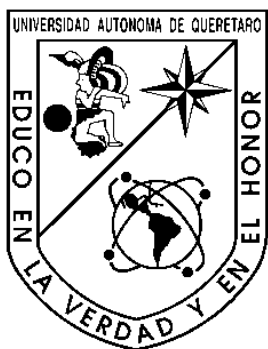


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO



Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Facultad de Química

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA
JALISCO: PLANEACIÓN-ATENCIÓN BASADA EN MICROCUENCAS**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

José Luis Olguín López

Dirigido por

Dr. Raúl Francisco Pineda López

Co-director

Dr. Luis Manuel Martínez Rivera

Santiago de Querétaro, Qro.

Noviembre 2009



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

Facultad de Ciencias Naturales
Facultad de Ingeniería
Facultad de Psicología
Facultad de Filosofía
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Facultad de Química

MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA,
JALISCO: PLANEACIÓN-ATENCIÓN BASADA EN MICROCUENCAS

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

José Luis Olguín López

Dirigido por:

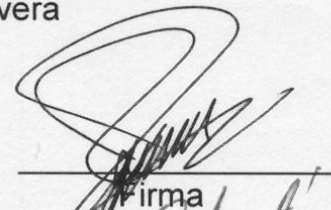
Dr. Raúl Francisco Pineda López

Co-director

Dr. Luis Manuel Martínez Rivera

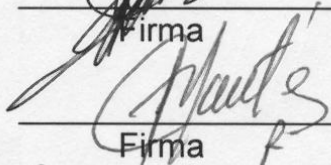
SINODALES

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Presidente



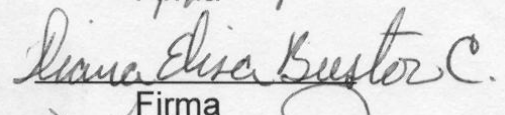
Firma

Dr. Luis Manuel Martínez Rivera
Secretario



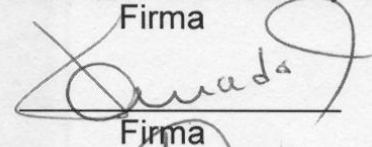
Firma

M. en C. Diana Elisa Bustos Contreras
Vocal



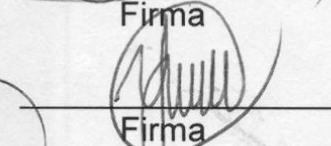
Firma

M. en C. Alfredo Amador García
Suplente



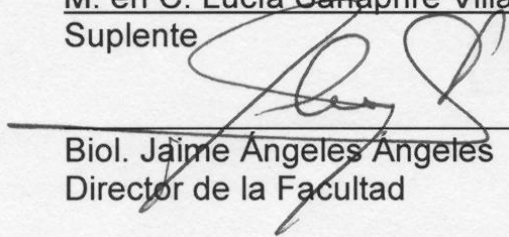
Firma

M. en C. Lucía Sanaphre Villanueva
Suplente

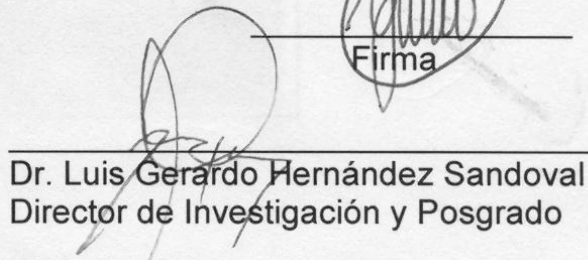


Firma

Biol. Jaime Angeles Angeles
Director de la Facultad



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado



Centro Universitario.
Querétaro, Qro. Noviembre 2009
México.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue la identificación de microcuencas prioritarias en la subcuenca del Río Ayuquila para la conservación y el aprovechamiento hidrológico con la finalidad de implementar propuestas generales de manejo del agua. La priorización se basó en el método utilizado por el Ministerio de Agricultura (PERU 1984) donde presenta una aplicación con enfoque integral evaluando las condiciones físicas, ambientales y socioeconómicas de cada microcuenca. Los criterios de priorización fueron definidos mediante la aplicación de encuestas semi-estructuradas con los actores clave que influyen en el estudio y manejo del agua dentro de la subcuenca. A través de una evaluación multicriterio y el proceso de análisis jerárquico se evaluaron y analizaron la aptitud hidrológica de cada microcuenca. La técnica aplicada para la ponderación de los criterios de priorización hidrológica con enfoques de conservación y aprovechamiento fue el método de clasificación de la evaluación multicriterio.

Se delimitaron 53 microcuencas de las cuales se presentaron 22 con aptitud hidrológica muy alta y 16 con clasificación alta para la conservación del agua. Se encontró una microcuenca con clasificación muy alta de aptitud aprovechamiento del agua y nueve con clasificación alta. El análisis de priorización muestra siete microcuencas prioritarias para conservar el agua y 10 con nivel de alta prioridad. Se encontraron siete microcuencas con niveles muy altos y 4 con niveles altos de prioridad para el aprovechamiento. Para la conservación del recurso se propuso la aplicación del pago por servicios ambientales en microcuencas con gran influencia de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán como Manantlán, la aplicación se podrá implementarse en función a la calidad del agua e infiltración del escurrimiento. La propuesta de manejo para el aprovechamiento del agua es la utilización y mejoramiento de la infraestructura de riego para uso agrícola evitando desperdicios del agua aunado a la aplicación de técnicas o métodos de siembra para evitar el proceso acelerado de la erosión y contaminación. Se concluye que la subcuenca del Río Ayuquila presenta zonas funcionales muy marcadas influyendo en el comportamiento del escurrimiento superficial que debe ser conservado a través del trabajo local en las microcuencas prioritarias.

