), 1–106.
- INEGI. (2013). Capa UnionConjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa unión)', escala: 1:250000. edición: 2a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.
- INEGI. (2014). Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos, escala 1:250,000, Serie II. *Instituto Nacional de Estadística Y Geografía, México.*, 1–5. Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/eda250s2gw>
- INEGI, (Geoportal de CONABIO). (2012). Localidades de la República Mexicana , 2010. Escala: 1:1, (2012), 1–4.
- Instituto Nacional de Lenguas Indígenas. (2008). Catálogo de las lenguas indígenas nacionales : variantes lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas. *Diario Oficial*, 371. Retrieved from <http://ezproxy.uacj.mx/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00445a&AN=uacj.361678&lang=es&site=eds-live>
- Janetos, A., & Kasperson, R. (2005). Synthesis: condition and trends in systems and services, trade-offs for human well-being, and implications for the future. ... *Human Well-Being: ...*, 829–837. Retrieved from <http://www.windowview.org/download/MAassessmentPDFs/28.synthesis.document.297.aspx.pdf>
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19, 41–68. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Jónsson, J. Ö. G., & Davídsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>
- King, A. W., Johnson, A. R., & O'Neill, R. V. (1991). Transmutation and functional representation of heterogeneous landscapes. *Landscape Ecology*, 5(4), 239-253.
- Lara-Lara, J. R., Ileana, M., Carbajal, E., Guzmán, M., Lydia, A., López, M., ... Núñez, M. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *Capital Natural de México*, 1, 109–134.

- Leff, E. (2000). Espacio, lugar y tiempo: la reapropiación social de la naturaleza y la construcción local de la racionalidad ambiental. *Desenvolvimento E Meio Ambiente*, (1), 57–69. <https://doi.org/10.5380/dma.v1i0.3057>
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: la reapropiación de la naturaleza. La reapropiación social de la naturaleza*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Racionalidad+ambiental#2>
- Liu, H. Q., & Huete, A. (1995). Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 457–465. <https://doi.org/10.1109/36.377946>
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453–457.
- Lugo-Olguín, D.S. (2009). Evaluación de experiencias de Conservación Comunitaria en dos comunidades del Estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.
- Maass, J.M. 2003. Principios generales sobre manejo de ecosistemas. En: Sánchez, Ó., E. Vega-Peña, E. Peters y O. Monroy-Vilchis. Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México. INE, U. S. Fish & Wildlife Service, Ford Foundation., México, D. F. Pp:117-136.
- Maass, M., & Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *El Manejo Integral de Cuencas En México: Estudios Y Reflexiones Para Orientar La Política Ambiental*, 41–58.
- Maass, M. (2017). Integrating food-water-energy research through a socio-ecosystem approach. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 48.
- Maass, M., & Equihua, M. (2015). Earth stewardship, socioecosystems, the need for a transdisciplinary approach and the role of the International Long Term Ecological Research Network (ILTER). In *Earth Stewardship* (pp. 217-233). Springer, Cham.

- Manzo Delgado, L. (2009). Análisis satelital multitemporal de la vegetación. *En Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*. (Colección). Instituto de Geografía de la UNAM, Mexico.
- Marín-C, S., & Torres- Ruata, C. (1990). Hidrogeología. In *Atlas Nacional de México. Vol. II Escala 1: 4000000* (pp. 7–10).
- MEA. (2003). Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. Millennium Ecosystem Assessment. *Evaluación de Ecosistemas Del Milenio*, 1–20.
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: desertification synthesis. Ecosystems and human well-being*. Millennium Ecosystem Assessment <https://doi.org/ISBN: 1-56973-590-5>
- Merino, L. (2008). Conservación comunitaria en la cuenca alta del Papaloapan, Sierra Norte de Oaxaca. *Nueva antropología*, 21(68), 37-49.
- Morales Damián, M. A. (2010a). Hombre y medio ambiente en el pensamiento prehispánico. *Patrimonio, Identidad Y Complejidad Social: Enfoques Interdisciplinarios*, (January 2010), 71–80.
- Morales Damián, M. A. (2010b). Hombre y medio ambiente en el pensamiento prehispánico. *Patrimonio, Identidad Y Complejidad Social: Enfoques Interdisciplinarios*, (February), 71–80.
- Nichols, W. F., Killingbeck, K. T., & August, P. V. (1998). The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity II. A landscape perspective. *Conservation Biology*, 12(2), 371–379. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.96238.x>
- Odum EP (1953) Fundamentals of ecology. W.B. Saunders, Philadelphia.
- ONU. (n.d.). Departamento de Asuntos Economicos y Sociales; División de Desarrollo Sostenible. Retrieved from <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/index.htm>
- Orijel, R. G., Ortuño, I. S., Levy, P. B., Miguel, A., Baqueiro, F., & Martorell, C. (2008). Grupos funcionales. *Capital Natural de México*, 1, 365–412. <https://doi.org/10.3989/scimar.2005.69n131>
- Ortega, L. P. (2004). Las comunidades indígenas forestales de la Sierra de Juárez Oaxaca, México Estudio de Caso sobre innovación participativa, 1–38.

- Ortiz, O. (2004). Evaluación Hidrológica. *Hidrored*.
- Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 25-44.
- Pérez, L. M. (2008). Conservación comunitaria en la cuenca alta del Papaloapan, Sierra Norte de Oaxaca. *Nueva Antropología. Revista de Ciencias Sociales*, (68), 37-49.
- PMDS, 2008-2020, Plan Municipal de Desarrollo 2008-2020, Teococuilco de Marcos Perez, Ixtlan de Juarez Oaxaca.
- PMDS, 2011- 2013. Plan Municipal De Desarrollo 2011-2013, H. Ayuntamiento De Nuevo Zoquiapam
- Rodríguez, N. J., & sede Oaxaca, P. U. (2012). Aproximaciones sobre minería y pueblos indios en México: contextos, conflictos y tránsitos posibles.
- Salzman, J., Bennett, G., Carroll, N., Goldstein, A., & Jenkins, M. (2018). The global status and trends of Payments for Ecosystem Services. *Nature Sustainability*, 1(3), 136-144.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., ... de la Maza, J. (2009). Capital Natural de Mexico. Síntesis: Conocimiento actual y perspectivas de sustentabilidad. *Comisión Nacional Para El Conocimiento Y Uso de La Biodiversidad*, 104. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SEMARNAT. (2004). Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000.
- SGM, (Servicio Geológico Mexicano). (n.d.). Cartas Geológicas impresas editadas por el Servicio Geológico Mexicano . En línea 2014. Retrieved from <https://mapasims.sgm.gob.mx/CartasDisponibles/>
- Siebe, C., & Jahn, R. (1996). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*.
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J. P., & Richard, G. (2014). The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 10, 35-48.
- Tóth, J. (2009). *Gravitational systems of groundwater flow: theory, evaluation, and utilization*. Cambridge University Press (Vol. 48). <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2010.00756.x>
- Trabucchi, M., Ntshotsho, P., O'Farrell, P., & Comín, F. A. (2012). Ecosystem service trends in

basin-scale restoration initiatives: a review. *Journal of environmental management*, 111, 18-23.

UNAM, (Centro de Ciencias de la Atmosfera). (2009). UNIATMOS - UNAM.

Upreti, Y., Asselin, H., Bergeron, Y., Doyon, F., & Boucher, J.-F. (2012). Contribution of Traditional Knowledge to Ecological Restoration: Practices and Applications. *Ecoscience*, 19(3), 225–237. <https://doi.org/10.2980/19-3-3530>

Uribe, N. (2010). ( Soil and Water Assessment Tool ) Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, 1–47. Retrieved from <http://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

Villegas Flores, N. (2009). *Análisis de valor en la toma de decisiones*. Departamento de Ingeniería de la Construcción - Universidad Politécnica de Cataluña. Universitat Politècnica de Catalunya.

Villón, M. (2004). *Hidrología* (Editorial). Costa Rica. Retrieved from <http://documents.tips/documents/hidrologia-maximo-villon-bejarpdf.html>

Westman, W. E. (1977). How much are nature's services worth?. *Science*, 197(4307), 960-964.

Winchell, M., Srinivasan, R., Luzio, M. Di, & Arnold, J. (2009). Arcswat 2.3. 4 interface for swat2005. *Grassland, Soil and Research*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ArcSWAT+Interface+For+SWAT2005#2>

World Health Organization (WHO). (2005). *Ecosistemas y bienestar humano*.

Sze Choo, P., Cooper, H., Devendra, Dixon, J., Gaskell, J., Khan, S., Lal, R., Lipper, L., Pretty, J., Primavera, J., Ramankutty, N., Viglizzo y E., Wiebe K. (2005). *Cultivated Systems. Ecosystems and Human Well-Being: Health synthesis: a Report of the Millennium Ecosystem Assessment*.

# ANEXOS

## Anexo 1. Observables

| GRUPOS DE OBSERVABLES                               | OBSERVABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | MUESTRA                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diagnóstico ambiental general de la zona de estudio | <p>Información general sobre el municipio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Localidades, población total, densidad de población, servicios de la población, grupos indígenas, actividades económicas principales, ejidos, características hidrológicas principales, ecosistemas</li> <li>Vegetación (programas de manejo forestal entre otros), suelo, Hidrología, cultura, gobierno y en general cualquier estudio geográfico</li> <li>Clima, precipitación, temperatura,</li> </ul> | <p>BASES DE DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>INEGI</li> <li>Artículos, Programas de Ordenamiento ecológico y territorial, Planes Municipales etc.</li> <li>Estaciones meteorológicas, UNIATMOS.</li> </ul>                                                                     |
| Análisis de vegetación y uso de suelo               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estado de la Vegetación</li> <li>Identificación de zonas con potencial de conservación</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cartas vectoriales de Vegetación y uso de suelo, (INEGI, CONABIO, CONAFOR, Imágenes Satelitales Landsat (NDVI, EVI y NDWI) y Verificación en campo</li> </ul>                                                                                            |
| Análisis topográfico                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de cuerpos de Agua, manantiales, minas, canales, presas etc., (servicios proveedores del ecosistema)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación de las características del relieve (pendiente, orientación y altitud)</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                      | <p>INEGI: Mapa topográfico y MDE</p>                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Análisis Hidrológico                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Delimitación de la subcuenca y microcuencas</li> <li>Cantidad de Agua ( precipitación, Evapotranspiración, escurrimiento superficial)</li> <li>Zonas con probabilidad de inundación y erosión</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Modelo swat: MDE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>mapas de suelo, vegetación, clima, ríos, uso de suelo, MDE)</li> </ul> <p>UNIATMOS, INEGI (SIATL)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mapas genéricos de Riesgos (Geo información CONABIO;INEGI, MDE, UNIATMOS</li> </ul> |
| Parámetros Climáticos                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Precipitación, Temperatura, Evapotranspiración</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>UNIATMOS</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Zonas de Importancia Antrópica y Cultural           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas de recreación, ecoturismo, espirituales y/o sagrados, sitios de inspiración, identidad etc.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Documentos en general de la zona de estudio, INEGI</li> <li>Diversidad lingüística</li> <li>Zonas Arqueológicas</li> </ul>                                                                                                                               |

## Anexo 2. A) Clasificación Morfométrica y B) Mapas Morfométricos

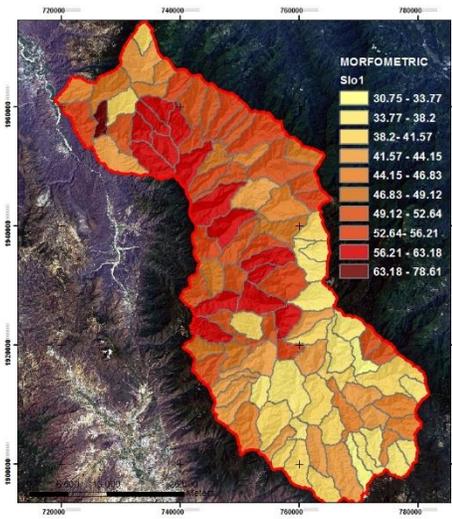
A)

| Característica Morfométrica          | FORMULA             | Importancia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Serv Ecosistemico                 | Clasificación                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desnivel altitudinal (en m)          | ALT BAJA - ALT ALTA | Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica. Una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. Del area de la cuenca depende el volumen de captacion y los escurrimientos que se tengan, así como la magnitud del caudal. Se establecieron tamaños relativos a las mismas cuencas. | Soporte (equilibrio ecosistemico) | 448 a 1220 Bajo<br>1221 a 1841 Medio<br>1841 a 3354 Alto                                                                                                                                                                                |
| Area de la cuenca (Km <sup>2</sup> ) | SWAT                | Es el promedio de las pendientes de la cuenca, es un parámetro muy importante que determina el tiempo de concentración y su influencia en las máximas crecidas y en el potencial de degradación de la cuenca, sobre todo en terrenos desprotegidos de cobertura vegetal                                                                                                                                                                                                                   | Soporte<br>Provision de agua      | A menor tamaño, menor capacidad de coleccionar agua y menor volumen de ésta<br>7.99 a 18.29 pequeña<br>18.29 a 23.74 mediana y<br>23.74 a 44.72 grande                                                                                  |
| Pendiente media de la cuenca %       | SWAT                | Corriente de mayor longitud medida desde la parte mas alta de la cuenca hasta su salida. Influye en el tiempo de concentración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Regulación                        | A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua y erosion y menor tiempo de concentración y menor infiltración.<br>0 a 5% suave, plano o semiplano<br>5 a 9% moderada<br>9 a 18% fuertemente inclinada<br>18 a > escarpada |
| longitud del cause principal (Km)    | SWAT                | Es el promedio de las pendientes del cauce principal. Se relaciona directamente con la magnitud del sacavamiento o erosion en profundidad y con la capacidad de transporte de sedimentos en suspension y de arastre. A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración.                                                                                                                                                    | Provision de agua                 | A mayor longitud (km) mayor concentración.<br>6.08 - 8.23 Corto<br>8.23.08 - 11.22 Mediano<br>11.22 - 16.69 Largo                                                                                                                       |
| Pendiente del cauce principal CSI %  | SWAT                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Regulación                        | A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua y erosion y menor tiempo de concentración y menor infiltración.<br>0 a 5% suave, plano o semiplano<br>5 a 9% moderada<br>9 a 18% fuertemente inclinada<br>18 a > escarpada |

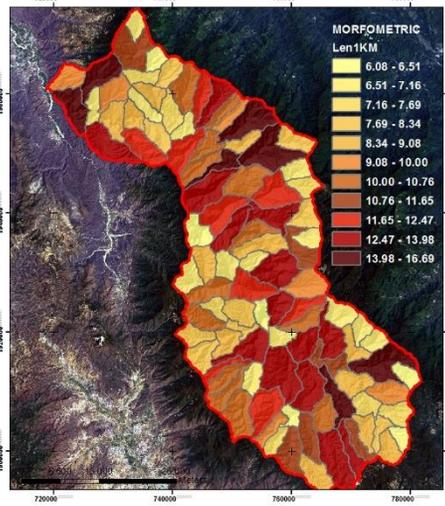
| Característica Morfometrica                              | FORMULA                                                                                | Importancia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Serv Ecosistemico | Clasificación                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Factor de forma (Ff) (Km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ) | $F=A/L^2$                                                                              | Es la relación entre el area de la cuenca y la longitud del cauce principal . Mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rapidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según su valor de forma tienda a valores extremos grandes y pequeños respectivamente. denota la forma redondeada o alargada de la cuenca.                               | Provision de agua | Valores pequeños crecidas lentas y sostenidas mayor concentración de agua (cuencas redondas)<br>0.01 - 0.18 muy poco redonda<br>0.19 - 0.36 ligeramente redonda<br>0.36 - 0.54 moderadamente redonda |
| Coefficiente de Masividad (km/Km <sup>2</sup> )          | $Km=\text{altura media de la cuenca /area de la cuenca km}^2$                          | Representa la relacion entre la altitud media de la cuenca y su superficie. Una cuenca montañosa implica mayor energía y mayor precipitación en general.                                                                                                                                                                                               | Provision de agua | 0 a 35<br>moderadamente montañosa<br>35 a 70 montañosa<br>70 a 105 muy montañosa                                                                                                                     |
| Coefficiente orografico (Co) (km/km <sup>2</sup> )       | $Co=\text{altura media} * Km \text{ ó } Co=(\text{altmed}^2)/\text{area de la cuenca}$ | de Martone (1940), complementario de Km se obtiene multiplicando la altura media por en coeficiente de masividad. Este parámetro expresa el potencial de degradación de la cuenca, crece mientras que la altura media del relieve aumenta y la proyección del área de la cuenca disminuye. Asi volores altos son indicativos de gran capacidad erosiva | Regulación        | 41104 - 110000 Bajo<br>110000 - 200000 Medio<br>200000 - 829490 Alto                                                                                                                                 |

| Característica Morfométrica                       | FORMULA                                                                                                     | Importancia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Serv Ecosistemico            | Clasificación                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tiempo de Concentración Tc (min)                  | $Tc=13.548(L^2/H)^{0.77}$<br>L= Longitud del cauce principal km <sup>2</sup><br>H=diferencia de alturas (m) | Es el tiempo que toma la partícula, hidráulicamente mas lejana, en viajar hasta el punto emisor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Provision<br>Regulación      | A mayor tiempo, mayor volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento<br>0 - 41.7 Rapido<br>41.6 - 83.2 Moderado<br>83.3 - 125.1 Lento                      |
| Densidad de Drenaje Dd (km/km <sup>2</sup> )      | $Dd= L/A$<br>L= Longitud total de corrientes en la cuenca<br>A= Area de la cuenca km <sup>2</sup>           | Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. Un valor alto de Dd corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes | Soporte<br>Regulación        | Valores altos indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte<br>1.234233 - 1.766551 Baja<br>1.766552 - 2.001283 Media<br>2.001284 - 4.133367 Alta |
| densidad de drenaje perenne (km/km <sup>2</sup> ) | $DEN\_PERNN=longitud\ corriente\ perenne / A$                                                               | Representa la relacion entre el area de la cuenca y la longitud de las corrientes perennes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Soporte<br>Provision de agua | A mayor densidad de corrientes perennes mayor aporte de agua por cuenca<br>0 a 0.06 baja<br>0.060 a 0.5 media<br>0.5 a 1.2                                                |

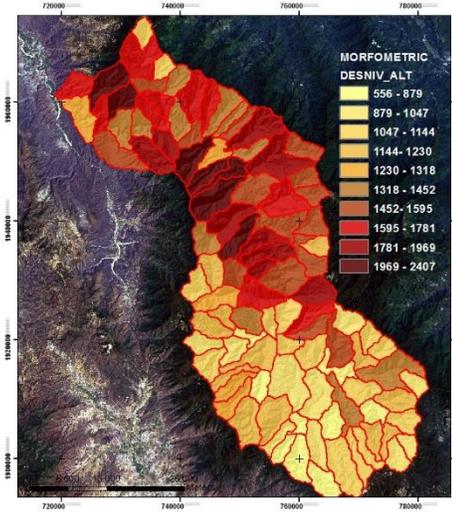
B)



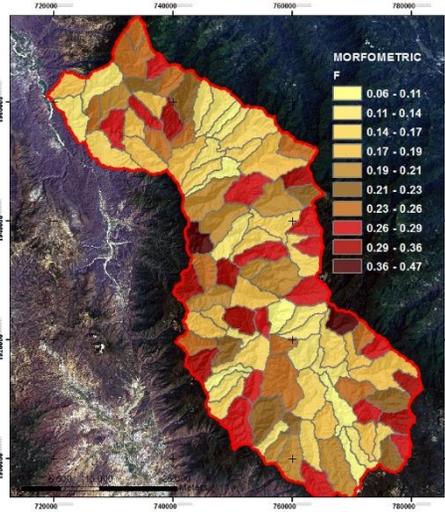
**Clasificación Morfométrica  
pendiente media de la cuenca**



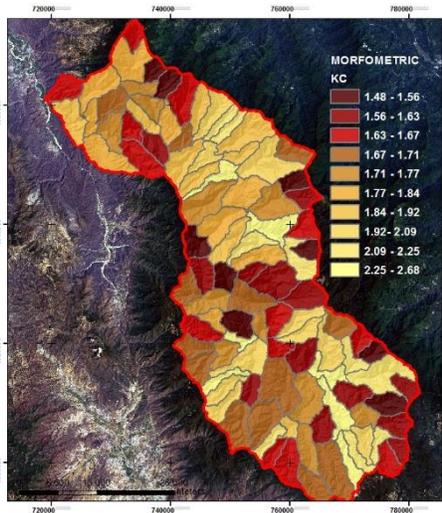
**Clasificación Morfométrica  
Longitud del cauce principal**



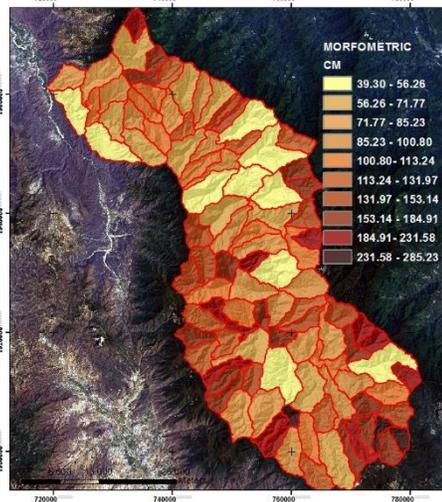
**Clasificación Morfométrica  
Desnivel altitudinal de la cuenca**



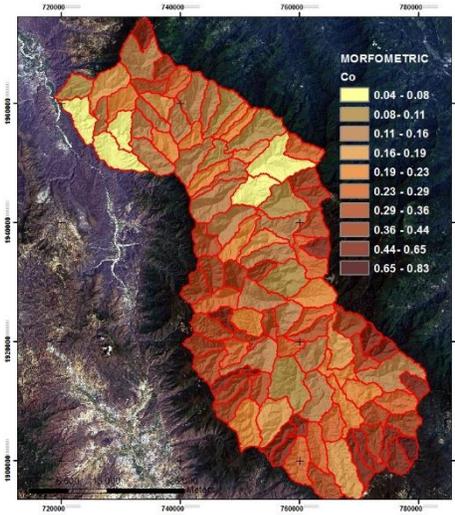
**Clasificación Morfométrica  
Factor de forma de la cuenca**



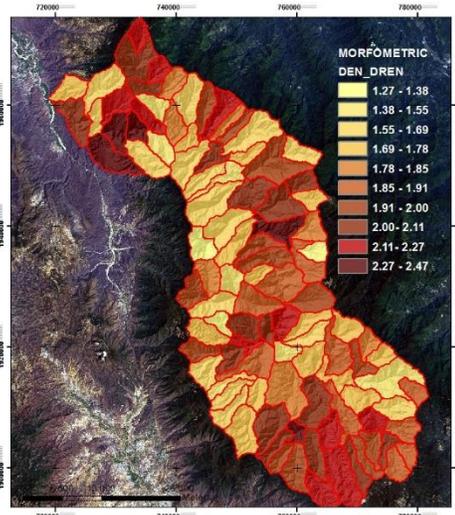
**Clasificación Morfométrica**  
**Coefficiente de compacidad**  
**de la cuenca**



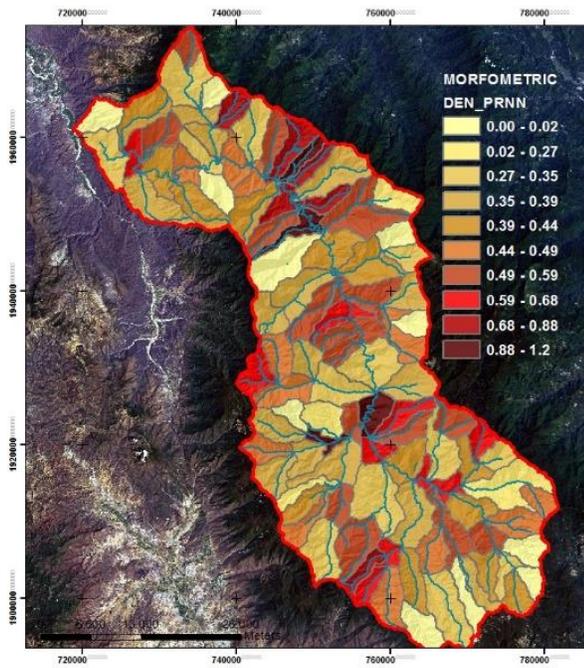
**Clasificación Morfométrica**  
**Coefficiente de masividad**  
**de la cuenca**



**Clasificación Morfométrica**  
**Coefficiente de compacidad**  
**de la cuenca**



**Clasificación Morfométrica**  
**Densidad de Drenaje**



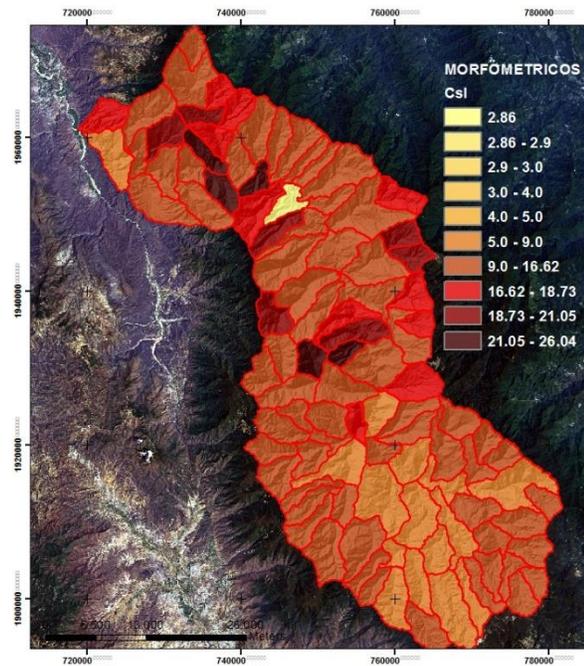
**Clasificación Morfométrica**  
densidad de drenaje perenne  
de la cuenca



**Límites**

- LIMITE DE ESTADO
- LIMITE DE CUENCA
- LIMITE DE MICROCUENCA

Parametros Geodesicos  
Esteroid: WGS\_1984  
Proyección : UTM  
Zona: 14N  
Central\_Meridian: -99.0



**Clasificación Morfométrica**  
Pendiente del cauce principal  
de la cuenca



**Límites**

- LIMITE DE ESTADO
- LIMITE DE CUENCA
- LIMITE DE MICROCUENCA

Parametros Geodesicos  
Esteroid: WGS\_1984  
Proyección : UTM  
Zona: 14N  
Central\_Meridian: -99.0



| VERIFICACIÓN DE PUNTOS                   |                                    |
|------------------------------------------|------------------------------------|
| Punto                                    | P06                                |
| Geoforma:                                | LOMO DE LADERA DEL PARTEAGUAS      |
| ZONA UTM                                 | 14                                 |
| Long                                     | 0779206                            |
| lat.                                     | 189967                             |
| Datum:                                   | WGS 84                             |
| Altitud:                                 | 3217                               |
| Orientación de ladera                    | oeste                              |
| Nombre del punto                         | Pedimento                          |
| Localidad                                | Yaveo                              |
| Municipio                                | Santa María Yavesía                |
| Estado                                   |                                    |
| Clima                                    | Cw2                                |
| Época                                    | lluvia (año niño)                  |
| Estado del tiempo                        | soleado                            |
| Exposición al sol                        | no                                 |
| Uso del suelo                            | forestal                           |
| Forma terreno en planta                  |                                    |
| Pendiente                                | recto o convexo                    |
| Forma terreno en perfil                  |                                    |
| Forma general de ladera                  | convexo                            |
| Inclinación                              | casi nula                          |
| Protección del suelo                     | cubierto por hojarasca             |
| Evidencia de erosión                     | ninguna                            |
| Vegetación predominante                  | bosque de Pino                     |
| Otros tipos de Vegetación presente       | arbustos pequeños y herbáceas      |
| Especies representativas o identificadas | Pinus hartwegii Arbutos xalapensis |
| foto cel                                 | 1361 a 1366                        |
| Nota                                     |                                    |
| FECHA                                    | 06-oct-15                          |
| hrs                                      | 13:00                              |



## VERIFICACIÓN DE PUNTOS

|                                          |                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Punto                                    | P07                                    |
| Geoforma:                                | PARTEAGUAS                             |
| ZONA UTM                                 | 14                                     |
| Long                                     | 0779187                                |
| lat.                                     | 1899947                                |
| Datum:                                   | WGS 84                                 |
| Altitud:                                 | 3274                                   |
| Orientación de ladera                    | sin exposición                         |
| Nombre del punto                         | mamillarias                            |
| Localidad                                | pedimento                              |
| Municipio                                | Santa María Yavesía                    |
| Estado                                   | Oaxaca                                 |
| Clima                                    | cw2                                    |
| Época                                    | lluvia (año niño)                      |
| Estado del tiempo                        | soleado                                |
| Exposición al sol                        | expuesta                               |
| Uso del suelo                            | forestal                               |
| Forma terreno en planta                  |                                        |
| Pendiente                                | plano                                  |
| Forma terreno en perfil                  |                                        |
| Forma general de ladera                  | convexa                                |
| Inclinación                              | casi nula                              |
| Protección del suelo                     | expuesto y con manchones de pasto      |
| Evidencia de erosión                     | ninguna                                |
| Vegetación predominante                  |                                        |
| Otros tipos de Vegetación presente       | mamillaria deherdtiana<br>crassulaceae |
| Especies representativas o identificadas | mamillaria deherdtiana                 |
| foto cel                                 | 1367 a 1374 y cel2 132 a 145           |
| Nota                                     | foto 16 y 17 tomadas de este a oeste   |
| FECHA                                    | 06-oct-15                              |
| hrs                                      | 13:30                                  |





B)

## VERIFICACIÓN DE PUNTOS DEL PAISAJE

| Punto                                                          | 92                                                                               | 92A                                                                         | 92B                                                                                      | 92C                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Geoforma:</b>                                               | LOMO DE LADERA                                                                   | LOMO DE LADERA                                                              | LOMO DE LADERA                                                                           | LOMO DE LADERA                                                                           |
| <b>ZONA UTM</b>                                                | 14                                                                               | 14                                                                          | 14                                                                                       | 14                                                                                       |
| <b>Long</b>                                                    | 753747                                                                           | 753474.07                                                                   | 753621.36                                                                                | 753308.05                                                                                |
| <b>lat.</b>                                                    | 1924669                                                                          | 1227387.07                                                                  | 1927177.46                                                                               | 1927763.74                                                                               |
| <b>Datum:</b>                                                  | WGS84                                                                            | WGS84                                                                       | WGS84                                                                                    | WGS84                                                                                    |
| <b>Altitud:</b>                                                | 2281                                                                             | NO                                                                          | NO                                                                                       | NO                                                                                       |
| <b>Orientación de</b>                                          | NORTE                                                                            | SUR                                                                         | SUR                                                                                      | SUR                                                                                      |
| <b>Nombre del punto</b>                                        | Santa Ana Yareni                                                                 | NO                                                                          | NO                                                                                       | NO                                                                                       |
| <b>Localidad</b>                                               | Santa Ana Yareni                                                                 |                                                                             |                                                                                          |                                                                                          |
| <b>Municipio</b>                                               | Santa Ana Yareni                                                                 | ABEJONES                                                                    | ABEJONES                                                                                 | ABEJONES                                                                                 |
| <b>Estado</b>                                                  | Oaxaca                                                                           | Oaxaca                                                                      | Oaxaca                                                                                   | Oaxaca                                                                                   |
| <b>Clima</b>                                                   | C(w1)                                                                            | TRANSICION ENTRE<br>C(w1) y (A)C(wo)                                        | (A)C(wo)<br>semiárido<br>subhúmedo del<br>grupo C                                        | C(w1)                                                                                    |
| <b>Época</b>                                                   | INVIERNO                                                                         | INVIERNO                                                                    | INVIERNO                                                                                 | INVIERNO                                                                                 |
| <b>Estado del tiempo</b>                                       | SOLEADO                                                                          | SOLEADO                                                                     | SOLEADO                                                                                  | SOLEADO                                                                                  |
| <b>Exposición al sol</b>                                       | EXPUESTO                                                                         | no verificado                                                               | no verificado                                                                            | no verificado                                                                            |
| <b>Uso del suelo</b>                                           | SUELO AGRICOLA                                                                   | no verificado                                                               | no verificado                                                                            | no verificado                                                                            |
| <b>Forma terreno en<br/>planta Pendiente</b>                   | CONVEXO                                                                          | CONVEXO                                                                     | CONVEXO                                                                                  | CONVEXO                                                                                  |
| <b>Forma terreno en<br/>perfil Forma<br/>general de ladera</b> | CONVEXO                                                                          | CONVEXO                                                                     | CONVEXO                                                                                  | CONVEXO                                                                                  |
| <b>Inclinación</b>                                             | MEDIANA                                                                          | PRONUNCIADA                                                                 | PRONUNCIADA                                                                              | PRONUNCIADA                                                                              |
| <b>Protección del</b>                                          | CULTIVOS                                                                         | no verificado                                                               | no verificado                                                                            | no verificado                                                                            |
| <b>Evidencia de<br/>erosión</b>                                | erosión hídrica con pérdida<br>de suelo superficial                              | erosión hídrica con<br>pérdida de suelo<br>superficial                      | erosión hídrica<br>con pérdida de<br>suelo superficial                                   | erosión hídrica<br>con pérdida de<br>suelo superficial                                   |
| <b>Vegetación</b>                                              | CULTIVOS                                                                         | ARBUSTIVA                                                                   | ARBUSTIVA                                                                                | ENCINOS                                                                                  |
| <b>Otros tipos de<br/>Vegetación</b>                           | NO                                                                               | NO IDENTIFICADO                                                             | NO<br>IDENTIFICADO                                                                       | NO IDENTIFICADO                                                                          |
| <b>Especies<br/>representativas o<br/>foto cel</b>             | ACTIVIDAD AGRICOLA                                                               | NO VERIFICADO                                                               | NO VERIFICADO                                                                            | NO VERIFICADO                                                                            |
| <b>Nota</b>                                                    | 4579 4583<br>punto obtenido de google,<br>después de la verificación<br>en campo | 4582<br>punto obtenido de<br>google, después de la<br>verificación en campo | 4580 Y 4581<br>punto obtenido<br>de google,<br>después de la<br>verificación en<br>campo | 4581 Y 4581<br>punto obtenido<br>de google,<br>después de la<br>verificación en<br>campo |
| <b>FECHA<br/>hrs</b>                                           | 16-enero-2016                                                                    | 16-enero-2016                                                               | 16-enero-2016                                                                            | 16-enero-2016                                                                            |

C)

*Rangos mínimos y máximos de valores de EVI verificados en campo por tipo de Vegetación*

| CLASE                                     | EVIMIN | EVIMAX |
|-------------------------------------------|--------|--------|
| BOSQUE MIXTO DE PINO ENCINO               | 0.36   | 0.55   |
| BOSQUE DE ENCINO                          | 0.38   | 0.55   |
| BOSQUE DE PINO                            | 0.34   | 0.41   |
| ENCINARES CADUCIFOLIOS                    | 0.26   | 0.4    |
| AGRICULTURA                               | 0.18   | 0.39   |
| VEGETACION DE ALTURA                      | 0.23   | 0.37   |
| ZONA URBANA RURAL                         | 0.11   | 0.36   |
| BOSQUE MIXTO DE ENCINO PINO SECUNDARIO    | 0.24   | 0.34   |
| VEGETACION SECUNDARIA DE PINO             | 0.25   | 0.34   |
| BOSQUE DE OYAMEL                          | 0.3    | 0.34   |
| VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SBC    | 0.18   | 0.33   |
| AREAS SIN VEGETACIÓN                      | 0.07   | 0.3    |
| BOSQUE DE ENCINO SECUNDARIO               | 0.2    | 0.3    |
| BOSQUE MIXTO DE ENCINO CADUCIFOLIO Y PINO | 0.23   | 0.3    |
| CRASI-ROSULIFOLIOS ESPINOSOS              | 0.18   | 0.24   |
| SELVA BAJA CADUCIFOLIA CONSERVADA         | 0.14   | 0.17   |
| LECHO FLUVIAL                             | -1     | 0.07   |
| AGUA                                      | 0.05   | 0.07   |

*Ejemplo de tablas creadas en la relación microcuenca - tipo de vegetación-total de pixeles con valor EVI de alta cobertura vegetal.*

| Uso de Suelo y Vegetación por microcuenca |                                                           | Total de pixeles con valor EVI de alta cobertura Vegetal |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Tot microcuenca</b>                    | <b>1</b>                                                  | <b>4127</b>                                              |
|                                           | BOSQUE DE ENCINO-PINO                                     | 3810                                                     |
|                                           | BOSQUE MESOFILO DE Montaña                                | 29                                                       |
|                                           | VEG PARAMO DE ALTURA                                      | 199                                                      |
|                                           | VEGETACION SECUNDARIA ARBOREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO    | 89                                                       |
| <b>Tot microcuenca</b>                    | <b>2</b>                                                  | <b>6295</b>                                              |
|                                           | AGUA                                                      | 102                                                      |
|                                           | BOSQUE DE ENCINO-PINO                                     | 4426                                                     |
|                                           | BOSQUE MESOFILO DE Montaña                                | 601                                                      |
|                                           | VEG PARAMO DE ALTURA                                      | 376                                                      |
|                                           | VEGETACION SECUNDARIA ARBOREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO    | 242                                                      |
|                                           | VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO  | 548                                                      |
| <b>Tot microcuenca</b>                    | <b>6</b>                                                  | <b>1406</b>                                              |
|                                           | AGUA                                                      | 32                                                       |
|                                           | SELVA BAJA CADUCIFOLIA                                    | 1322                                                     |
|                                           | VEGETACION SECUNDARIA ARBOREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO    | 52                                                       |
| <b>Tot microcuenca</b>                    | <b>9</b>                                                  | <b>2460</b>                                              |
|                                           | AGUA                                                      | 589                                                      |
|                                           | BOSQUE DE PINO-ENCINO                                     | 1                                                        |
|                                           | SELVA BAJA CADUCIFOLIA                                    | 912                                                      |
|                                           | VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA | 958                                                      |