Palabras clave: priorización, microcuencas, conservación, aprovechamiento.

SUMMARY

The aim of this study was to identify priority watersheds in the subbasin Ayuquila River for conservation and use hydrological order to implement comprehensive proposals for water management. The prioritization was based on the method used by the Ministry of Agriculture (PERU 1984) which presents an application with an integrated approach to assess the physical, environmental and socioeconomic each micro. Prioritization criteria were defined by applying semi-structured surveys with key actors that influence the study and management of water within the subbasin. Through a multi-criteria evaluation and the process of hierarchical analysis were assessed and analyzed the ability of each micro-watershed hydrology. The technique used for the weighting of criteria for prioritizing hydrological approaches to conservation and utilization was the classification method of multicriteria evaluation.

53 watersheds were delineated of which were presented 22 with very high fitness hydrologic and 16 with high rating for water conservation. We found a very high micro-rated fitness water use and nine with high rating. Prioritization analysis shows seven priority watersheds to conserve water and 10 with high priority level. There were seven watersheds with very high levels and 4 with high levels of priority for use. For resource conservation called for the use of payment for environmental services in watersheds heavily influenced by the Biosphere Reserve and Sierra de Manantlán Manantlán, the application can be implemented according to water quality and infiltration of runoff. The management proposal for water use is the use and improvement of irrigation infrastructure for agricultural use by avoiding waste of water coupled with the application of techniques or methods of planting to prevent accelerated erosion and pollution. We conclude that Ayuquila River sub functional areas presents very marked influence on the behavior of surface runoff to be preserved through local work in the priority watersheds.

Keywords: prioritization, watersheds, conservation, utilization.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES. Con mucho cariño y respeto como un pequeño reconocimiento al esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida y estudios. Ustedes porque han constituido un poderoso estímulo capaz de obligar mi pluma, disponer mi mente, ocupar mí tiempo y dedicar el mejor de mis esfuerzos en beneficios de mis logros y objetivos.

A MIS HERMANOS. Porque directa o indirectamente han contribuido al cumplimiento de una de mis más importantes metas, porque han sido una fuente de estímulo y dedicación a esta mi carrera profesional. Reciban este pequeño reconocimiento a cambio de todo lo que me han otorgado.

A TODOS MIS SOBRINOS (AS). Con un estímulo y motivación para que busquen siempre y en cada momento de su vida la superación personal.

A MI ESPOSA. Ana Fani. Por ser el más grande apoyo en esta etapa de mi vida. Gracias por darme cariño, aliento, confianza y fuerza, por estar junto a mí todo el tiempo, por reconocer y fomentar mi crecimiento profesional, por construir conmigo un proyecto de vida. Te amo con todo mi corazón.

A MI HIJA Lesly Hermandina. Este logro en parte también es tuyo, quiero que sepas que agradezco mucho tu paciencia y apoyo. Ten siempre presente que eres muy importante para mí. Te quiero mucho.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS. Que siempre me brindaron su amistad sincera y por los momentos que compartimos dentro y fuera del aula.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS. Por permitirnos vivir y lograr un objetivo más en esta vida, además de darme la oportunidad de compartirlo con mi familia y amigos.

Agradezco enormemente a mis sinodales por su asesoría durante la realización de este trabajo de Tesis. Realmente todos tuvieron contribuciones muy importantes sin las cuales el resultado habría sido completamente diferente.

Dr. Raúl Francisco Pineda López. Gracias también por todo el tiempo dedicado y su gran paciencia en la dirección de este trabajo.

Dr. Luis Manuel Martínez Rivera, los consejos aportados su tenacidad en el mejoramiento de mi trabajo de tesis, mejorando enormemente los alcances y el aprovechamiento de mis datos. Muchas gracias por su apoyo.

M. C. Diana Bustos, por gran visión integral e interdisciplinaria y su gran capacidad de contribuir en la formación profesional de los alumnos de la maestría, además de la contribución enormemente en la elaboración del documento de tesis.

M. C. Lucia Sanaphre, La experiencia adquirida sobre los SIG ha sido un fundamental en el desarrollo de este documento de tesis y el conocimiento adquirido al respecto se le debe a usted.

M. C. Alfredo Amador García, por su asesoría, su apoyo y contribución, además por su disponibilidad en la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, al Departamento de Recursos Naturales, por haber permitido desarrollarme durante mi formación profesional.

A la Comisión de Cuenca del Río Ayuquila, al Distrito de Riego Autlán-El Grullo y a la Asociación de usuarios.