D)

*Ejemplo de tabla con ecuación de valor para priorizar microcuencas por cobertura Vegetal*

| SUMA |          |          |           |           |           |           |           |           |          |                             | =SUMA(Y2*1+Z2*0.5+AA2*0) |
|------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------------------|--------------------------|
|      | T        | U        | V         | W         | X         | Y         | Z         | AA        | AB       | AC                          |                          |
| 1    | Subbasin | TOT_PUNT | TOT_EVI_O | TOT_EVI_M | TOT_EVI_B | X100_OPTC | X100_MEDC | X100_BJCO | X100_TOT | SUMWIXI                     | COB_                     |
| 2    | 1        | 13188    | 4127      | 4097      | 4964      | 31        | 31        | 38        | 100      | =SUMA(Y2*1+Z2*0.5+AA2*      |                          |
| 3    | 2        | 39050    | 6295      | 16547     | 16208     | 16        | 42        | 42        | 100      | 0)                          |                          |
| 4    | 3        | 12678    | 5774      | 5958      | 946       | 46        | 47        | 7         | 100      | SUMA(número1, [número2], .. |                          |
| 5    | 4        | 13851    | 344       | 7028      | 6479      | 2         | 51        | 47        | 100      | 27.853585                   |                          |
| 6    | 5        | 17546    | 5551      | 11075     | 920       | 32        | 63        | 5         | 100      | 63.196740                   |                          |
| 7    | 6        | 20589    | 1406      | 2973      | 16210     | 7         | 14        | 79        | 100      | 14.048764                   |                          |
| 8    | 7        | 31337    | 15765     | 11287     | 4285      | 50        | 36        | 14        | 100      | 68.317005                   |                          |
| 9    | 8        | 29553    | 8497      | 158       | 20898     | 29        | 1         | 71        | 100      | 29.019051                   |                          |
| 10   | 9        | 12965    | 2460      | 1615      | 8890      | 19        | 12        | 69        | 100      | 25.202468                   |                          |
| 11   | 10       | 22276    | 1732      | 7897      | 12647     | 8         | 35        | 57        | 100      | 25.500539                   |                          |
| 12   | 11       | 15929    | 676       | 8791      | 6462      | 4         | 55        | 41        | 100      | 31.838157                   |                          |
| 13   | 12       | 29480    | 6658      | 17450     | 5372      | 23        | 59        | 18        | 100      | 52.181140                   |                          |
| 14   | 13       | 19963    | 911       | 7633      | 11419     | 5         | 38        | 57        | 100      | 23.681310                   |                          |
| 15   | 14       | 15954    | 2103      | 1558      | 12293     | 13        | 10        | 77        | 100      | 18.064435                   |                          |
| 16   | 15       | 12613    | 595       | 8345      | 3673      | 5         | 66        | 29        | 100      | 37.798303                   |                          |
| 17   | 16       | 19614    | 1339      | 16313     | 1962      | 7         | 83        | 10        | 100      | 48.411849                   |                          |
| 18   | 17       | 25869    | 6342      | 15440     | 4087      | 25        | 60        | 16        | 100      | 54.358499                   |                          |
| 19   | 18       | 18238    | 553       | 12020     | 5665      | 3         | 66        | 31        | 100      | 35.985305                   |                          |
| 20   | 19       | 12717    | 4339      | 7360      | 1018      | 34        | 58        | 8         | 100      | 63.057325                   |                          |
| 21   | 20       | 12398    | 3623      | 7135      | 1640      | 29        | 58        | 13        | 100      | 57.997258                   |                          |
| 22   | 21       | 15343    | 2757      | 1344      | 11242     | 18        | 9         | 73        | 100      | 22.348954                   |                          |
| 23   | 22       | 22563    | 6910      | 1911      | 13742     | 31        | 8         | 61        | 100      | 34.860169                   |                          |

*Ejemplo de tabla creada para obtener el número de usos de suelo y tipos de vegetación por microcuena*

**E)**

| TIPOS DE VEGETACIÓN POR MICROCUENA |                                                          | TOTAL DE ECOSISTEMAS POR MICROCUENA | TOTAL DE PÍXELES POR VEGETACIÓN |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| <b>microcuena 1</b>                |                                                          | <b>6</b>                            | <b>8224</b>                     |
|                                    | AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL                            | 1                                   | 172                             |
|                                    | BOSQUE DE ENCINO-PINO                                    | 1                                   | 5100                            |
|                                    | BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA                               | 1                                   | 43                              |
|                                    | VEG PARAMO DE ALTURA                                     | 1                                   | 199                             |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO   | 1                                   | 2069                            |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO | 1                                   | 641                             |
| <b>microcuena 2</b>                |                                                          | <b>7</b>                            | <b>22842</b>                    |
|                                    | AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL                            | 1                                   | 422                             |
|                                    | AGUA                                                     | 1                                   | 102                             |
|                                    | BOSQUE DE ENCINO-PINO                                    | 1                                   | 5481                            |
|                                    | BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA                               | 1                                   | 699                             |
|                                    | VEG PARAMO DE ALTURA                                     | 1                                   | 376                             |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO   | 1                                   | 9644                            |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO | 1                                   | 6118                            |
| <b>microcuena 3</b>                |                                                          | <b>5</b>                            | <b>11732</b>                    |
|                                    | AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL                            | 1                                   | 3                               |
|                                    | BOSQUE DE ENCINO-PINO                                    | 1                                   | 237                             |
|                                    | BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA                               | 1                                   | 4675                            |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO   | 1                                   | 4228                            |
|                                    | VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO | 1                                   | 2589                            |

Anexo 4. Análisis de Suelo. Valoración de acuerdo a la recarga y a la capacidad para retener agua.

| Característica                                                                   | Acrisol |      | Característica                                                                  | Cambisol |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|------|---------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                                  | recarga | agua |                                                                                 | recarga  | agua |
| <b>Permeabilidad:</b><br>Suelos Saturados                                        | 0.8     | 0.8  | <b>Permeabilidad:</b><br>media                                                  | 0.5      | 0.5  |
| <b>Conductividad<br/>hidráulica</b>                                              | 0.8     | 0.2  | <b>Conductividad<br/>hidráulica</b>                                             | 0.5      | 0.5  |
| <b>Geomorfología<br/>o posición<br/>fisiográfica:</b><br>montañosa u<br>ondulada | 1       | 0.5  | <b>Geomorfología<br/>o posición<br/>fisiográfica:</b><br>a plana o<br>montañosa | 0.5      | 0.5  |
| <b>texturas:</b><br>primeras capas<br>franco arenosas                            | 1       | 0.2  | <b>texturas:</b><br>medias a finas de<br>depósito franca<br>arcillosas          | 0.2      | 0.5  |
| <b>Total</b>                                                                     | 3.6     | 1.7  | <b>Total</b>                                                                    | 1.7      | 2    |

| Característica                            | Fluvisol |      | Característica                            | Leptosol |      |
|-------------------------------------------|----------|------|-------------------------------------------|----------|------|
|                                           | recarga  | agua |                                           | recarga  | agua |
| <b>Permeabilidad:</b><br>Suelos saturados | 0.1      | 1    | <b>Permeabilidad:</b><br>Suelos saturados | 1        | 0.1  |
| <b>Conductividad<br/>hidráulica</b>       | 0.1      | 1    | <b>Conductividad<br/>hidráulica</b>       | 0.8      | 0.1  |

| Característica                                                          | Fluvisol |      | Característica                                                                            | Leptosol |      |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                         | recarga  | agua |                                                                                           | recarga  | agua |
| <b>Geomorfología o posición fisiográfica:</b><br>en depósitos aluviales | 0.1      | 1    | <b>Geomorfología o posición fisiográfica:</b><br>tierras de altitud fuertemente disectada | 1        | 0.1  |
| <b>texturas:</b><br>de arena gruesa a muy finas                         | 0.2      | 0.8  | <b>texturas:</b><br>de arena gruesa gravas y pedregosos                                   | 1        | 0.1  |
| <b>Total</b>                                                            | 0.5      | 3.8  | <b>Total</b>                                                                              | 3.8      | 0.4  |

| Característica                                                                       | Luvisol |      | Característica                                                  | Phaeozem |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                                      | recarga | agua |                                                                 | recarga  | agua |
| <b>Permeabilidad:</b><br>Buena y puede existir estancamiento en horizontes profundos | 0.2     | 0.8  | <b>Permeabilidad:</b><br>permeabilidad y almacenamiento de agua | 0.5      | 0.5  |
| <b>Conductividad hidráulica</b>                                                      | 0.2     | 0.8  | <b>Conductividad hidráulica</b>                                 | 0.2      | 0.8  |

| Característica                                                                                                  | Luvisol |      | Característica                                                                     | Phaeozem |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                                                                 | recarga | agua |                                                                                    | recarga  | agua |
| <b>Geomorfología o posición fisiográfica:</b><br>tierras llanas o ligeramente inclinadas en ambientes templados | 0.2     | 0.8  | <b>Geomorfología o posición fisiográfica:</b><br>tierras altas tropicales o llanas | 0.5      | 0.5  |
| <b>texturas:</b><br>de tipo granular o migajoso ,porosos y bien aireados                                        | 0.8     | 0.2  | <b>texturas:</b><br>fina o migajosas                                               | 0.2      | 0.8  |
| <b>Total</b>                                                                                                    | 1.4     | 2.6  | <b>Total</b>                                                                       | 1.4      | 2.6  |

| Característica                                                  | Regosol |      | Característica                                       | Umbrisol |      |
|-----------------------------------------------------------------|---------|------|------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                 | recarga | agua |                                                      | recarga  | agua |
| <b>Permeabilidad:</b><br>permeabilidad y almacenamiento de agua | 0.8     | 0.1  | <b>Permeabilidad:</b><br>permeabilidad bien drenados | 1        | 0.5  |
| <b>Conductividad hidráulica</b>                                 | 0.8     | 0.2  | <b>Conductividad hidráulica</b>                      | 0.5      | 0.5  |
| <b>Geomorfología o posición</b>                                 | 1       | 0.1  | <b>Geomorfología o posición</b>                      | 0.8      | 0.5  |

| Característica                                                     | Regosol |      | Característica                                                                                     | Umbrisol |      |
|--------------------------------------------------------------------|---------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                    | recarga | agua |                                                                                                    | recarga  | agua |
| <b>fisiográfica:</b><br>zonas montañosas<br>áridos o<br>semiáridos |         |      | <b>fisiográfica:</b><br>regiones<br>montañosas de<br>clima frío con o<br>sin déficit de<br>humedad |          |      |
| <b>texturas:</b><br>granular fina                                  | 1       | 0.1  | <b>texturas:</b><br>media                                                                          | 1        | 0.5  |
| <b>Total</b>                                                       | 3.6     | 0.5  | <b>Total</b>                                                                                       | 3.3      | 2    |

| Característica                                                                     | vertisol |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|
|                                                                                    | recarga  | agua |
| <b>Permeabilidad:</b><br>baja permeabilidad                                        | 0.5      | 1    |
| <b>Conductividad hidráulica</b>                                                    | 0.1      | 1    |
| <b>Geomorfología o posición<br/>fisiográfica:</b><br>depresiones áreas casi planas | 0.2      | 1    |
| <b>texturas:</b><br>suelos arcillosos (slikensides)                                | 0.5      | 0.8  |
| <b>Total</b>                                                                       | 1.3      | 3.8  |

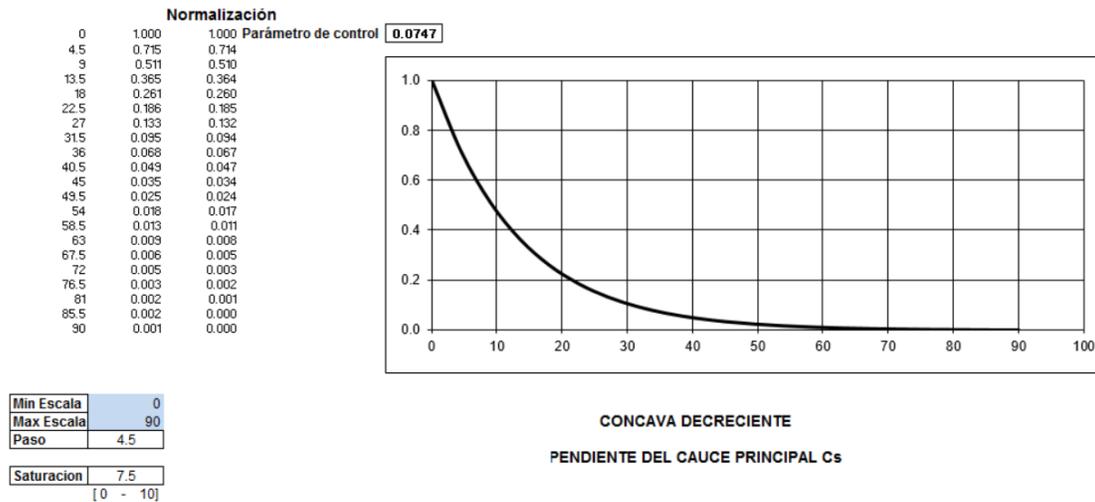
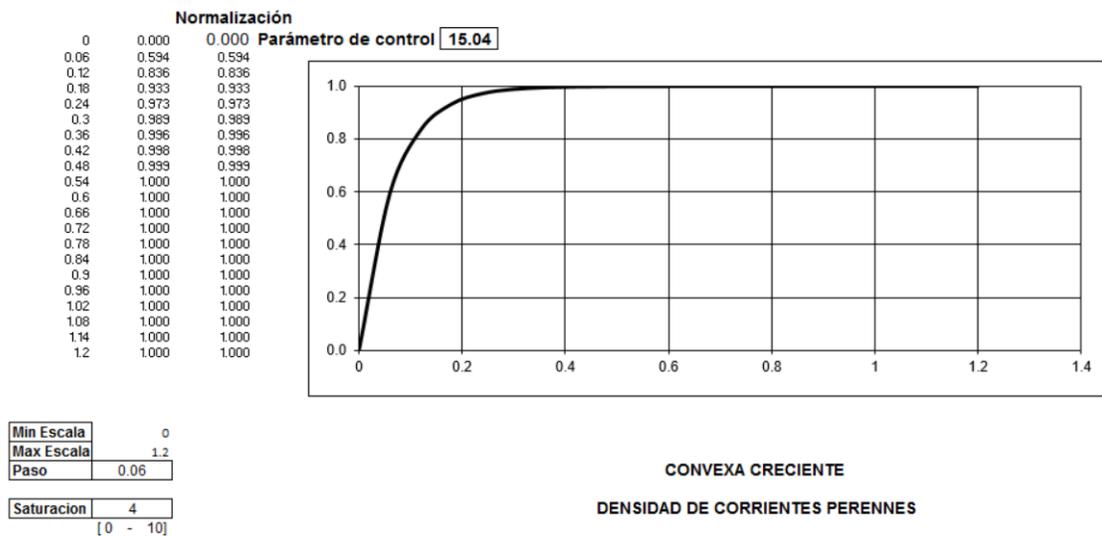
| <b>Propiedad del suelo</b> | <b>Valor de recarga</b> | <b>Valora de capacidad para retener agua</b> |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| arenico                    | 1                       | 0.1                                          |
| calcarico                  | 1                       | 0.1                                          |
| húmico                     | 0.8                     | 1                                            |
| rendzico                   | 0.8                     | 0.5                                          |
| epidístico                 | 0.5                     | 0.5                                          |
| profondico                 | 0.5                     | 0.5                                          |
| crómico                    | 0.5                     | 0.2                                          |
| districo                   | 0.5                     | 0.2                                          |
| rodico                     | 0.5                     | 0.2                                          |
| mazico                     | 0.5                     | 1                                            |
| endoleptico                | 0.2                     | 0.2                                          |
| epileptico                 | 0.2                     | 0.2                                          |
| esqueletico                | 0.2                     | 0.1                                          |
| eutrico                    | 0.1                     | 0.8                                          |

## Anexo 4. Agrobiodiversidad. Listado de especies de maíz, frijol y calabaza por microcuenca

| Subbasin | sp_maíz                  | sp_frijol            | sp_calab            |
|----------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| 2        |                          |                      | <i>argyrosperma</i> |
| 2        | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 2        | <i>Chiquito</i>          |                      |                     |
| 2        | <i>Nal-tel de Altura</i> |                      |                     |
| 2        | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 2        | <i>Tepecintle</i>        |                      |                     |
| 10       | <i>Chalqueño</i>         |                      |                     |
| 10       | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 10       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 14       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 14       | <i>Celaya</i>            |                      |                     |
| 14       | ND                       |                      |                     |
| 14       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 17       |                          | <i>vulgaris</i>      |                     |
| 19       |                          | <i>vulgaris</i>      |                     |
| 31       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 31       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 31       | <i>Chalqueño</i>         |                      |                     |
| 31       | <i>Nal-tel de Altura</i> |                      |                     |
| 31       | <i>Serrano</i>           |                      |                     |
| 34       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 34       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 34       | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 34       | <i>Nal-tel</i>           |                      |                     |
| 34       | <i>Nal-tel de Altura</i> |                      |                     |
| 34       | ND                       |                      |                     |
| 34       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 34       | <i>Tepecintle</i>        |                      |                     |
| 37       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 37       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 37       | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 37       | <i>Nal-tel de Altura</i> |                      |                     |
| 37       | ND                       |                      |                     |
| 37       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 37       | <i>Serrano</i>           |                      |                     |
| 39       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 39       | <i>Mixteco</i>           |                      |                     |
| 41       |                          | <i>coccineus</i>     | <i>ficifolia</i>    |
| 41       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 54       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 54       | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 54       | <i>Mushito</i>           |                      |                     |
| 54       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 59       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 59       |                          | <i>leptostachyus</i> |                     |
| 62       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 64       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 68       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 72       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 72       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 72       |                          | <i>leptostachyus</i> |                     |
| 72       |                          | <i>nelsonii</i>      |                     |
| 72       |                          | <i>vulgaris</i>      |                     |
| 72       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 72       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 73       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 73       | <i>Olotón</i>            |                      |                     |
| 73       | <i>Pepitilla</i>         |                      |                     |
| 74       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 77       | <i>Bolita</i>            |                      |                     |
| 77       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 77       | <i>Comiteco</i>          |                      |                     |
| 77       | <i>Serrano Mixe</i>      |                      |                     |
| 80       |                          |                      | <i>ficifolia</i>    |
| 80       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 80       |                          | <i>vulgaris</i>      |                     |
| 81       |                          |                      | <i>ficifolia</i>    |
| 81       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 86       |                          |                      | <i>ficifolia</i>    |
| 87       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 88       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 92       |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 92       |                          | <i>coccineus</i>     |                     |
| 96       | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 96       | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 102      |                          |                      | <i>ficifolia</i>    |
| 102      |                          |                      | <i>pepo</i>         |
| 102      |                          | <i>vulgaris</i>      |                     |
| 103      | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 103      | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |
| 103      | <i>Serrano Mixe</i>      |                      |                     |
| 104      | <i>Cónico</i>            |                      |                     |
| 104      | <i>Elotes cónicos</i>    |                      |                     |

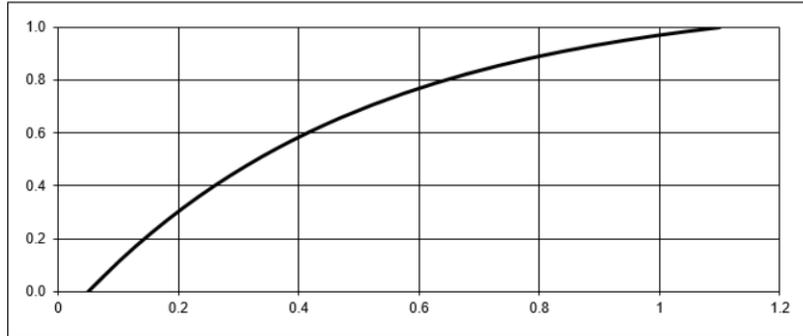
## Anexo 5. Parámetros de control de las variables usadas

### AGUA



**Normalización**

|        |       |       |                      |       |
|--------|-------|-------|----------------------|-------|
| 0.05   | 0.100 | 0.000 | Parámetro de control | 2.098 |
| 0.1025 | 0.193 | 0.117 |                      |       |
| 0.155  | 0.278 | 0.222 |                      |       |
| 0.2075 | 0.353 | 0.316 |                      |       |
| 0.26   | 0.420 | 0.401 |                      |       |
| 0.3125 | 0.481 | 0.476 |                      |       |
| 0.365  | 0.535 | 0.544 |                      |       |
| 0.4175 | 0.584 | 0.604 |                      |       |
| 0.47   | 0.627 | 0.658 |                      |       |
| 0.5225 | 0.666 | 0.707 |                      |       |
| 0.575  | 0.701 | 0.751 |                      |       |
| 0.6275 | 0.732 | 0.789 |                      |       |
| 0.68   | 0.760 | 0.824 |                      |       |
| 0.7325 | 0.785 | 0.856 |                      |       |
| 0.785  | 0.807 | 0.884 |                      |       |
| 0.8375 | 0.827 | 0.909 |                      |       |
| 0.89   | 0.845 | 0.931 |                      |       |
| 0.9425 | 0.862 | 0.951 |                      |       |
| 0.995  | 0.876 | 0.969 |                      |       |
| 1.0475 | 0.889 | 0.986 |                      |       |
| 1.1    | 0.901 | 1.000 |                      |       |

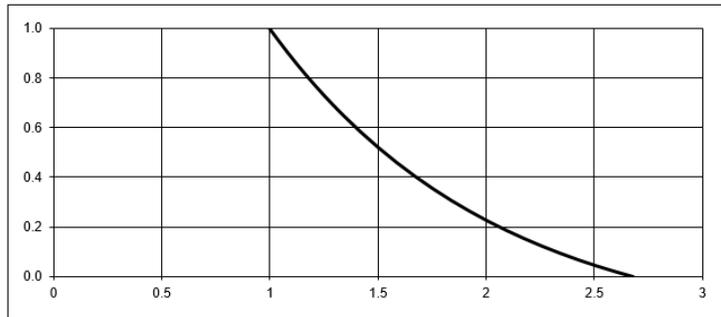


|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 0.05     |
| Max Escala | 1.1      |
| Paso       | 0.0525   |
| Saturacion | 0.1      |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**FACTOR DE FORMA**

**Normalización**

|       |       |       |                      |        |
|-------|-------|-------|----------------------|--------|
| 1     | 0.380 | 1000  | Parámetro de control | 0.9679 |
| 1.084 | 0.350 | 0.903 |                      |        |
| 1.168 | 0.323 | 0.813 |                      |        |
| 1.252 | 0.298 | 0.731 |                      |        |
| 1.336 | 0.274 | 0.654 |                      |        |
| 1.42  | 0.253 | 0.584 |                      |        |
| 1.504 | 0.233 | 0.519 |                      |        |
| 1.588 | 0.215 | 0.460 |                      |        |
| 1.672 | 0.198 | 0.405 |                      |        |
| 1.756 | 0.183 | 0.354 |                      |        |
| 1.84  | 0.168 | 0.307 |                      |        |
| 1.924 | 0.155 | 0.264 |                      |        |
| 2.008 | 0.143 | 0.224 |                      |        |
| 2.092 | 0.132 | 0.188 |                      |        |
| 2.176 | 0.122 | 0.154 |                      |        |
| 2.26  | 0.112 | 0.123 |                      |        |
| 2.344 | 0.103 | 0.094 |                      |        |
| 2.428 | 0.095 | 0.068 |                      |        |
| 2.512 | 0.088 | 0.043 |                      |        |
| 2.596 | 0.081 | 0.021 |                      |        |
| 2.68  | 0.075 | 0.000 |                      |        |



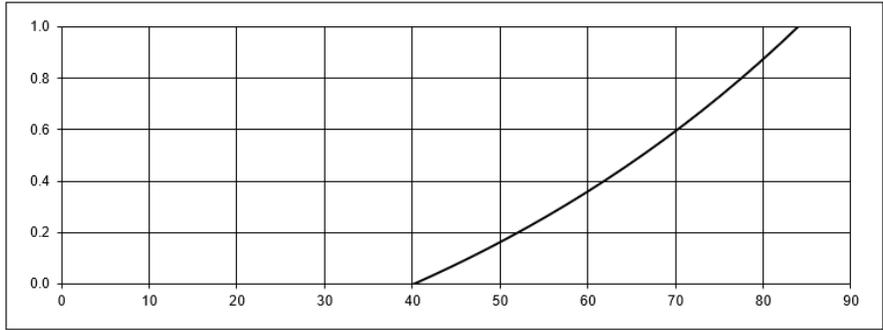
|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 1        |
| Max Escala | 2.68     |
| Paso       | 0.084    |
| Saturacion | 6        |
|            | [0 - 10] |

**CONCAVA DECRECIENTE**  
**COEFICIENTE DE COMPACIDAD KC**



**Normalización**

|      |       |             |                      |          |
|------|-------|-------------|----------------------|----------|
| 40   | 2.019 | 0.000000000 | Parámetro de control | 0.017562 |
| 42.2 | 2.098 | 0.033734114 |                      |          |
| 44.4 | 2.181 | 0.068919450 |                      |          |
| 46.6 | 2.267 | 0.105428445 |                      |          |
| 48.8 | 2.356 | 0.143375607 |                      |          |
| 51   | 2.449 | 0.182817586 |                      |          |
| 53.2 | 2.545 | 0.223813268 |                      |          |
| 55.4 | 2.646 | 0.266423855 |                      |          |
| 57.6 | 2.750 | 0.310712363 |                      |          |
| 59.8 | 2.858 | 0.356748711 |                      |          |
| 62   | 2.971 | 0.404593825 |                      |          |
| 64.2 | 3.088 | 0.454325736 |                      |          |
| 66.4 | 3.209 | 0.506016692 |                      |          |
| 68.6 | 3.336 | 0.559743863 |                      |          |
| 70.8 | 3.467 | 0.615587459 |                      |          |
| 73   | 3.604 | 0.673630852 |                      |          |
| 75.2 | 3.746 | 0.733960695 |                      |          |
| 77.4 | 3.893 | 0.796667057 |                      |          |
| 79.6 | 4.047 | 0.861843554 |                      |          |
| 81.8 | 4.206 | 0.929587489 |                      |          |
| 84   | 4.372 | 1.000000000 |                      |          |

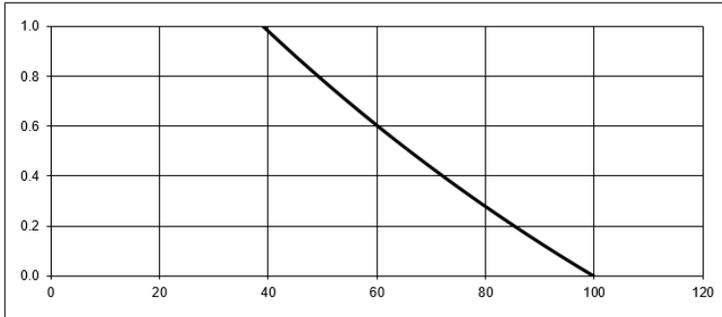


|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 40       |
| Max Escala | 84.00    |
| Paso       | 2.2      |
| Saturacion | 3        |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**PRECIPITACIÓN**

**Normalización**

|       |       |       |                      |        |
|-------|-------|-------|----------------------|--------|
| 39    | 0.747 | 1.000 | Parámetro de control | 0.0075 |
| 42.05 | 0.730 | 0.938 |                      |        |
| 45.1  | 0.714 | 0.878 |                      |        |
| 48.15 | 0.698 | 0.819 |                      |        |
| 51.2  | 0.682 | 0.762 |                      |        |
| 54.25 | 0.667 | 0.706 |                      |        |
| 57.3  | 0.652 | 0.651 |                      |        |
| 60.35 | 0.637 | 0.597 |                      |        |
| 63.4  | 0.623 | 0.545 |                      |        |
| 66.45 | 0.609 | 0.493 |                      |        |
| 69.5  | 0.595 | 0.443 |                      |        |
| 72.55 | 0.581 | 0.394 |                      |        |
| 75.6  | 0.568 | 0.346 |                      |        |
| 78.65 | 0.556 | 0.300 |                      |        |
| 81.7  | 0.543 | 0.254 |                      |        |
| 84.75 | 0.531 | 0.209 |                      |        |
| 87.8  | 0.519 | 0.165 |                      |        |
| 90.85 | 0.507 | 0.123 |                      |        |
| 93.9  | 0.496 | 0.081 |                      |        |
| 96.95 | 0.485 | 0.040 |                      |        |
| 100   | 0.474 | 0.000 |                      |        |

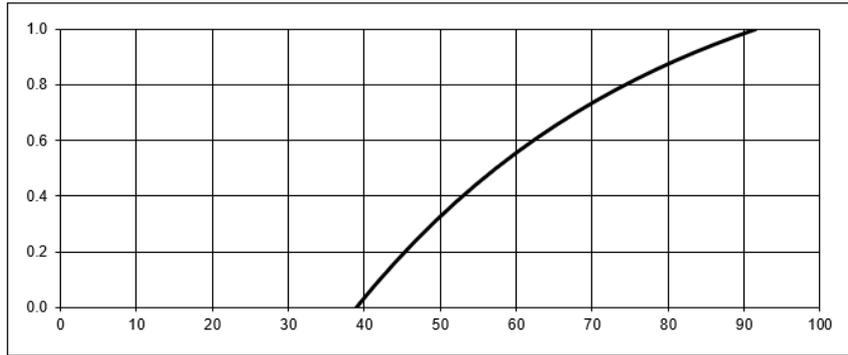


|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 39       |
| Max Escala | 100      |
| Paso       | 3.05     |
| Saturacion | 1.5      |
|            | [0 - 10] |

**CONCAVA DECRECIENTE**  
**EVAPOTRANSPIRACIÓN**

**Normalización**

| Original   | Normalized | Control Parameter |
|------------|------------|-------------------|
| 39         | 0.616      | 0.000             |
| 41.6224216 | 0.640      | 0.086             |
| 44.2448432 | 0.662      | 0.167             |
| 46.8672648 | 0.683      | 0.242             |
| 49.4896864 | 0.703      | 0.313             |
| 52.112108  | 0.721      | 0.380             |
| 54.7345296 | 0.739      | 0.442             |
| 57.3569512 | 0.755      | 0.501             |
| 59.9793728 | 0.770      | 0.556             |
| 62.6017944 | 0.785      | 0.607             |
| 65.224216  | 0.798      | 0.655             |
| 67.8466376 | 0.811      | 0.701             |
| 70.4690592 | 0.822      | 0.743             |
| 73.0914808 | 0.833      | 0.783             |
| 75.7139024 | 0.844      | 0.820             |
| 78.336324  | 0.853      | 0.855             |
| 80.9587456 | 0.863      | 0.888             |
| 83.5811672 | 0.871      | 0.919             |
| 86.2035888 | 0.879      | 0.948             |
| 88.8260104 | 0.887      | 0.975             |
| 91.448432  | 0.894      | 1.000             |



|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 39       |
| Max Escala | 91.45    |
| Paso       | 2.622422 |

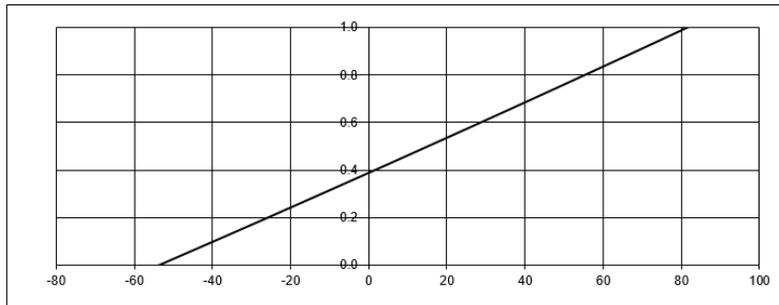
|            |          |
|------------|----------|
| Saturacion | 4        |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**

**PP>EVAP**

**Normalización**

| Original | Normalized | Control Parameter |
|----------|------------|-------------------|
| -54      | 0.972      | 0.00000000        |
| -47.2    | 0.976      | 0.04834242        |
| -40.4    | 0.979      | 0.09668565        |
| -33.6    | 0.983      | 0.14554028        |
| -26.8    | 0.986      | 0.19439694        |
| -20      | 0.990      | 0.24342626        |
| -13.2    | 0.993      | 0.29262872        |
| -6.4     | 0.997      | 0.34200577        |
| 0.4      | 1.000      | 0.39155889        |
| 7.2      | 1.004      | 0.44128176        |
| 14       | 1.007      | 0.49118335        |
| 20.8     | 1.011      | 0.54126125        |
| 27.6     | 1.014      | 0.59151608        |
| 34.4     | 1.018      | 0.64194843        |
| 41.2     | 1.022      | 0.69255970        |
| 48       | 1.025      | 0.74334847        |
| 54.8     | 1.029      | 0.79431735        |
| 61.6     | 1.032      | 0.84546627        |
| 68.4     | 1.036      | 0.89679594        |
| 75.2     | 1.040      | 0.94830637        |
| 82       | 1.043      | 1.00000000        |



|            |        |
|------------|--------|
| Min Escala | -54.00 |
| Max Escala | 82.00  |
| Paso       | 6.8    |

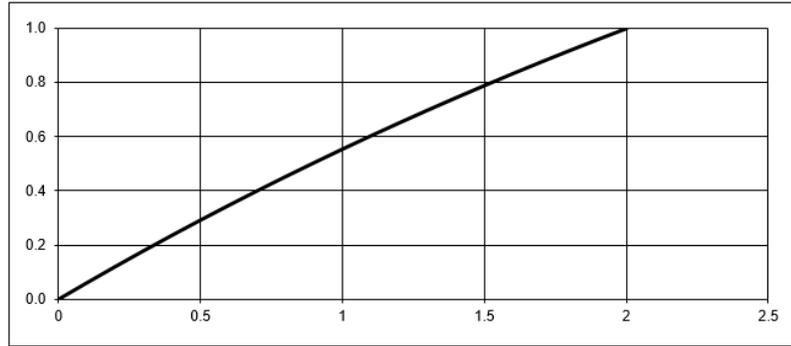
|            |          |
|------------|----------|
| Saturacion | 0        |
|            | [0 - 10] |

**CONCAVA CRECIENTE**

**ORIENTACION**

**Normalización**

|     |       |       |                      |        |
|-----|-------|-------|----------------------|--------|
| 0   | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control | 0.2196 |
| 0.1 | 0.022 | 0.061 |                      |        |
| 0.2 | 0.043 | 0.121 |                      |        |
| 0.3 | 0.064 | 0.179 |                      |        |
| 0.4 | 0.084 | 0.237 |                      |        |
| 0.5 | 0.104 | 0.295 |                      |        |
| 0.6 | 0.123 | 0.347 |                      |        |
| 0.7 | 0.143 | 0.401 |                      |        |
| 0.8 | 0.161 | 0.453 |                      |        |
| 0.9 | 0.179 | 0.505 |                      |        |
| 1   | 0.197 | 0.555 |                      |        |
| 1.1 | 0.215 | 0.604 |                      |        |
| 1.2 | 0.232 | 0.652 |                      |        |
| 1.3 | 0.248 | 0.699 |                      |        |
| 1.4 | 0.265 | 0.745 |                      |        |
| 1.5 | 0.281 | 0.790 |                      |        |
| 1.6 | 0.296 | 0.834 |                      |        |
| 1.7 | 0.312 | 0.877 |                      |        |
| 1.8 | 0.327 | 0.919 |                      |        |
| 1.9 | 0.341 | 0.960 |                      |        |
| 2   | 0.355 | 1.000 |                      |        |



|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 0.00 |
| Max Escala | 2.00 |
| Paso       | 0.1  |

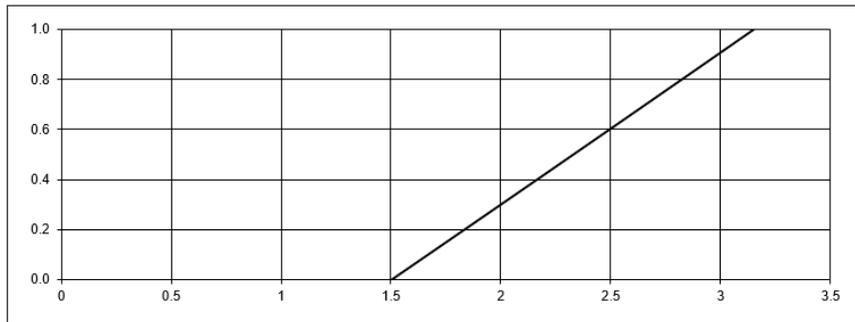
|            |   |
|------------|---|
| Saturacion | 1 |
|            | 2 |