INDICE

| | | |
|------|---|----|
| I. | Introducción. | 1 |
| II. | Antecedentes. | 5 |
| | 2.1. Balance hídrico. | 5 |
| | 2.2. Usos y gestión del agua. | 5 |
| | 2.3. Reconsideración hidrológica en las cuencas hidrográficas. | 8 |
| | 2.4. Los regímenes hídricos de las cuencas. | 9 |
| | 2.5. El nuevo enfoque de gestión integrada de cuencas. | 9 |
| | 2.6. Priorización de cuencas hidrográficas. | 11 |
| III. | Justificación. | 15 |
| IV. | Objetivos. | 17 |
| | 4.1. Objetivo general. | 17 |
| | 4.2. Objetivos específicos. | 17 |
| V. | Materiales y Métodos. | 18 |
| | 5.1. Delimitación del área de estudio. | 18 |
| | 5.2. Metodología. | 20 |
| | 5.2.1. Delimitación y caracterización morfológica por microcuenca. | 20 |
| | 5.2.2. Análisis de aptitud hidrológica por microcuenca. | 24 |
| | 5.2.2.1. Criterios de aptitud hidrológica. | 28 |
| | 5.2.2.2. Valoración de atributos para el análisis de aptitud hidrológica. | 31 |
| | 5.2.3. Definición de criterios de priorización hidrológica por microcuencas. | 35 |
| | 5.2.4. Priorización hidrológica con enfoque de conservación y aprovechamiento por microcuencas. | 41 |
| | 5.2.4.1. Evaluación multicriterio. | 41 |
| | 5.2.5. Propuestas de manejo. | 42 |

| | | |
|-------|--|-----|
| VI. | Resultados..... | 43 |
| | 6.1. Caracterización morfológica de la subcuenca del río Ayuquila..... | 43 |
| | 6.2. Delimitación de microcuencas..... | 44 |
| | 6.3. Parámetros morfométricos por microcuenca y análisis estructural. | 45 |
| | 6.3.1. Obtención de coberturas digitales. | 54 |
| | 6.4. Análisis de aptitud hidrológica..... | 59 |
| | 6.4.1. Análisis de aptitud de conservación hidrológica. | 59 |
| | 6.4.2. Análisis de aptitud de aprovechamiento hidrológico. | 65 |
| | 6.5. Priorización hidrológica por microcuenca..... | 70 |
| | 6.5.1. Obtención de criterios de decisión basado en encuestas. | 70 |
| | 6.5.2. Jerarquización de criterios con enfoque de conservación y aprovechamiento..... | 72 |
| | 6.5.3. Ponderación de criterios (evaluación multicriterio). | 73 |
| | 6.5.4. Evaluación de atributos. | 73 |
| | 6.5.5. Obtención de las coberturas de priorización..... | 79 |
| | 6.5.6. Determinación de los mapas de priorización hidrológica por microcuenca..... | 81 |
| | 6.5.7. Análisis y discusión..... | 86 |
| | 6.6. Propuestas generales..... | 91 |
| VII. | Conclusiones..... | 99 |
| VIII. | Literatura citada..... | 101 |
| | ANEXOS..... | 110 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| <i>1. Parámetros morfométricos obtenidos por microcuenca</i> | 21 |
| <i>2. Clasificación de la topografía según la pendiente en porcentaje</i> | 23 |
| <i>3. Escala para valorar las preferencias de los criterios</i> | 27 |
| <i>4. Leyenda jerárquica de uso de suelo y vegetación</i> | 29 |
| <i>5. Clasificación de la calidad del agua CNA (2007)</i> | 30 |
| <i>6. Clasificación de la erosión mediante la metodología RUSLE</i> | 31 |
| <i>7. Valoración de los atributos para los criterios de vegetación y uso de suelo</i> | 32 |
| <i>8. Valoración de atributos del criterio de marginación basado en microcuencas</i> | 33 |
| <i>9. Valoración de atributos del criterio de densidad de población basado en microcuencas</i> | 39 |
| <i>10. Valoración de atributos del criterio de calidad de agua basado en microcuencas (CNA 2007)</i> | 34 |
| <i>11. Valoración de atributos del criterio de erosión (RUSLE)</i> | 34 |
| <i>12. Método utilizado para la priorización hidrológica (PERU 1984)</i> | 41 |
| <i>13. Parámetros morfológicos de la subcuenca del río Ayuquila</i> | 43 |
| <i>14. Listado de las microcuencas del río Ayuquila y sus parametros morfológicos</i> | 46 |
| <i>15. Definición de criterios para determinar la aptitud hidrológica</i> | 59 |
| <i>16. Criterios organizados en escala de acuerdo con su nivel de importancia de aptitud de conservación</i> | 60 |
| <i>17. Peso de los criterios para el análisis de aptitud hidrológica con enfoque de conservación</i> | 61 |
| <i>18. Criterios organizados en escala de acuerdo con su nivel de importancia de aptitud de aprovechamiento</i> | 66 |

| | |
|--|------------|
| <i>19. Peso de los criterios para el análisis de aptitud hidrológica con un enfoque de aprovechamiento</i> | <i>67</i> |
| <i>20. Criterios formulados por actores clave dentro de la subcuenca.....</i> | <i>71</i> |
| <i>21. Criterios finales de los actores para la priorización hidrológica</i> | <i>72</i> |
| <i>22. Criterios jerárquizados por orden de importancia</i> | <i>72</i> |
| <i>23. Peso de los criterios para cada enfoque basado en el metodo de clasificación</i> | <i>73</i> |
| <i>24. Evaluación de atributos para la priorización hidrológica.....</i> | <i>74</i> |
| <i>25. Criterios con enfoque de conservación y clasificación de priorización</i> | <i>78</i> |
| <i>26. Criterios con enfoque de aprovechamiento y clasificación de priorización</i> | <i>78</i> |
| <i>27. Clasificación de priorización hidrológica por microcuenca</i> | <i>84</i> |
| <i>28. Relación de clases de priorización con capacidad de uso de suelo</i> | <i>91</i> |
| <i>29. Relación de clases de priorización con riesgo de erosión</i> | <i>92</i> |
| <i>30. Relación con clases de priorización con uso de suelo y vegetación</i> | <i>93</i> |
| <i>31. Tipos de suelo de la Subcuenca del Río Ayuquila</i> | <i>121</i> |
| <i>32. Valores en hectáreas de los diferentes tipos de vegetación</i> | <i>124</i> |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| <i>1. Localización de la subcuenca del río Ayuquila Jalisco, México.....</i> | <i>19</i> |
| <i>2. Mapa representativo de microcuencas y su clasificación por población</i> | <i>44</i> |
| <i>3. Rangos de pendiente para las microcuencas hidrográficas.....</i> | <i>54</i> |
| <i>4. Curva hipsométrica por microcuenca característica del ciclo erosivo y del tipo de cuenca.....</i> | <i>55</i> |
| <i>5. Mapa representativo de las localidades dentro de cada microcuenca</i> | <i>56</i> |
| <i>6. Densidad de población por microcuenca.....</i> | <i>57</i> |
| <i>7. Mapa representativo de la marginación por microcuenca</i> | <i>58</i> |
| <i>8. Imagen de aptitud de conservación hidrológica de la subcuenca del río Ayuquila... </i> | <i>63</i> |
| <i>9. Aptitud de conservación hidrológica basada en microcuencas</i> | <i>64</i> |
| <i>10. Aptitud hidrológica con enfoque de aprovechamiento.....</i> | <i>68</i> |
| <i>11. Clasificación de la aptitud de aprovechamiento por microcuenca.....</i> | <i>69</i> |
| <i>12. Imagen ráster de priorización hidrológica para conservación</i> | <i>79</i> |
| <i>13. Imagen ráster de priorización hidrológica para aprovechamiento</i> | <i>80</i> |
| <i>14. Priorización hidrológica basada en microcuencas con enfoque de conservación ..</i> | <i>81</i> |
| <i>15. Priorización hidrológica basada en microcuencas con enfoque de aprovechamiento</i> | <i>83</i> |
| <i>16. Agrupación de las microcuencas con priorización hidrológica de conservación y aprovechamiento</i> | <i>87</i> |
| <i>17. Capacidad de uso del suelo de la subcuenca del río Ayuquila</i> | <i>94</i> |
| <i>18. Riesgo de erosión presente en las microcuencas</i> | <i>95</i> |
| <i>19. Influencia de las Áreas Naturales Protegidas en la subcuenca del río Ayuquila</i> | <i>96</i> |
| <i>20. Material geológicopresente en la subcuenca del río Ayuquila</i> | <i>117</i> |

| | |
|--|------------|
| <i>21. Sistema de drenaje en la subcuenca del río Ayuquila</i> | <i>119</i> |
| <i>22. Tipos de suelo presente en la subcuenca del río Ayuquila.....</i> | <i>120</i> |
| <i>23. Distribución de las clasestexturales dentro de la subcuenca del Río Ayuquila.....</i> | <i>122</i> |
| <i>24. Uso de suelo y vegetaciónpresente dentro de la subcuenca del Río Ayuquila.....</i> | <i>123</i> |
| <i>25. Áreas Naturales Protegidas ubicadas dentro de la subcuenca del Río Ayuquila ..</i> | <i>125</i> |
| <i>26. Mapa representativo de la calidad de agua (ICA)</i> | <i>126</i> |
| <i>27. Mapa representativo de los puntos de contaminacióndentro de las microcuencas</i> | <i>127</i> |

I. Introducción.

El desarrollo económico y social depende, en gran medida de los sistemas productivos basados en la apropiación de los recursos y servicios que ofrecen los sistemas naturales, ocasionando un deterioro progresivo de los recursos naturales de una cuenca (Casillas 2004).

El deterioro ambiental es un proceso que compromete la estabilidad de los ecosistemas y tiene como consecuencia los conflictos sociales. Es fundamental identificar los factores tanto biofísicos como sociales que son parte de este proceso. En consecuencia, el cambio de uso del suelo, la deforestación, la contaminación de la tierra y el agua, así como la pérdida de la biodiversidad, son indicadores claves que, junto con la caracterización del territorio y el uso de herramientas en la toma de decisiones permiten diseñar alternativas para minimizar los conflictos en la sociedad y al mismo tiempo asegurar el uso sustentable de los recursos (Carolina 2004).