**CONVEXA CRECIENTE**

**MANTIAL, CUERPOS DE AGUA y BANCO DE MATERIAL**

**Normalización**

|            |       |             |                      |          |
|------------|-------|-------------|----------------------|----------|
| 1.501199   | 1.012 | 0.000000000 | Parámetro de control | 0.007626 |
| 1.58393505 | 1.012 | 0.043700881 |                      |          |
| 1.6666711  | 1.013 | 0.093433130 |                      |          |
| 1.74940715 | 1.013 | 0.143196785 |                      |          |
| 1.8321432  | 1.014 | 0.198991807 |                      |          |
| 1.91487925 | 1.015 | 0.248818275 |                      |          |
| 1.9976153  | 1.015 | 0.298676190 |                      |          |
| 2.08035135 | 1.016 | 0.348585571 |                      |          |
| 2.1630874  | 1.017 | 0.398486438 |                      |          |
| 2.24582345 | 1.017 | 0.448438811 |                      |          |
| 2.3285595  | 1.018 | 0.498422709 |                      |          |
| 2.41129555 | 1.019 | 0.548438154 |                      |          |
| 2.4940316  | 1.019 | 0.598485184 |                      |          |
| 2.57676765 | 1.020 | 0.648563780 |                      |          |
| 2.6595037  | 1.020 | 0.698673961 |                      |          |
| 2.74223975 | 1.021 | 0.748815787 |                      |          |
| 2.8249758  | 1.022 | 0.798982593 |                      |          |
| 2.90771185 | 1.022 | 0.849194396 |                      |          |
| 2.9904479  | 1.023 | 0.899432119 |                      |          |
| 3.07318395 | 1.024 | 0.949693747 |                      |          |
| 3.15592    | 1.024 | 1.000000000 |                      |          |



|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 1.501199   |
| Max Escala | 3.15592    |
| Paso       | 0.08273605 |

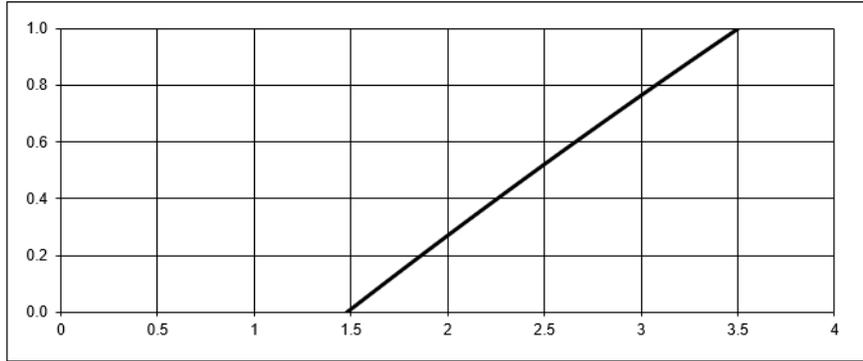
|            |           |
|------------|-----------|
| Saturacion | 0         |
|            | [ 0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**

**POTENCIAL DEL SUELO PARA RETENER AGUA**

**Normalización**

|            |       |       |                      |       |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 1.48104726 | 0.095 | 0.000 | Parámetro de control | 0.067 |
| 1.58188721 | 0.101 | 0.053 |                      |       |
| 1.68272717 | 0.107 | 0.106 |                      |       |
| 1.78356712 | 0.113 | 0.159 |                      |       |
| 1.88440707 | 0.119 | 0.211 |                      |       |
| 1.98524702 | 0.125 | 0.263 |                      |       |
| 2.08608698 | 0.131 | 0.314 |                      |       |
| 2.18692693 | 0.137 | 0.366 |                      |       |
| 2.28776688 | 0.143 | 0.416 |                      |       |
| 2.38860684 | 0.149 | 0.467 |                      |       |
| 2.48944679 | 0.154 | 0.517 |                      |       |
| 2.59028674 | 0.160 | 0.567 |                      |       |
| 2.69112669 | 0.166 | 0.616 |                      |       |
| 2.79196665 | 0.171 | 0.665 |                      |       |
| 2.89280661 | 0.177 | 0.714 |                      |       |
| 2.99364655 | 0.182 | 0.763 |                      |       |
| 3.0944865  | 0.188 | 0.811 |                      |       |
| 3.19532646 | 0.194 | 0.859 |                      |       |
| 3.29616641 | 0.199 | 0.906 |                      |       |
| 3.39700636 | 0.204 | 0.953 |                      |       |
| 3.49784631 | 0.210 | 1.000 |                      |       |



|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 1.48104726 |
| Max Escala | 3.49784631 |
| Paso       | 0.10084    |

CONVEXA CRECIENTE

|            |   |
|------------|---|
| Saturacion | 1 |
|------------|---|

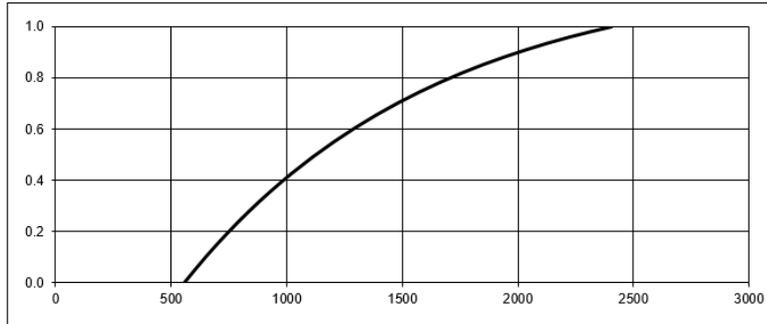
[0 - 10]

AGUA

## HETEROGENEIDAD AMBIENTAL

**Normalización**

|         |       |       |                      |        |
|---------|-------|-------|----------------------|--------|
| 556     | 0.403 | 0.000 | Parámetro de control | 0.0009 |
| 648.55  | 0.452 | 0.100 |                      |        |
| 741.1   | 0.497 | 0.192 |                      |        |
| 833.65  | 0.538 | 0.277 |                      |        |
| 926.2   | 0.576 | 0.354 |                      |        |
| 1018.75 | 0.611 | 0.425 |                      |        |
| 1111.3  | 0.643 | 0.491 |                      |        |
| 1203.85 | 0.672 | 0.550 |                      |        |
| 1296.4  | 0.699 | 0.605 |                      |        |
| 1388.95 | 0.724 | 0.656 |                      |        |
| 1481.5  | 0.747 | 0.702 |                      |        |
| 1574.05 | 0.768 | 0.745 |                      |        |
| 1666.6  | 0.787 | 0.784 |                      |        |
| 1759.15 | 0.804 | 0.820 |                      |        |
| 1851.7  | 0.820 | 0.852 |                      |        |
| 1944.25 | 0.835 | 0.883 |                      |        |
| 2036.8  | 0.849 | 0.910 |                      |        |
| 2129.35 | 0.861 | 0.936 |                      |        |
| 2221.9  | 0.872 | 0.959 |                      |        |
| 2314.45 | 0.883 | 0.980 |                      |        |
| 2407    | 0.893 | 1.000 |                      |        |



|            |       |
|------------|-------|
| Min Escala | 556   |
| Max Escala | 2407  |
| Paso       | 92.55 |

CONVEXA CRECIENTE

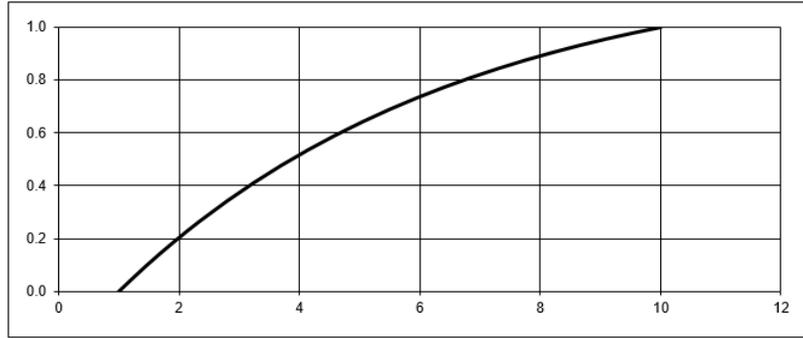
|            |     |
|------------|-----|
| Saturacion | 0.5 |
|------------|-----|

[0 - 10]

DESNIVEL ALTITUDINAL

**Normalización**

|      |       |       |                      |       |
|------|-------|-------|----------------------|-------|
| 1    | 0.163 | 0.000 | Parámetro de control | 0.177 |
| 1.45 | 0.227 | 0.096 |                      |       |
| 1.9  | 0.286 | 0.185 |                      |       |
| 2.35 | 0.341 | 0.267 |                      |       |
| 2.8  | 0.391 | 0.343 |                      |       |
| 3.25 | 0.438 | 0.413 |                      |       |
| 3.7  | 0.481 | 0.477 |                      |       |
| 4.15 | 0.521 | 0.537 |                      |       |
| 4.6  | 0.558 | 0.592 |                      |       |
| 5.05 | 0.592 | 0.643 |                      |       |
| 5.5  | 0.623 | 0.690 |                      |       |
| 5.95 | 0.652 | 0.733 |                      |       |
| 6.4  | 0.679 | 0.773 |                      |       |
| 6.85 | 0.703 | 0.810 |                      |       |
| 7.3  | 0.726 | 0.844 |                      |       |
| 7.75 | 0.747 | 0.875 |                      |       |
| 8.2  | 0.767 | 0.904 |                      |       |
| 8.65 | 0.784 | 0.931 |                      |       |
| 9.1  | 0.801 | 0.956 |                      |       |
| 9.55 | 0.816 | 0.979 |                      |       |
| 10   | 0.830 | 1.000 |                      |       |



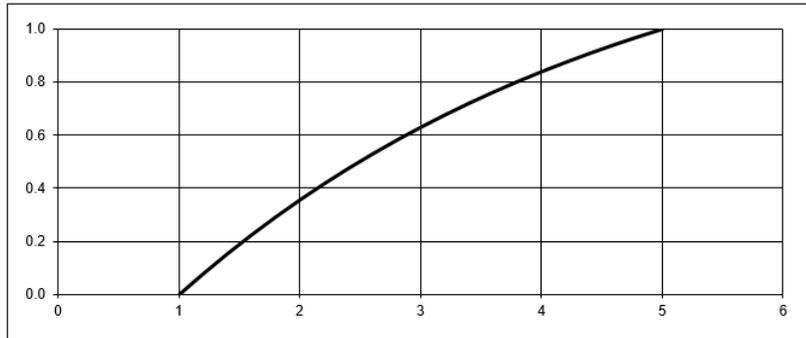
|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 1    |
| Max Escala | 10   |
| Paso       | 0.45 |
| Saturacion | 6    |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS**

**Normalización**

|     |       |       |                      |       |
|-----|-------|-------|----------------------|-------|
| 1   | 0.234 | 0.000 | Parámetro de control | 0.267 |
| 1.2 | 0.274 | 0.079 |                      |       |
| 1.4 | 0.312 | 0.154 |                      |       |
| 1.6 | 0.348 | 0.226 |                      |       |
| 1.8 | 0.382 | 0.293 |                      |       |
| 2   | 0.414 | 0.357 |                      |       |
| 2.2 | 0.445 | 0.418 |                      |       |
| 2.4 | 0.473 | 0.475 |                      |       |
| 2.6 | 0.501 | 0.530 |                      |       |
| 2.8 | 0.527 | 0.582 |                      |       |
| 3   | 0.551 | 0.631 |                      |       |
| 3.2 | 0.575 | 0.677 |                      |       |
| 3.4 | 0.597 | 0.721 |                      |       |
| 3.6 | 0.618 | 0.763 |                      |       |
| 3.8 | 0.638 | 0.802 |                      |       |
| 4   | 0.657 | 0.840 |                      |       |
| 4.2 | 0.674 | 0.875 |                      |       |
| 4.4 | 0.691 | 0.909 |                      |       |
| 4.6 | 0.707 | 0.941 |                      |       |
| 4.8 | 0.723 | 0.971 |                      |       |
| 5   | 0.737 | 1.000 |                      |       |



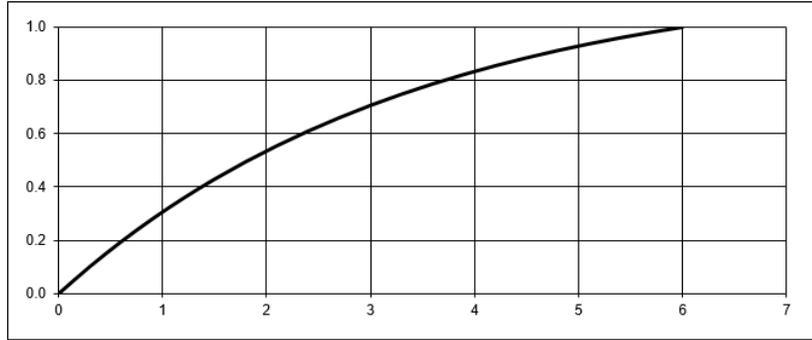
|            |     |
|------------|-----|
| Min Escala | 1   |
| Max Escala | 5   |
| Paso       | 0.2 |
| Saturacion | 5   |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**DIVERSIDAD DE MATERIAL LITOLÓGICO**

**Normalización**

|     |       |       |                      |       |
|-----|-------|-------|----------------------|-------|
| 0   | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control | 0.293 |
| 0.3 | 0.084 | 0.102 |                      |       |
| 0.6 | 0.161 | 0.195 |                      |       |
| 0.9 | 0.232 | 0.260 |                      |       |
| 1.2 | 0.296 | 0.358 |                      |       |
| 1.5 | 0.356 | 0.430 |                      |       |
| 1.8 | 0.410 | 0.495 |                      |       |
| 2.1 | 0.460 | 0.555 |                      |       |
| 2.4 | 0.505 | 0.610 |                      |       |
| 2.7 | 0.547 | 0.661 |                      |       |
| 3   | 0.585 | 0.707 |                      |       |
| 3.3 | 0.620 | 0.749 |                      |       |
| 3.6 | 0.652 | 0.787 |                      |       |
| 3.9 | 0.681 | 0.823 |                      |       |
| 4.2 | 0.708 | 0.855 |                      |       |
| 4.5 | 0.732 | 0.885 |                      |       |
| 4.8 | 0.755 | 0.912 |                      |       |
| 5.1 | 0.776 | 0.937 |                      |       |
| 5.4 | 0.794 | 0.960 |                      |       |
| 5.7 | 0.812 | 0.981 |                      |       |
| 6   | 0.828 | 1.000 |                      |       |



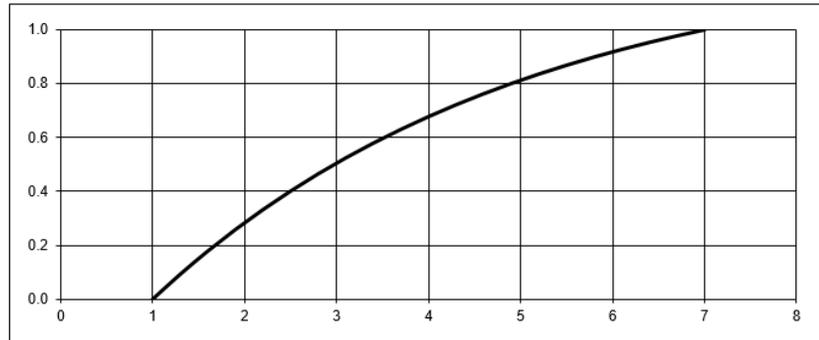
|            |     |
|------------|-----|
| Min Escala | 0   |
| Max Escala | 6   |
| Paso       | 0.3 |
| Saturacion | 6   |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**PUNTOS EPICONTINENTALES**

**Normalización**

|     |       |       |                      |       |
|-----|-------|-------|----------------------|-------|
| 1   | 0.220 | 0.000 | Parámetro de control | 0.248 |
| 1.3 | 0.276 | 0.093 |                      |       |
| 1.6 | 0.328 | 0.179 |                      |       |
| 1.9 | 0.376 | 0.259 |                      |       |
| 2.2 | 0.421 | 0.333 |                      |       |
| 2.5 | 0.463 | 0.402 |                      |       |
| 2.8 | 0.501 | 0.465 |                      |       |
| 3.1 | 0.537 | 0.525 |                      |       |
| 3.4 | 0.570 | 0.580 |                      |       |
| 3.7 | 0.601 | 0.631 |                      |       |
| 4   | 0.630 | 0.678 |                      |       |
| 4.3 | 0.656 | 0.722 |                      |       |
| 4.6 | 0.681 | 0.763 |                      |       |
| 4.9 | 0.704 | 0.801 |                      |       |
| 5.2 | 0.725 | 0.836 |                      |       |
| 5.5 | 0.745 | 0.869 |                      |       |
| 5.8 | 0.763 | 0.899 |                      |       |
| 6.1 | 0.780 | 0.927 |                      |       |
| 6.4 | 0.796 | 0.953 |                      |       |
| 6.7 | 0.811 | 0.978 |                      |       |
| 7   | 0.824 | 1.000 |                      |       |



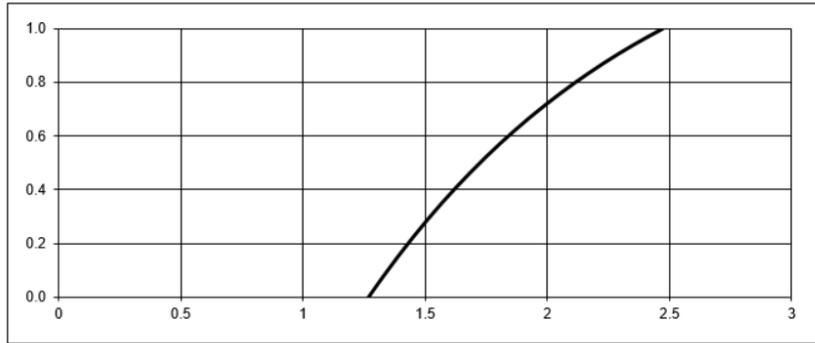
|            |     |
|------------|-----|
| Min Escala | 1   |
| Max Escala | 7   |
| Paso       | 0.3 |
| Saturacion | 6   |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**DIVERSIDAD EDÁFICA**

**Normalización**

|      |       |       |                      |       |
|------|-------|-------|----------------------|-------|
| 1.27 | 0.659 | 0.000 | Parámetro de control | 0.847 |
| 1.33 | 0.676 | 0.078 |                      |       |
| 1.39 | 0.692 | 0.151 |                      |       |
| 1.45 | 0.707 | 0.222 |                      |       |
| 1.51 | 0.722 | 0.288 |                      |       |
| 1.57 | 0.735 | 0.352 |                      |       |
| 1.63 | 0.746 | 0.412 |                      |       |
| 1.69 | 0.761 | 0.469 |                      |       |
| 1.75 | 0.773 | 0.523 |                      |       |
| 1.81 | 0.784 | 0.575 |                      |       |
| 1.87 | 0.795 | 0.624 |                      |       |
| 1.93 | 0.805 | 0.671 |                      |       |
| 1.99 | 0.815 | 0.715 |                      |       |
| 2.05 | 0.824 | 0.758 |                      |       |
| 2.11 | 0.832 | 0.798 |                      |       |
| 2.17 | 0.841 | 0.836 |                      |       |
| 2.23 | 0.849 | 0.872 |                      |       |
| 2.29 | 0.856 | 0.907 |                      |       |
| 2.35 | 0.863 | 0.939 |                      |       |
| 2.41 | 0.870 | 0.970 |                      |       |
| 2.47 | 0.876 | 1.000 |                      |       |



|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 1.27 |
| Max Escala | 2.47 |
| Paso       | 0.06 |