Por otro lado, el análisis ambiental en un contexto de cuencas permite entender las interrelaciones entre los recursos y condiciones naturales (relieve-suelo clima-vegetación), así como las formas en las cuales la población se organiza para apropiarse de los mismos y su impacto en la cantidad, calidad y temporalidad del agua (Cotler y Priego 2004).

Por lo anterior, es importante desarrollar estudios que permitan demostrar las relaciones del agua con los suelos y la vegetación y diseñar esquemas de pago o intercambio de servicios ambientales que promuevan la conservación de los recursos naturales de las cuencas destacando algunos como, regulación de los flujos de agua, conservación de la calidad del agua, control de la erosión y sedimentación, reducción de la salinización del suelo/regulación del nivel freático, y la conservación de hábitats acuáticos, entre otros.

La crisis del agua en la actualidad es creciente, como ejemplo, tenemos la vinculada con la salud pública y la pobreza que padecen grandes sectores de la población que se encuentra dentro de las cuencas, por lo que el reflejo de las condiciones económicas y sociales se encuentran fuertemente vinculadas con las aguas dulces: ríos, aguas subterráneas y lagos (Toledo 2002).

El agua es el recurso natural del que depende la vida humana, la seguridad alimentaria y la integridad de los ecosistemas por lo que el uso y la forma en que se maneja en la región según las actividades que se trate (económicas, sociales y ambientales). Por lo que la prevención de desastres relacionadas con las sequías e inundaciones, la pesca, la recreación, el turismo, la conservación de la naturaleza y la conservación de los ecosistemas del agua dulce toman una relativa importancia para los territorios, regiones o cuencas hidrográficas. La utilización del agua no ha sido homogénea y cabe señalar que esta muy concentrada en relativamente pocas regiones, por ejemplo en el caso de la agricultura de riego por lo que la disponibilidad del recurso también es inconstante y heterogénea. La disponibilidad del agua en México es del orden de 1.51 billones de metros cúbicos de agua por precipitación. De esta agua el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra en el subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que anualmente el país cuenta con 465 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural media (CNA 2007).

También CNA (2007) menciona en adición al agua dulce que es renovada por la lluvia, que el país cuenta con reservas de agua almacenadas principalmente en los acuíferos, pero también en los lagos naturales y artificiales; sin embargo, esta agua no se considera en los cálculos de disponibilidad natural media, ya que no es renovable. La disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18 035 m³/hab/año en 1950 a tan solo 4 416 en el 2006.

En relación a la clasificación de los usos del agua, en el Registro Público de los Derechos del Agua (REPGA), se cuenta con los volúmenes concesionados (o asignados) a los usuarios de aguas nacionales. En dicho registro se tienen clasificados los usos del agua en doce rubros, mismos que por claridad se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro corresponden a usos consuntivos, el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas. El uso hidroeléctrico se considera aparte por corresponder a un uso consuntivo. El mayor volumen concesionado para usos consuntivos del agua es el que corresponde a las actividades agrícolas, debido a que en México es uno de los países con mayor infraestructura de riego en el mundo (CNA 2007).

Según Palacios y López (2004), la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la FAO, muestra que la infraestructura de riego en México domina un área de más de 6.3 millones de hectáreas. Sin embargo, está siendo instalada donde ya no existe agua por lo que ocasiona pérdidas económicas para los usuarios. En conclusión la instalación de infraestructura para regar un área es superior al recurso disponible en una cuenca.

En consecuencia, la gestión racional de los recursos hídricos se ha convertido en una de las principales preocupaciones para asegurar la calidad de vida y el desarrollo económico sostenible de las comunidades que se encuentran dentro de una determinada cuenca. Se entiende como gestión del agua a una serie de acciones desarrolladas de manera integral por los actores de una cuenca para la conservación, manejo, suministro y disposición del agua en una cuenca, que garanticen la calidad y cantidad para el desarrollo sostenible de la sociedad (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El agua es un factor de vinculación forzada entre los habitantes de una misma cuenca o dependientes de un sistema común de captación y abastecimiento de agua, así como de las zonas donde se evacua o drena el agua. Son los habitantes en definitiva quienes sufren las consecuencias de un manejo deficiente del recurso que afecta su calidad cantidad y distribución, así como el impacto negativo de fenómenos extremos como inundaciones, sequías o deslizamientos si no ordenan el uso del territorio ni planifican otras medidas para enfrentar riesgos (Dourojeanni y Acuña 1998).

Por otro lado, el enfoque de manejo de cuencas nos da la posibilidad de evaluar y de explicar las externalidades resultantes de los diferentes usos de los recursos. Por esta razón se considera que las cuencas constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación Sin embargo, para llevar a cabo estos estudios se requiere que la investigación se realice utilizando herramientas integradoras de conceptos. Como entidad espacial, la cuenca funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto. Esta unidad no encierra la idea de homogeneidad, por lo que el gran reto para la caracterización del medio biofísico consiste en delimitar unidades ambientales homogéneas donde se pueda realizar una caracterización integral de los componentes naturales que permita aprehender su integralidad sin perder de vista la heterogeneidad espacial (Cotler y Priego 2004).

Entonces, es conveniente en el contexto de la cuenca llevar a cabo un proceso de formulación y ejecución de un sistema de acción que incluya el manejo de los recursos de una cuenca para la obtención de bienes y servicios, sin afectar negativamente los recursos presentes en la cuenca hidrográfica (Carolina 2004).

Existen diversas herramientas que pueden ser usadas para el buen manejo de los recursos naturales como el agua, por lo que Rivera y Maseda (2005) sugieren la integración de las redes neuronales artificiales con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la evaluación de la aptitud de la tierra y la asignación de usos del suelo que faciliten un manejo adecuado de los recursos naturales. Asimismo, los métodos de evaluación multicriterio son frecuentemente integrados en un SIG para el análisis del emplazamiento óptimo para una actividad, permitiendo la obtención de mapas continuos de aptitud. Otra herramienta es el análisis multicriterio que proporciona el marco adecuado para la integración de los distintos factores (medio ambiente, economía y sociedad) que intervienen en la aptitud del suelo para cada uso.

Una de las problemáticas del manejo inadecuado del recurso agua es su distribución en la subcuenca del río Ayuquila ya que existe una desigualdad en la disponibilidad del agua, ya que, la agricultura de riego recibe la mayor cantidad de agua que escurre en el río Ayuquila ocasionando la disminución del caudal en el cauce y por lo tanto la disminución y la migración de la vida acuática. A lo anterior se suma la constante contaminación debido al aumento de las actividades antrópicas (agricultura, agroindustrial y urbano) como la incorporación de las aguas residuales y el aumento de las fuentes puntuales de contaminación a lo largo del río.

El estudio de priorización organiza por grado de importancia o criterio y es una herramienta para evaluar opciones basándose en una determinada serie de criterios explícitos que el grupo o actores ha decidido que es importante para tomar una decisión adecuada y aceptable. La priorización de microcuencas tiene tres componentes básicos; la obtención de información, la consecuente generación de indicadores o criterios y, la aplicación de un modelo de jerarquización donde la ponderación de los indicadores tiene que responder a un enfoque específico plantea la solución de la problemática anterior que se manifiesta dentro de la subcuenca resolviendo la utilización de una manera equitativa de los recursos y la disponibilidad en cantidad y calidad del agua (Fonseca et al. 2003).

II. Antecedentes.

2.1. Balance hídrico.

Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0.007% de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos, de esta pequeñísima porción dependen procesos sociales vitales dentro de un territorio. Especialistas y organizaciones mencionan que para el año 2025 más de dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún estrés por la falta de líquido (L'vovich *et al* 1995).

Esta situación empeorará debido al acelerado deterioro de los recursos acuáticos, se espera que las diferentes poblaciones del mundo (80%) vivan bajo condiciones de alta y muy alta escasez de recursos hídricos. Para esta época una tercera parte de la población presentará una situación considerada como altamente catastrófica. La irrigación ha sido con mucho el mayor consumidor de agua en el mundo: cerca de 69% (lo que corresponde unos 483 m³ por persona al año); le sigue la industria con aproximadamente el 23% equivalente a 161 m³ por persona/año, y solamente el 8% del agua dulce de encuentra disponible para los usos domésticos lo que representa unos 56 m³/persona/año equivalente a 153 litros por persona al día. Con base en lo anterior se mencionan tres factores que han controlado la planificación y el manejo del agua en los últimos cien años: 1) el crecimiento de la población mundial; 2) los cambios en los estándares de vida que conlleva la urbanización de la población y 3) la expansión de la agricultura irrigada (Toledo 2002).

2.2. Usos y gestión del agua.

Cabe mencionar que los problemas de manejo de los recursos hídricos se transformaron bajo el paradigma antes mencionado en un mero ejercicio de cómo hacer frente a las demandas crecientes de estos recursos, cómo cerrar la brecha siempre en aumento entre demandas en continua expansión y ofertas limitadas. Todas las soluciones se enfocaron por el lado de la oferta: se asumió que los déficit podrían siempre satisfacerse tomando del ciclo hidrológico el agua necesaria mediante cada vez

más sofisticadas infraestructuras físicas (presas, acueductos y sistemas de transferencia entre regiones hidrológicas). Bajo esta premisa se resolvieron algunos problemas como la producción de alimentos que superó espectacularmente al crecimiento de sus poblaciones. Tres problemas críticos se enfrentan en la actualidad en términos de su incapacidad para resolver exitosamente los grandes problemas de la humanidad, primero: los usos domésticos del agua, donde la urbanización en aumento ofrece diferentes presiones sobre las aguas dulces como el incremento de las aguas superficiales requeridas para satisfacer las necesidades de la población urbana, el aumento de las aguas de desechos y el decremento de las aguas. El segundo problema es el agua en la agricultura que figura entre las mayores dificultades que sufre la humanidad a nivel global. Los estudios realizados en diferentes contextos ecológicos y sociales corroboran que la eficiencia en el uso del agua en la agricultura de riego es solamente el 40% (Postel 1997).

Lo que significa que más de la mitad del agua que se emplea en esta clase de agricultura jamás llega a transformarse en alguna clase de alimentos. El tercer problema está relacionado con la calidad del agua donde los problemas son muy variables entre regiones y países del mundo, en buena medida, son los reflejos de condiciones económicas y sociales vinculados con los ríos y aguas subterráneas (Toledo 2002).