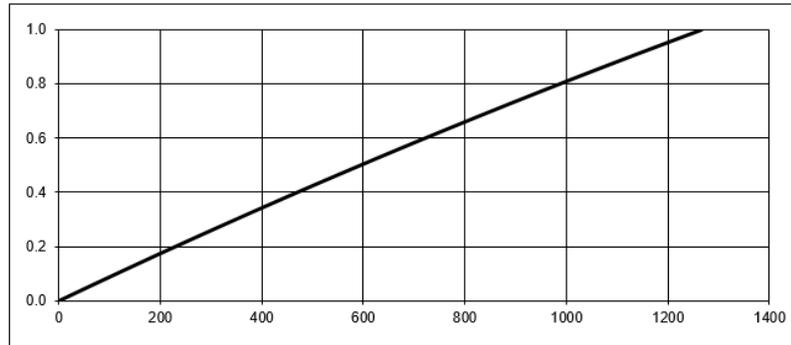
|            |   |
|------------|---|
| Saturacion | 5 |
| [ 0 - 10]  |   |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**Densidad de Drenaje Dd**

## RECARGA DE ACUIFEROS

**Normalización**

|            |       |       |                      |        |
|------------|-------|-------|----------------------|--------|
| 0          | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control | 0.0002 |
| 63.2837345 | 0.012 | 0.056 |                      |        |
| 126.567469 | 0.025 | 0.112 |                      |        |
| 189.851203 | 0.037 | 0.166 |                      |        |
| 253.134938 | 0.049 | 0.220 |                      |        |
| 316.418672 | 0.061 | 0.274 |                      |        |
| 379.702407 | 0.072 | 0.327 |                      |        |
| 442.986141 | 0.084 | 0.379 |                      |        |
| 506.269876 | 0.095 | 0.430 |                      |        |
| 569.55361  | 0.106 | 0.481 |                      |        |
| 632.837345 | 0.117 | 0.531 |                      |        |
| 696.121079 | 0.128 | 0.581 |                      |        |
| 759.404814 | 0.139 | 0.630 |                      |        |
| 822.688548 | 0.150 | 0.678 |                      |        |
| 885.972283 | 0.160 | 0.726 |                      |        |
| 949.256017 | 0.171 | 0.773 |                      |        |
| 1012.53975 | 0.181 | 0.819 |                      |        |
| 1075.82349 | 0.191 | 0.865 |                      |        |
| 1139.10722 | 0.201 | 0.911 |                      |        |
| 1202.39096 | 0.211 | 0.956 |                      |        |
| 1265.67469 | 0.221 | 1.000 |                      |        |



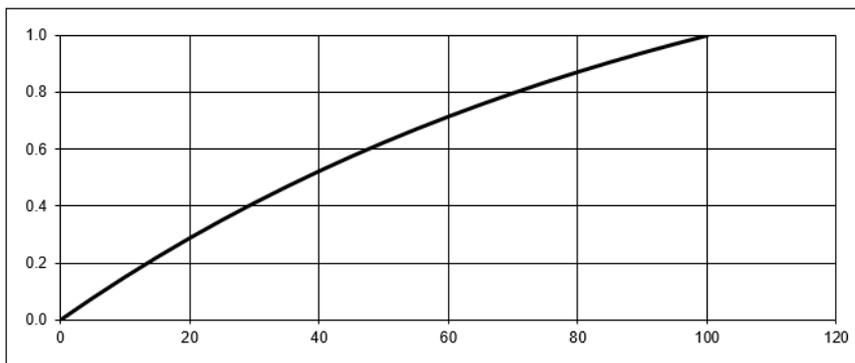
|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.00       |
| Max Escala | 1265.67469 |
| Paso       | 63.28373   |

|            |   |
|------------|---|
| Saturacion | 0 |
| [ 0 - 10]  |   |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**DENSIDAD DE FALLAS POR Km<sup>2</sup>**

**Normalización**

|     | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control | 0.01 |
|-----|-------|-------|----------------------|------|
| 0   | 0.000 | 0.000 |                      |      |
| 5   | 0.050 | 0.078 |                      |      |
| 10  | 0.097 | 0.151 |                      |      |
| 15  | 0.141 | 0.222 |                      |      |
| 20  | 0.184 | 0.288 |                      |      |
| 25  | 0.224 | 0.352 |                      |      |
| 30  | 0.263 | 0.412 |                      |      |
| 35  | 0.299 | 0.469 |                      |      |
| 40  | 0.334 | 0.524 |                      |      |
| 45  | 0.367 | 0.575 |                      |      |
| 50  | 0.398 | 0.624 |                      |      |
| 55  | 0.428 | 0.671 |                      |      |
| 60  | 0.457 | 0.716 |                      |      |
| 65  | 0.484 | 0.758 |                      |      |
| 70  | 0.509 | 0.798 |                      |      |
| 75  | 0.533 | 0.836 |                      |      |
| 80  | 0.557 | 0.872 |                      |      |
| 85  | 0.579 | 0.907 |                      |      |
| 90  | 0.599 | 0.939 |                      |      |
| 95  | 0.619 | 0.970 |                      |      |
| 100 | 0.638 | 1.000 |                      |      |



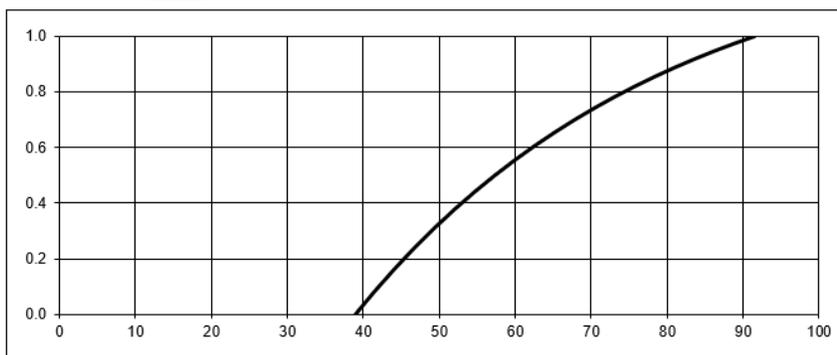
|            |     |
|------------|-----|
| Min Escala | 0   |
| Max Escala | 100 |
| Paso       | 5   |
| Saturacion | 2   |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**PP>EVAP**

**Normalización**

|            | 0.616 | 0.000 | Parámetro de control | 0.025 |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 39         | 0.616 | 0.000 |                      |       |
| 41.6224216 | 0.640 | 0.086 |                      |       |
| 44.2448432 | 0.662 | 0.167 |                      |       |
| 46.8672648 | 0.683 | 0.242 |                      |       |
| 49.4896864 | 0.703 | 0.313 |                      |       |
| 52.112108  | 0.721 | 0.380 |                      |       |
| 54.7345296 | 0.739 | 0.442 |                      |       |
| 57.3569512 | 0.755 | 0.501 |                      |       |
| 59.9793728 | 0.770 | 0.556 |                      |       |
| 62.6017944 | 0.785 | 0.607 |                      |       |
| 65.224216  | 0.798 | 0.655 |                      |       |
| 67.8466376 | 0.811 | 0.701 |                      |       |
| 70.4690592 | 0.822 | 0.743 |                      |       |
| 73.0914808 | 0.833 | 0.783 |                      |       |
| 75.7139024 | 0.844 | 0.820 |                      |       |
| 78.336324  | 0.853 | 0.855 |                      |       |
| 80.9587456 | 0.863 | 0.888 |                      |       |
| 83.5811672 | 0.871 | 0.919 |                      |       |
| 86.2035888 | 0.879 | 0.948 |                      |       |
| 88.8260104 | 0.887 | 0.975 |                      |       |
| 91.448432  | 0.894 | 1.000 |                      |       |



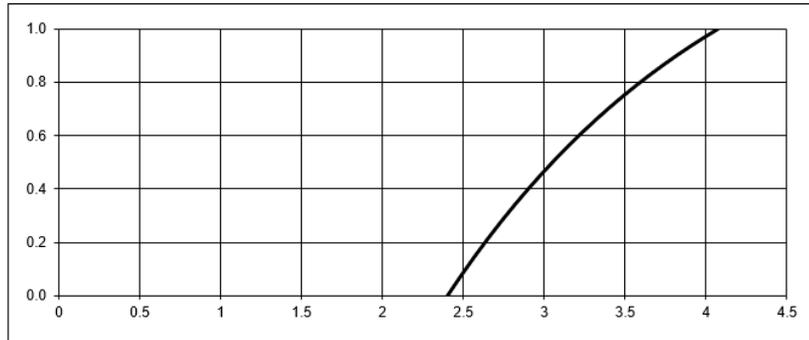
|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 39       |
| Max Escala | 91.45    |
| Paso       | 2.622422 |
| Saturacion | 4        |

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**PP>EVAP**

**Normalización**

|            |       |       |                      |       |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 2.39999    | 0.737 | 0.000 | Parámetro de control | 0.557 |
| 2.48340735 | 0.749 | 0.075 |                      |       |
| 2.5668253  | 0.760 | 0.147 |                      |       |
| 2.65024385 | 0.771 | 0.215 |                      |       |
| 2.7336618  | 0.782 | 0.280 |                      |       |
| 2.81707975 | 0.792 | 0.343 |                      |       |
| 2.9004977  | 0.801 | 0.402 |                      |       |
| 2.98391565 | 0.810 | 0.459 |                      |       |
| 3.0673336  | 0.819 | 0.513 |                      |       |
| 3.15075155 | 0.827 | 0.565 |                      |       |
| 3.2341695  | 0.835 | 0.614 |                      |       |
| 3.31758745 | 0.842 | 0.661 |                      |       |
| 3.4010054  | 0.849 | 0.706 |                      |       |
| 3.48442335 | 0.856 | 0.749 |                      |       |
| 3.5678413  | 0.863 | 0.790 |                      |       |
| 3.65125925 | 0.869 | 0.829 |                      |       |
| 3.7346772  | 0.875 | 0.867 |                      |       |
| 3.81809515 | 0.881 | 0.902 |                      |       |
| 3.9015131  | 0.886 | 0.936 |                      |       |
| 3.98493105 | 0.891 | 0.969 |                      |       |
| 4.068349   | 0.896 | 1.000 |                      |       |



|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 2.39999  |
| Max Escala | 4.068349 |
| Paso       | 0.083418 |

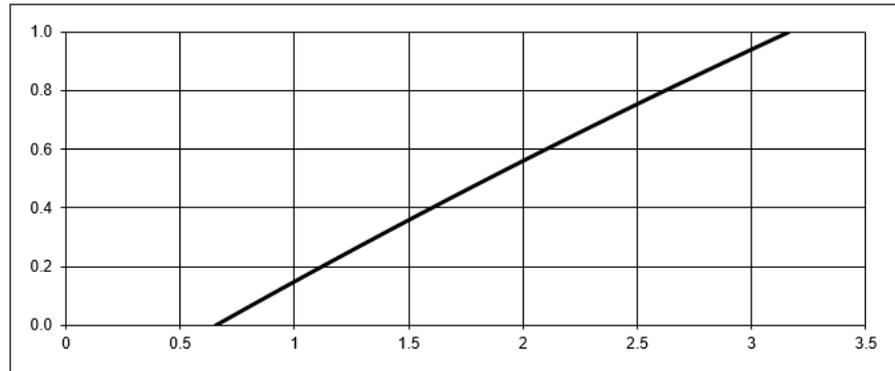
|            |     |
|------------|-----|
| Saturación | 6.5 |
|------------|-----|

[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**POTENCIAL DEL SUELO PARA LA RECARGA DE**  
**ACUIFEROS**

**Normalización**

|            |       |       |                      |      |
|------------|-------|-------|----------------------|------|
| 0.65795272 | 0.051 | 0.000 | Parámetro de control | 0.08 |
| 0.78302833 | 0.061 | 0.055 |                      |      |
| 0.90810394 | 0.070 | 0.109 |                      |      |
| 1.03317956 | 0.079 | 0.163 |                      |      |
| 1.15825517 | 0.088 | 0.216 |                      |      |
| 1.28333078 | 0.097 | 0.269 |                      |      |
| 1.40840639 | 0.106 | 0.321 |                      |      |
| 1.53348201 | 0.115 | 0.373 |                      |      |
| 1.65855762 | 0.124 | 0.424 |                      |      |
| 1.78363323 | 0.133 | 0.475 |                      |      |
| 1.90870884 | 0.141 | 0.525 |                      |      |
| 2.03378446 | 0.150 | 0.575 |                      |      |
| 2.15886007 | 0.158 | 0.624 |                      |      |
| 2.28393568 | 0.166 | 0.672 |                      |      |
| 2.40901129 | 0.175 | 0.721 |                      |      |
| 2.53408691 | 0.183 | 0.768 |                      |      |
| 2.65916252 | 0.191 | 0.816 |                      |      |
| 2.78423813 | 0.199 | 0.862 |                      |      |
| 2.90931374 | 0.207 | 0.909 |                      |      |
| 3.03438936 | 0.215 | 0.955 |                      |      |
| 3.15946497 | 0.223 | 1.000 |                      |      |



|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.65795272 |
| Max Escala | 3.15946497 |
| Paso       | 0.125076   |

|            |   |
|------------|---|
| Saturación | 1 |
|------------|---|

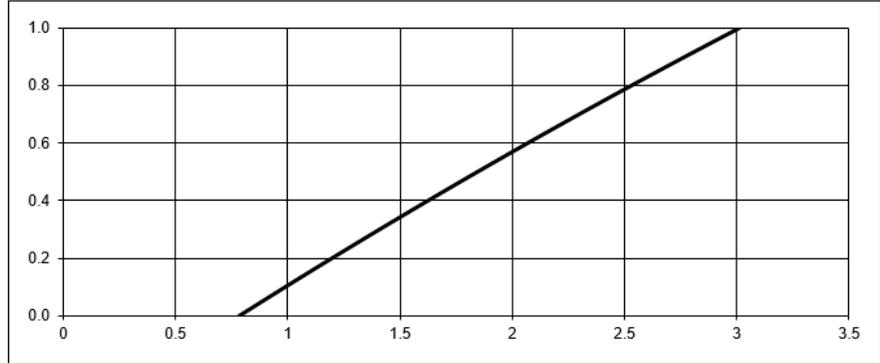
[0 - 10]

**CONVEXA CRECIENTE**  
**RECARGA**

# SOPORTE

## Normalización

|            |       |       |                      |       |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 0.78187698 | 0.066 | 0.000 | Parámetro de control | 0.087 |
| 0.89321404 | 0.075 | 0.055 |                      |       |
| 1.00455109 | 0.084 | 0.109 |                      |       |
| 1.11588815 | 0.092 | 0.163 |                      |       |
| 1.22722521 | 0.101 | 0.216 |                      |       |
| 1.33856226 | 0.110 | 0.268 |                      |       |
| 1.44989932 | 0.118 | 0.321 |                      |       |
| 1.56123637 | 0.127 | 0.372 |                      |       |
| 1.67257343 | 0.135 | 0.423 |                      |       |
| 1.78391048 | 0.144 | 0.474 |                      |       |
| 1.89524754 | 0.152 | 0.524 |                      |       |
| 2.00658459 | 0.160 | 0.574 |                      |       |
| 2.11792165 | 0.168 | 0.623 |                      |       |
| 2.2292587  | 0.176 | 0.672 |                      |       |
| 2.34059576 | 0.184 | 0.720 |                      |       |
| 2.45193281 | 0.192 | 0.768 |                      |       |
| 2.56326987 | 0.200 | 0.815 |                      |       |
| 2.67460692 | 0.208 | 0.862 |                      |       |
| 2.78594398 | 0.215 | 0.908 |                      |       |
| 2.89728103 | 0.223 | 0.954 |                      |       |
| 3.00861809 | 0.230 | 1.000 |                      |       |



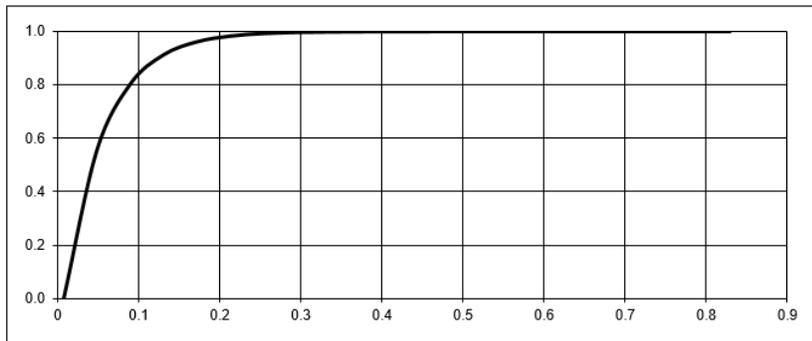
|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.78187698 |
| Max Escala | 3.00861809 |
| Paso       | 0.111337   |
| Saturacion | 1          |
|            | [0 - 10]   |

CONVEXA CRECIENTE  
RECARGA

# REGULACIÓN

## Normalización

|            |       |       |                      |       |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 0.00805068 | 0.147 | 0.000 | Parámetro de control | 19.81 |
| 0.0491227  | 0.622 | 0.557 |                      |       |
| 0.09019473 | 0.832 | 0.803 |                      |       |
| 0.13126675 | 0.926 | 0.913 |                      |       |
| 0.17233877 | 0.967 | 0.961 |                      |       |
| 0.2134108  | 0.985 | 0.983 |                      |       |
| 0.25448282 | 0.994 | 0.992 |                      |       |
| 0.29555485 | 0.997 | 0.997 |                      |       |
| 0.33662687 | 0.999 | 0.999 |                      |       |
| 0.37769889 | 0.999 | 0.999 |                      |       |
| 0.41877092 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.45984294 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.50091497 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.54198699 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.58305901 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.62413104 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.66520306 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.70627509 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.74734711 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.78841913 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 0.82949116 | 1.000 | 1.000 |                      |       |

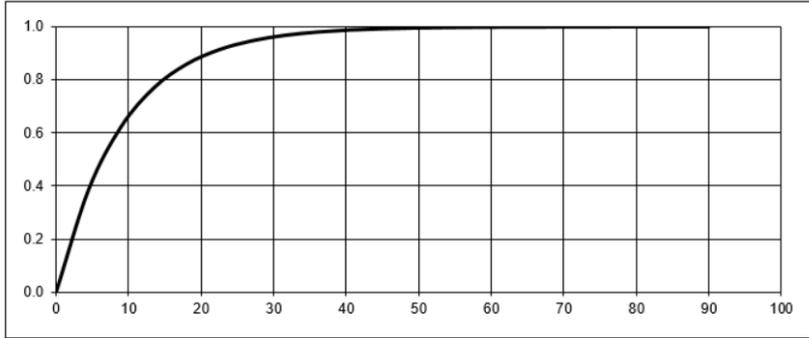


|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.00805068 |
| Max Escala | 0.82949116 |
| Paso       | 0.041072   |
| Saturacion | 5          |
|            | [0 - 10]   |