En el caso de México, en 1996, la Comisión Nacional del Agua (CNA) inició un proceso de cambio hacia un manejo del agua más eficaz y participativo, a fin de lograr el uso y aprovechamiento sustentable del recurso con la colaboración creciente de las autoridades locales en sus diferentes niveles y de los usuarios del agua a nivel regional, en todo este proceso se ha logrado: integrar, depurar y homologar la información asociada con el agua y sus diferentes usos; identificar la problemática y sus alternativas de solución; realizar los programas de acción e integrar los escenarios a largo plazo (2000-2025) y priorizar las acciones e integrar una cartera de proyectos. Por otro lado, en los últimos años el sector hidráulico en México ha evolucionado hacia un manejo integrado del agua, esto ha sido posible gracias a la transformación del marco jurídico y del ente administrador a nivel federal; así como a un proceso ordenado de planeación participativa con los usuarios. Para la gestión del agua se plantean una serie de principios, políticas, recursos e instrumentos para lograr junto con los usuarios de agua el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos, las acciones son: el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende

sus distribución y administración; la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua y la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente (Valencia *et al* 2004).

Actualmente CNA (2007) presenta información importante con respecto a la situación del agua en México desde su distribución en regiones hidrológicas del país así como por lagos y ríos principales de México donde escurren aproximadamente 400 km³ de agua anualmente. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental. También concentra información sobre la calidad del agua (Índice de calidad de agua) elaborada con base en sitios de monitoreo a lo largo y ancho de la República Mexicana basados principalmente en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En consecuencia, menciona los diferentes usos del agua (agrícola, abastecimiento público, industria) destacando la agricultura como actividad fundamental en la utilización del agua. Para cada uno de los diferentes usos, se señalan los diferentes volúmenes concesionados así como la fuente de extracción tanto superficial como subterránea y su distribución de los usos a nivel nacional.

El principal uso del agua en México es el agrícola, el cual se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. La superficie dedicada a las labores agrícolas en México varía entre los 20 y 25 millones de hectáreas, con una superficie cosechada de entre 18 a 22 millones de hectáreas por año. Es de destacar que la superficie de riego del país ha aumentado considerablemente de 750 mil hectáreas en 1926 a 6.4 millones de hectáreas actualmente, lo que coloca al país en el sexto lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego. El 54% de la superficie bajo riego corresponde a 85 Distritos de Riego y el 46% restante a más de 39 mil Unidades de Riego. Para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes. (CNA 2007).

2.3. Reconsideración hidrológica en las cuencas hidrográficas.

El sector agua debe ser el eje de las políticas ambientales y armonizar las prioridades de los diversos sectores (agricultura, irrigación, silvicultura.). Sin embargo, aun cuando existen directrices para la gestión integrada del agua superficial, subterránea y costera, los distintos e importantes elementos de los sistemas de cuencas se siguen tratando como unidades independientes. Los gobiernos nacionales deben aplicar una perspectiva de cuenca hidrográfica en el examen y armonización de todas sus políticas sectoriales que repercuten en el uso del agua: suministro del agua para el uso domestico, medio ambiente, agricultura, silvicultura, industria, planificación del territorio (FAO, 2007).

En consideración a lo anterior, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 expresa como finalidad, establecer objetivos nacionales, las estrategias y las prioridades para que todos los mexicanos tengan una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. Dentro de este marco el adecuado manejo y preservación del agua cobra un papel fundamental, dada su importancia en el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación de la riqueza ecológica de México. Dentro de este contexto el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 donde establece la necesidad de contar con cantidad y calidad del suficiente del agua en la república mexicana, reconociendo su valor utilizándola de manera eficiente y protegiendo los cuerpos de agua, para garantizar un desarrollo sustentable y preservar el medio ambiente. Por otro lado, la degradación ambiental en México ha pasado a ser un tema principal en el debate Nacional tomando connotaciones que afectan la gobernabilidad y la sustentabilidad de la sociedad en su conjunto. Donde estos estudios a nivel cuenca son determinantes para la solución de los problemas sobre degradación de los recursos naturales y emplear una metodología de manejo que ayude a la rehabilitación ambiental existente dentro de un territorio. Entonces, una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por la precipitación y cuyos excedentes de agua o sedimentos son transportados hasta un punto espacial único que puede ser: una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas 1993).

Entonces se puede mencionar que la degradación de una cuenca hidrográfica es la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de tierras y aguas, acompañada de cambios pronunciados en el comportamiento hidrológico de un

sistema fluvial que se traduce en una peor calidad, cantidad y regularidad en el tiempo del caudal hídrico (FAO, 1996).

2.4. Los regímenes hídricos de las cuencas.

En consecuencia, el uso de la tierra repercute en el régimen hídrico y en la calidad del agua río abajo. La importancia de este efecto varía con de acuerdo con el tipo de uso de la tierra, la dimensión de la cuenca, el clima, las características del suelo, la topografía, geología por mencionar algunos. En el pasado ni el público ni los responsables de tomar las decisiones comprendían cabalmente la importancia relativa de estos factores y la necesidad de contemplar las características específicas de cada situación (Kaimowitz 2004).