CONVEXA CRECIENTE  
Coeficiente Orografico Co

**Normalización**

|      |       |       |                      |       |
|------|-------|-------|----------------------|-------|
| 0    | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control | 0.109 |
| 4.5  | 0.387 | 0.387 |                      |       |
| 9    | 0.625 | 0.625 |                      |       |
| 13.5 | 0.770 | 0.770 |                      |       |
| 18   | 0.859 | 0.859 |                      |       |
| 22.5 | 0.914 | 0.914 |                      |       |
| 27   | 0.947 | 0.947 |                      |       |
| 31.5 | 0.968 | 0.968 |                      |       |
| 36   | 0.980 | 0.980 |                      |       |
| 40.5 | 0.988 | 0.988 |                      |       |
| 45   | 0.993 | 0.993 |                      |       |
| 49.5 | 0.995 | 0.995 |                      |       |
| 54   | 0.997 | 0.997 |                      |       |
| 58.5 | 0.998 | 0.998 |                      |       |
| 63   | 0.999 | 0.999 |                      |       |
| 67.5 | 0.999 | 0.999 |                      |       |
| 72   | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 76.5 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 81   | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 85.5 | 1.000 | 1.000 |                      |       |
| 90   | 1.000 | 1.000 |                      |       |



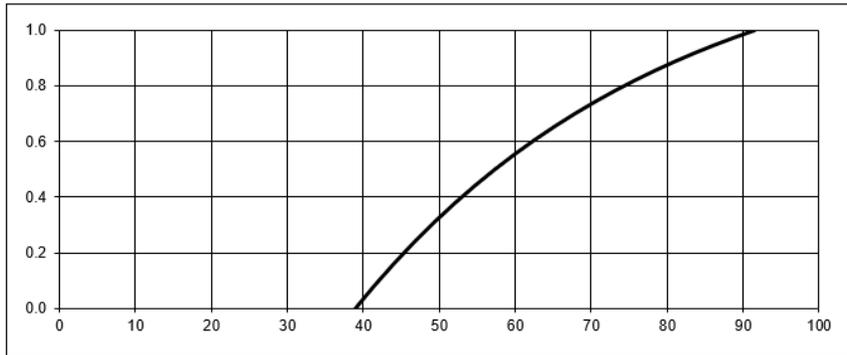
|            |     |
|------------|-----|
| Min Escala | 0   |
| Max Escala | 90  |
| Paso       | 4.5 |

|            |          |
|------------|----------|
| Saturacion | 8.5      |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
Pendiente del cuace principal

**Normalización**

|            |       |       |                      |       |
|------------|-------|-------|----------------------|-------|
| 39         | 0.616 | 0.000 | Parámetro de control | 0.025 |
| 41.6224216 | 0.640 | 0.086 |                      |       |
| 44.2448432 | 0.662 | 0.167 |                      |       |
| 46.8672648 | 0.683 | 0.242 |                      |       |
| 49.4896864 | 0.703 | 0.313 |                      |       |
| 52.112108  | 0.721 | 0.380 |                      |       |
| 54.7345296 | 0.739 | 0.442 |                      |       |
| 57.3569512 | 0.755 | 0.501 |                      |       |
| 59.9793728 | 0.770 | 0.556 |                      |       |
| 62.6017944 | 0.785 | 0.607 |                      |       |
| 65.224216  | 0.798 | 0.655 |                      |       |
| 67.8466376 | 0.811 | 0.701 |                      |       |
| 70.4690592 | 0.822 | 0.743 |                      |       |
| 73.0914808 | 0.833 | 0.783 |                      |       |
| 75.7139024 | 0.844 | 0.820 |                      |       |
| 78.336324  | 0.853 | 0.855 |                      |       |
| 80.9587456 | 0.863 | 0.888 |                      |       |
| 83.5811672 | 0.871 | 0.919 |                      |       |
| 86.2035888 | 0.879 | 0.948 |                      |       |
| 88.8260104 | 0.887 | 0.975 |                      |       |
| 91.448432  | 0.894 | 1.000 |                      |       |



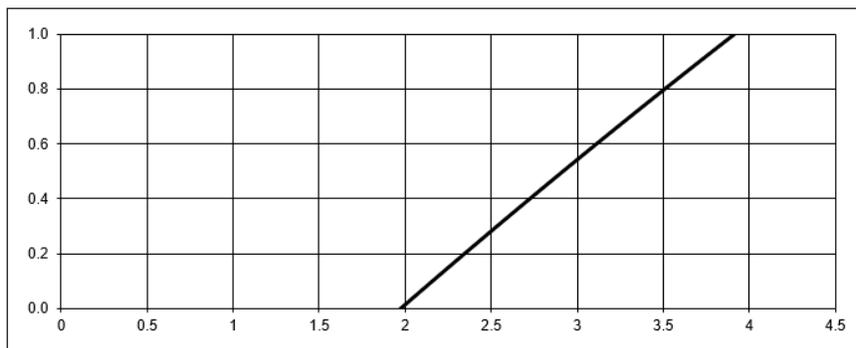
|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 39       |
| Max Escala | 91.45    |
| Paso       | 2.622422 |

|            |          |
|------------|----------|
| Saturacion | 4        |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
PP>EVAP

| Capa de Entrada | Ecuación | Normalización |
|-----------------|----------|---------------|
| 1.97            | 0.106    | 0.000         |
| 2.067           | 0.111    | 0.053         |
| 2.164           | 0.116    | 0.105         |
| 2.261           | 0.120    | 0.157         |
| 2.358           | 0.125    | 0.209         |
| 2.455           | 0.130    | 0.260         |
| 2.552           | 0.135    | 0.312         |
| 2.649           | 0.140    | 0.363         |
| 2.746           | 0.144    | 0.413         |
| 2.843           | 0.149    | 0.464         |
| 2.94            | 0.154    | 0.514         |
| 3.037           | 0.158    | 0.564         |
| 3.134           | 0.163    | 0.613         |
| 3.231           | 0.168    | 0.662         |
| 3.328           | 0.172    | 0.711         |
| 3.425           | 0.177    | 0.760         |
| 3.522           | 0.181    | 0.809         |
| 3.619           | 0.186    | 0.857         |
| 3.716           | 0.190    | 0.905         |
| 3.813           | 0.195    | 0.953         |
| 3.91            | 0.199    | 1.000         |

Parámetro de control **0.056756**

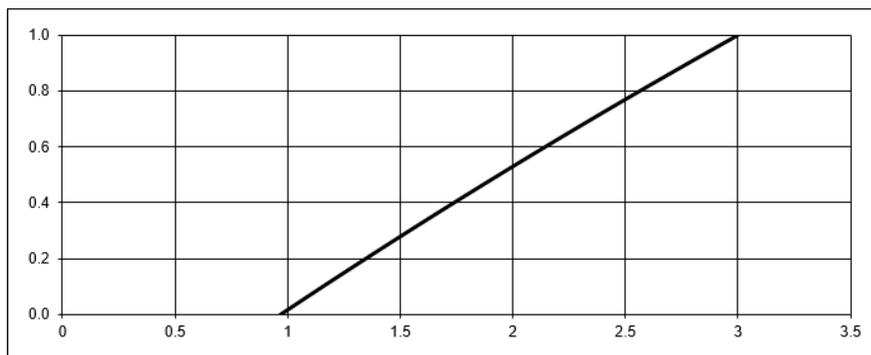


|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 1.97     |
| Max Escala | 3.91     |
| Paso       | 0.097    |
| Saturacion | 1        |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**EROSIÓN**

| Capa de Entrada | Ecuación | Normalización |
|-----------------|----------|---------------|
| 0.97            | 0.081    | 0.000         |
| 1.0715          | 0.089    | 0.054         |
| 1.173           | 0.097    | 0.108         |
| 1.2745          | 0.105    | 0.162         |
| 1.376           | 0.113    | 0.214         |
| 1.4775          | 0.121    | 0.267         |
| 1.579           | 0.129    | 0.319         |
| 1.6805          | 0.137    | 0.370         |
| 1.782           | 0.144    | 0.421         |
| 1.8835          | 0.152    | 0.472         |
| 1.985           | 0.159    | 0.522         |
| 2.0865          | 0.167    | 0.572         |
| 2.188           | 0.174    | 0.621         |
| 2.2895          | 0.181    | 0.670         |
| 2.391           | 0.189    | 0.718         |
| 2.4925          | 0.196    | 0.766         |
| 2.594           | 0.203    | 0.814         |
| 2.6955          | 0.210    | 0.861         |
| 2.797           | 0.217    | 0.908         |
| 2.8985          | 0.224    | 0.954         |
| 3               | 0.231    | 1.000         |

Parámetro de control **0.087429**

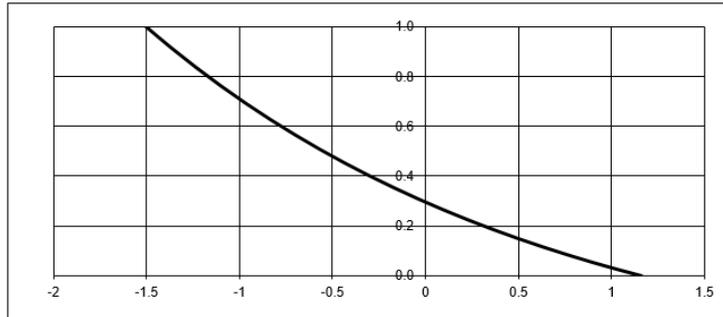


|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 0.97     |
| Max Escala | 3        |
| Paso       | 0.1015   |
| Saturacion | 1        |
|            | [0 - 10] |

**CONVEXA CRECIENTE**  
**EROSIÓN CON PROCESO EROSIVO ESTABLE**

**Normalización**

|          |       | 1.000 | Parámetro de control |
|----------|-------|-------|----------------------|
| -1.5028  | 1.972 | 0.917 | 0.452                |
| -1.36361 | 1.857 | 0.917 |                      |
| -1.23642 | 1.749 | 0.838 |                      |
| -1.10323 | 1.646 | 0.764 |                      |
| -0.97004 | 1.550 | 0.694 |                      |
| -0.83685 | 1.460 | 0.629 |                      |
| -0.70366 | 1.374 | 0.567 |                      |
| -0.57047 | 1.294 | 0.509 |                      |
| -0.43728 | 1.219 | 0.454 |                      |
| -0.30409 | 1.147 | 0.402 |                      |
| -0.1709  | 1.080 | 0.354 |                      |
| -0.03771 | 1.017 | 0.308 |                      |
| 0.09548  | 0.958 | 0.265 |                      |
| 0.22867  | 0.902 | 0.225 |                      |
| 0.36186  | 0.849 | 0.186 |                      |
| 0.49505  | 0.800 | 0.151 |                      |
| 0.62824  | 0.753 | 0.117 |                      |
| 0.76143  | 0.709 | 0.085 |                      |
| 0.89462  | 0.667 | 0.055 |                      |
| 1.02781  | 0.628 | 0.027 |                      |
| 1.161    | 0.592 | 0.000 |                      |



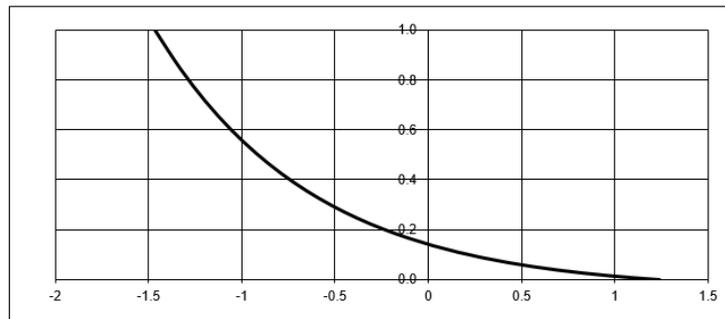
CONCAVA DECRECIENTE  
INDICE DE REZAGO SOCIAL IR

|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | -15028   |
| Max Escala | 1.161    |
| Paso       | 0.13319  |
| Saturacion | 0        |
|            | [0 - 10] |



**Normalización**

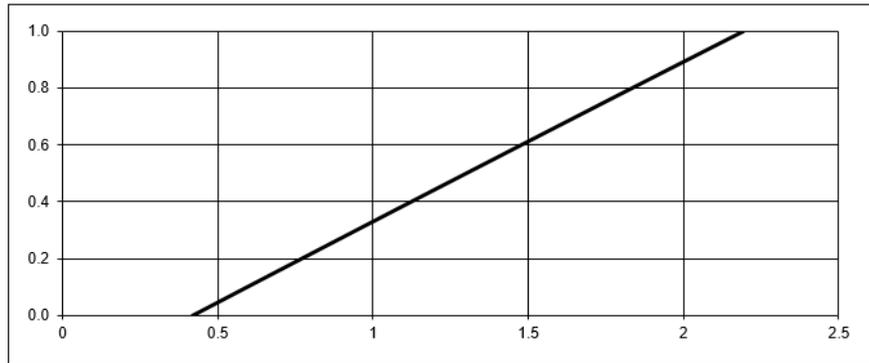
|            |       | 1.000 | Parámetro de control |
|------------|-------|-------|----------------------|
| -1.462804  | 5.639 | 0.846 | 1.1825               |
| -1.327485  | 4.805 | 0.774 |                      |
| -1.1921659 | 4.095 | 0.603 |                      |
| -1.0568469 | 3.489 | 0.507 |                      |
| -0.9215278 | 2.973 | 0.426 |                      |
| -0.7862088 | 2.534 | 0.357 |                      |
| -0.6508897 | 2.153 | 0.298 |                      |
| -0.5155707 | 1.840 | 0.247 |                      |
| -0.3802516 | 1.566 | 0.204 |                      |
| -0.2449326 | 1.336 | 0.168 |                      |
| -0.1096135 | 1.138 | 0.137 |                      |
| 0.02570555 | 0.970 | 0.110 |                      |
| 0.1610246  | 0.827 | 0.088 |                      |
| 0.29634365 | 0.704 | 0.068 |                      |
| 0.4316627  | 0.600 | 0.052 |                      |
| 0.56698175 | 0.511 | 0.038 |                      |
| 0.7023008  | 0.436 | 0.026 |                      |
| 0.83761985 | 0.371 | 0.016 |                      |
| 0.9729389  | 0.316 | 0.007 |                      |
| 1.10825795 | 0.270 | 0.000 |                      |
| 1.243577   | 0.230 |       |                      |



CONCAVA DECRECIENTE  
INDICE DE MARGINACIÓN SOCIAL IM

|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | -1462804 |
| Max Escala | 1.243577 |
| Paso       | 0.135319 |
| Saturacion | 0.5      |
|            | [0 - 10] |

| Capa de Entrada | Ecuación | Normalización | Parámetro de control |
|-----------------|----------|---------------|----------------------|
| 0.42030954      | 0.007    | 0.000         | 0.016                |
| 0.508891        | 0.008    | 0.051         |                      |
| 0.59747246      | 0.010    | 0.101         |                      |
| 0.68605392      | 0.011    | 0.152         |                      |
| 0.77463538      | 0.013    | 0.202         |                      |
| 0.86321684      | 0.014    | 0.253         |                      |
| 0.9517983       | 0.015    | 0.303         |                      |
| 1.04037976      | 0.017    | 0.353         |                      |
| 1.12896122      | 0.018    | 0.403         |                      |
| 1.21754268      | 0.020    | 0.454         |                      |
| 1.30612414      | 0.021    | 0.504         |                      |
| 1.3947056       | 0.023    | 0.554         |                      |
| 1.48328706      | 0.024    | 0.603         |                      |
| 1.57186852      | 0.025    | 0.653         |                      |
| 1.66044998      | 0.027    | 0.703         |                      |
| 1.74903144      | 0.028    | 0.753         |                      |
| 1.8376129       | 0.030    | 0.802         |                      |
| 1.92619436      | 0.031    | 0.852         |                      |
| 2.01477582      | 0.032    | 0.901         |                      |
| 2.10335728      | 0.034    | 0.951         |                      |
| 2.19193874      | 0.035    | 1.000         |                      |

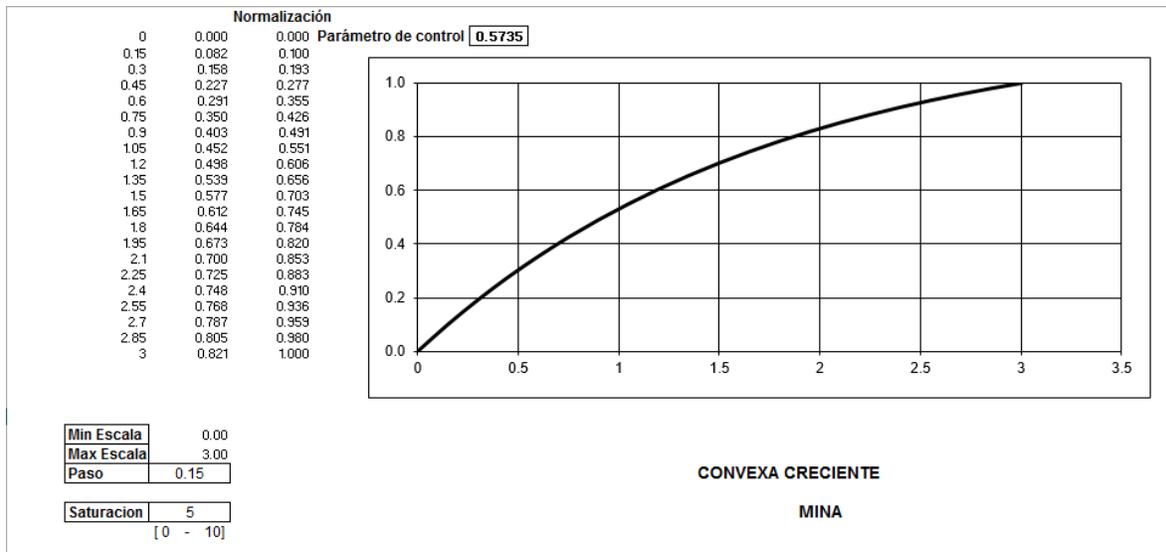


|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.42030954 |
| Max Escala | 2.19193874 |
| Paso       | 0.088581   |
| Saturacion | 0          |

[0 - 10]

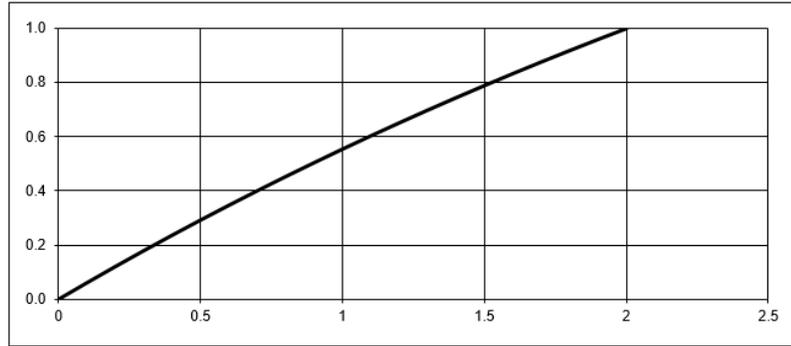
CONVEXA CRECIENTE  
REGULACIÓN

## PROVISIÓN



Normalización

|     |       |       |                                    |
|-----|-------|-------|------------------------------------|
| 0   | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control <b>0.2196</b> |
| 0.1 | 0.022 | 0.061 |                                    |
| 0.2 | 0.043 | 0.121 |                                    |
| 0.3 | 0.064 | 0.179 |                                    |
| 0.4 | 0.084 | 0.237 |                                    |
| 0.5 | 0.104 | 0.293 |                                    |
| 0.6 | 0.123 | 0.347 |                                    |
| 0.7 | 0.143 | 0.401 |                                    |
| 0.8 | 0.161 | 0.453 |                                    |
| 0.9 | 0.179 | 0.505 |                                    |
| 1   | 0.197 | 0.555 |                                    |
| 1.1 | 0.215 | 0.604 |                                    |
| 1.2 | 0.232 | 0.652 |                                    |
| 1.3 | 0.248 | 0.699 |                                    |
| 1.4 | 0.265 | 0.745 |                                    |
| 1.5 | 0.281 | 0.790 |                                    |
| 1.6 | 0.296 | 0.834 |                                    |
| 1.7 | 0.312 | 0.877 |                                    |
| 1.8 | 0.327 | 0.919 |                                    |
| 1.9 | 0.341 | 0.960 |                                    |
| 2   | 0.355 | 1.000 |                                    |

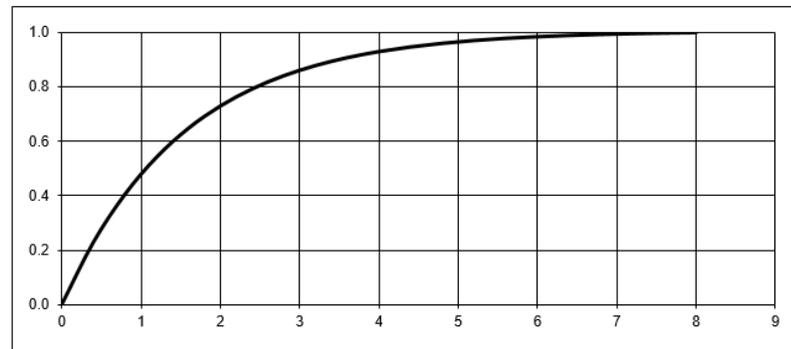


|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 0.00 |
| Max Escala | 2.00 |
| Paso       | 0.1  |
| Saturacion | 1    |
|            | 2    |

CONVEXA CRECIENTE  
MANTIAL, CUERPOS DE AGUA y BANCO DE MATERIAL

Normalización

|     |       |       |                                    |
|-----|-------|-------|------------------------------------|
| 0   | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control <b>0.6471</b> |
| 0.4 | 0.228 | 0.229 |                                    |
| 0.8 | 0.404 | 0.406 |                                    |
| 1.2 | 0.540 | 0.543 |                                    |
| 1.6 | 0.645 | 0.649 |                                    |
| 2   | 0.726 | 0.730 |                                    |
| 2.4 | 0.788 | 0.793 |                                    |
| 2.8 | 0.837 | 0.841 |                                    |
| 3.2 | 0.874 | 0.879 |                                    |
| 3.6 | 0.903 | 0.908 |                                    |
| 4   | 0.925 | 0.930 |                                    |
| 4.4 | 0.942 | 0.947 |                                    |
| 4.8 | 0.955 | 0.961 |                                    |
| 5.2 | 0.965 | 0.971 |                                    |
| 5.6 | 0.973 | 0.979 |                                    |
| 6   | 0.979 | 0.985 |                                    |
| 6.4 | 0.984 | 0.990 |                                    |
| 6.8 | 0.988 | 0.993 |                                    |
| 7.2 | 0.991 | 0.996 |                                    |
| 7.6 | 0.993 | 0.998 |                                    |
| 8   | 0.994 | 1.000 |                                    |



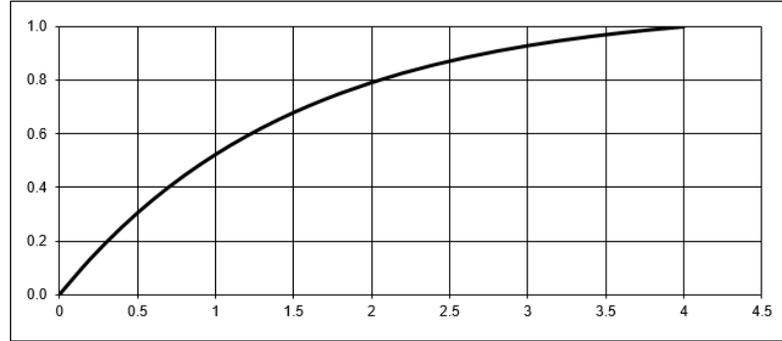
|            |          |
|------------|----------|
| Min Escala | 0.00     |
| Max Escala | 8.00     |
| Paso       | 0.4      |
| Saturacion | 9        |
|            | [0 - 10] |



CONVEXA CRECIENTE  
DIV MAIZ

Normalización

|     |       |       |                                    |
|-----|-------|-------|------------------------------------|
| 0   | 0.000 | 0.000 | Parámetro de control <b>0.6675</b> |
| 0.2 | 0.125 | 0.134 |                                    |
| 0.4 | 0.234 | 0.252 |                                    |
| 0.6 | 0.330 | 0.355 |                                    |
| 0.8 | 0.414 | 0.445 |                                    |
| 1   | 0.487 | 0.523 |                                    |
| 1.2 | 0.551 | 0.592 |                                    |
| 1.4 | 0.607 | 0.652 |                                    |
| 1.6 | 0.656 | 0.705 |                                    |
| 1.8 | 0.699 | 0.751 |                                    |
| 2   | 0.737 | 0.792 |                                    |
| 2.2 | 0.770 | 0.827 |                                    |
| 2.4 | 0.798 | 0.858 |                                    |
| 2.6 | 0.824 | 0.885 |                                    |
| 2.8 | 0.846 | 0.909 |                                    |
| 3   | 0.865 | 0.929 |                                    |
| 3.2 | 0.882 | 0.947 |                                    |
| 3.4 | 0.897 | 0.963 |                                    |
| 3.6 | 0.910 | 0.977 |                                    |
| 3.8 | 0.921 | 0.989 |                                    |
| 4   | 0.931 | 1.000 |                                    |



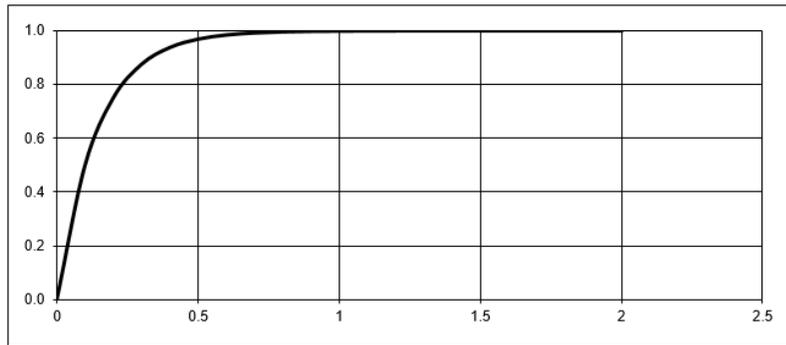
|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 0.00 |
| Max Escala | 4.00 |
| Paso       | 0.2  |

|            |          |
|------------|----------|
| Saturacion | 7        |
|            | [0 - 10] |

CONVEXA CRECIENTE  
DIV FRIJOL

|     | Normalización |       |
|-----|---------------|-------|
| 0   | 0.000         | 0.000 |
| 0.1 | 0.501         | 0.501 |
| 0.2 | 0.751         | 0.751 |
| 0.3 | 0.876         | 0.876 |
| 0.4 | 0.936         | 0.936 |
| 0.5 | 0.969         | 0.969 |
| 0.6 | 0.985         | 0.985 |
| 0.7 | 0.992         | 0.992 |
| 0.8 | 0.996         | 0.996 |
| 0.9 | 0.998         | 0.998 |
| 1   | 0.999         | 0.999 |
| 1.1 | 1.000         | 1.000 |
| 1.2 | 1.000         | 1.000 |
| 1.3 | 1.000         | 1.000 |
| 1.4 | 1.000         | 1.000 |
| 1.5 | 1.000         | 1.000 |
| 1.6 | 1.000         | 1.000 |
| 1.7 | 1.000         | 1.000 |
| 1.8 | 1.000         | 1.000 |
| 1.9 | 1.000         | 1.000 |
| 2   | 1.000         | 1.000 |

Parámetro de control **6.9503**



|            |      |
|------------|------|
| Min Escala | 0.00 |
| Max Escala | 2.00 |
| Paso       | 0.1  |
| Saturacion | 9.3  |

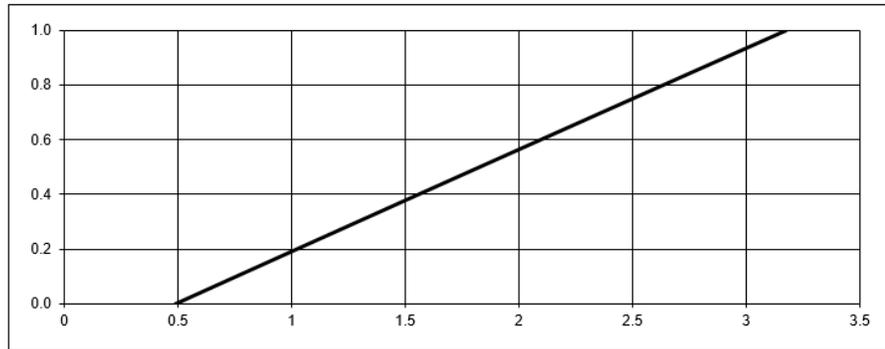
[0 - 10]

CONVEXA CRECIENTE  
DIV CALABAZA

## SERVICIOS ECOSISTEMICOS

| Capa de Entrada | Ecuación | Normalización |
|-----------------|----------|---------------|
| 0.48791433      | 0.004    | 0.000         |
| 0.62236986      | 0.005    | 0.050         |
| 0.75682539      | 0.006    | 0.101         |
| 0.89128092      | 0.007    | 0.151         |
| 1.02573645      | 0.008    | 0.202         |
| 1.16019198      | 0.009    | 0.252         |
| 1.2946475       | 0.010    | 0.302         |
| 1.42910303      | 0.011    | 0.352         |
| 1.56355856      | 0.012    | 0.402         |
| 1.69801409      | 0.013    | 0.453         |
| 1.83246962      | 0.014    | 0.503         |
| 1.96692515      | 0.015    | 0.553         |
| 2.10138067      | 0.016    | 0.602         |
| 2.2358362       | 0.017    | 0.652         |
| 2.37029173      | 0.018    | 0.702         |
| 2.50474726      | 0.019    | 0.752         |
| 2.63920279      | 0.020    | 0.802         |
| 2.77365832      | 0.021    | 0.851         |
| 2.90811385      | 0.022    | 0.901         |
| 3.04256937      | 0.023    | 0.950         |
| 3.1770249       | 0.024    | 1.000         |

Parámetro de control **0.007537991**



|            |            |
|------------|------------|
| Min Escala | 0.48791433 |
| Max Escala | 3.1770249  |
| Paso       | 0.134456   |
| Saturacion | 0          |

[0 - 10]

CONVEXA CRECIENTE  
SE

Anexo 7. Resultados para Microcuencas de alto potencial erosivo. En azul se representan las cuencas con baja cobertura vegetal, en color gris aquellas con valores de mediana cobertura vegetal

| Subbasi  | EVIN | CoN  | CsN  | sloN | precN | DENPOB | EROS | ERSINPBC | erosn |
|----------|------|------|------|------|-------|--------|------|----------|-------|
| 35.00    | 0.57 | 1.00 | 0.90 | 0.97 | 1.00  | 0.00   | 3.87 | 0.02     | 1.00  |
| 34.00    | 0.47 | 1.00 | 0.90 | 0.95 | 0.97  | 0.62   | 3.81 | 0.02     | 0.97  |
| 26.00    | 0.76 | 1.00 | 0.85 | 0.92 | 0.92  | 0.16   | 3.68 | 0.02     | 0.89  |
| 5.00     | 0.68 | 1.00 | 0.85 | 0.97 | 0.84  | 0.00   | 3.65 | 0.02     | 0.88  |
| 69.00    | 0.96 | 1.00 | 0.82 | 0.94 | 0.89  | 0.00   | 3.64 | 0.02     | 0.87  |
| 15.00    | 0.39 | 0.98 | 0.92 | 0.98 | 0.76  | 0.00   | 3.64 | 0.02     | 0.87  |
| 49.00    | 0.49 | 1.00 | 0.91 | 0.96 | 0.75  | 0.38   | 3.61 | 0.02     | 0.86  |
| 19.00    | 0.68 | 0.99 | 0.82 | 0.95 | 0.84  | 0.00   | 3.61 | 0.02     | 0.85  |
| 68.00    | 0.98 | 1.00 | 0.81 | 0.95 | 0.84  | 0.00   | 3.60 | 0.02     | 0.85  |
| 11.00    | 0.32 | 0.97 | 0.87 | 0.98 | 0.76  | 0.00   | 3.58 | 0.02     | 0.84  |
| 3.00     | 0.75 | 1.00 | 0.85 | 0.88 | 0.84  | 0.00   | 3.57 | 0.02     | 0.84  |
| 43.00    | 1.00 | 1.00 | 0.88 | 0.98 | 0.70  | 0.00   | 3.56 | 0.02     | 0.83  |
| 20.00    | 0.62 | 0.99 | 0.76 | 0.97 | 0.84  | 0.00   | 3.56 | 0.02     | 0.83  |
| 89.00    | 0.79 | 1.00 | 0.80 | 0.90 | 0.84  | 0.00   | 3.55 | 0.02     | 0.82  |
| 4.00     | 0.28 | 1.00 | 0.90 | 0.87 | 0.77  | 0.24   | 3.54 | 0.02     | 0.82  |
| 28.00    | 0.43 | 0.98 | 0.82 | 0.91 | 0.84  | 0.23   | 3.54 | 0.02     | 0.82  |
| 94.00    | 0.75 | 1.00 | 0.81 | 0.87 | 0.84  | 0.00   | 3.52 | 0.02     | 0.81  |
| 12.00    | 0.56 | 0.91 | 0.82 | 0.94 | 0.84  | 0.20   | 3.52 | 0.02     | 0.81  |
| 41.00    | 0.55 | 1.00 | 0.85 | 0.78 | 0.88  | 0.00   | 3.52 | 0.02     | 0.80  |
| 13.00    | 0.23 | 0.89 | 0.84 | 0.99 | 0.80  | 0.00   | 3.52 | 0.02     | 0.80  |
| 50.00    | 0.79 | 1.00 | 0.80 | 0.96 | 0.75  | 0.00   | 3.51 | 0.02     | 0.80  |
| 16.00    | 0.51 | 0.95 | 0.77 | 0.94 | 0.84  | 0.00   | 3.51 | 0.02     | 0.80  |
| 51.00    | 0.78 | 1.00 | 0.73 | 0.92 | 0.85  | 0.00   | 3.51 | 0.02     | 0.80  |
| 14.00    | 0.16 | 0.96 | 0.93 | 0.98 | 0.62  | 0.30   | 3.49 | 0.02     | 0.79  |
| 30.00    | 0.78 | 0.98 | 0.88 | 0.96 | 0.65  | 0.00   | 3.47 | 0.02     | 0.78  |
| 42.00    | 0.75 | 0.99 | 0.83 | 0.95 | 0.67  | 0.00   | 3.44 | 0.02     | 0.76  |
| 23.00    | 0.63 | 0.93 | 0.86 | 0.98 | 0.67  | 0.00   | 3.44 | 0.02     | 0.76  |
| 84.00    | 0.43 | 1.00 | 0.73 | 0.88 | 0.82  | 0.50   | 3.43 | 0.02     | 0.76  |
| 46.00    | 0.53 | 1.00 | 0.86 | 0.60 | 0.96  | 0.00   | 3.43 | 0.02     | 0.75  |
| 32.00    | 0.37 | 0.94 | 0.75 | 0.96 | 0.78  | 0.00   | 3.42 | 0.02     | 0.75  |
| 48.00    | 0.30 | 1.00 | 0.94 | 0.99 | 0.47  | 0.00   | 3.40 | 0.02     | 0.74  |
| 37.00    | 0.33 | 0.87 | 0.79 | 0.90 | 0.85  | 0.21   | 3.40 | 0.02     | 0.74  |
| 18.00    | 0.37 | 0.98 | 0.91 | 0.98 | 0.51  | 0.00   | 3.38 | 0.02     | 0.73  |
| 17.00    | 0.58 | 0.87 | 0.69 | 0.97 | 0.84  | 0.00   | 3.37 | 0.02     | 0.72  |
| 25.00    | 0.58 | 0.83 | 0.73 | 0.97 | 0.84  | 0.00   | 3.36 | 0.02     | 0.72  |
| 44.00    | 0.37 | 0.98 | 0.87 | 0.97 | 0.54  | 0.00   | 3.36 | 0.02     | 0.71  |
| 36.00    | 0.68 | 0.89 | 0.81 | 0.98 | 0.67  | 0.07   | 3.36 | 0.02     | 0.71  |
| 57.00    | 0.33 | 1.00 | 0.82 | 0.96 | 0.58  | 0.00   | 3.35 | 0.02     | 0.71  |
| 31.00    | 0.37 | 0.78 | 0.75 | 0.96 | 0.86  | 0.33   | 3.34 | 0.02     | 0.71  |
| 1.00     | 0.50 | 1.00 | 0.77 | 0.73 | 0.84  | 0.00   | 3.34 | 0.02     | 0.71  |
| 95.00    | 0.89 | 1.00 | 0.83 | 0.67 | 0.84  | 0.00   | 3.34 | 0.02     | 0.70  |
| 2.00     | 0.39 | 0.95 | 0.78 | 0.84 | 0.77  | 0.50   | 3.33 | 0.02     | 0.70  |
| PROMEDIO |      | 0.97 | 0.83 | 0.92 | 0.79  |        |      |          |       |