Los cambios que se producen en el uso de las tierras repercuten en el régimen hídrico de la cuenca fluvial. Por ejemplo, el desmonte repercute directamente en la tasa de filtración y recarga de los acuíferos, sin embargo, en muchos casos la relación entre el uso de la tierra y régimen hídrico no es tan clara porque se indica que la protección de los humedales incrementa los caudales máximos y reduce los de base. Entonces ampliar o mantener la duración de los caudales de base de la estación seca es importante para la irrigación, la fauna y la flora silvestre, el buen estado de las zonas ribereñas y otras funciones ecológicas (Fleming 2003).

2.5. El nuevo enfoque de gestión integrada de cuencas.

Los problemas de la degradación de los recursos naturales, en cuencas del país ha aumentado el sentido de alarma entre los diferentes actores dentro de las cuencas hidrográficas. Lo anterior está basado en un mal manejo de los recursos; con ello, los diferentes actores del país como gobierno y sociedad civil van creando conciencia acerca del deterioro de las cuencas hidrográficas. Cada vez más se unen instituciones como INIFAP, FIRCO que en base en su experiencia en el uso de los recursos proponen y gestionan alternativas con un enfoque en manejo integrado en cuencas y tratar de resolver la problemática con estrategias como el desarrollo integral y la rehabilitación de microcuencas hidrográficas, donde se utiliza una nueva metodología de planeación-

acción participativa ya que conjuntamente con los diferentes diagnósticos que en la actualidad se implantan como primer paso para un buen manejo de los recursos naturales facilitan a los habitantes a tomar decisiones así como procedimientos de gestión de recursos de inversión para una priorización de microcuencas basada en la rehabilitación de los recursos. (Casillas 2004).

En consideración hace falta implementar una serie de programas y eventos que lleguen hasta los lugares apartados para que se adquiera este conocimiento tan importante del paisaje y fomentar en gran medida el uso eficiente del suelo, agua y vegetación. Las cuencas en cuanto a su función necesitan los recursos en las partes altas donde se recolecta agua de la precipitación para un uso más eficiente y de mejor calidad, información reciente manifiesta la creciente pérdida de vegetación forestal debido en gran medida al consumo de la materia prima en las grandes ciudades o poblaciones en constante crecimiento que se localizan en las partes bajas de las cuencas hidrográficas. Lo antes mencionado refiere a la necesidad del conocimiento del paisaje por medio de un diagnóstico físico-geográfico que mediante un análisis muy eficiente permita ver o visualizar las condiciones del medio físico de la cuenca y determinar el grado de riesgo y de vulnerabilidad en la zona de estudio. Finalmente, es de gran importancia la realización de los estudios sobre diagnóstico de los recursos para conocer las zonas propicias para una rehabilitación en determinado espacio particulares (Cotler y Priego 2004).

Dentro de los nuevos conocimientos acerca del comportamiento de las cuencas hidrográficas, en la actualidad no solamente se diagnostican los recursos naturales en estos territorios sino que se relaciona el régimen hídrico con el suelo, la vegetación, geología y topografía. Pero hasta el momento los estudios realizados no han producido una información suficiente en cuanto a la relación de la precipitación con la cubierta forestal ya que no se puede atribuir la ocurrencia de la lluvia en zonas forestales y la nula precipitación en terrenos sin cubierta vegetal ya sea por deforestación o agricultura extensiva. En consecuencia, estas nuevas investigaciones se enfocan pues a las interrelaciones de los componentes de las cuencas hidrográficas para un manejo de los recursos naturales fomentando la información a las organizaciones civiles, funcionarios y científicos para convencer a la población del problema determinante en el régimen hídrico: la deforestación. (FAO, 2007).

2.6. Priorización de cuencas hidrográficas.

Cabe mencionar que el manejo integrado de cuencas proporciona el marco ideal y espacial que permite generar y formular políticas y metodologías que se basan en el entendimiento de los fenómenos ecológicos y sociales que con herramientas de soporte se pueden ayudar a tomar decisiones sobre el manejo de las cuencas. Por lo anterior, la priorización de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas se entiende como la asignación de valores orientada al establecimiento de un orden jerárquico de importancia, donde se pretende establecer un orden en función de uno o varios parámetros (elementos y variables que permiten ser cuantificables y cualificables) organizándolos por grado de importancia o criterio que permite orientar y evaluar la toma de decisiones, entonces se considera que se pretende analizar, clasificar acciones en un proceso de ordenación (Fonseca *et al.* 2003).

Por otro lado, en la problemática de los recursos naturales y su constante deterioro toman gran importancia los estudios de priorización, ya que evalúan con los usos, conservación de de los recurso naturales con ayuda de los Sistemas de información Geográfica (SIG) útil para la sistematización de coberturas digitales (modelos digitales de elevación, coberturas de vegetación, márgenes de ríos, centros poblados) que generan información de las diferentes zonas de estudio y que son necesarias para la utilización de modelos de evaluación como la técnica Multicriterio (EMC). (Pozzobon y Gutiérrez 2003).

En consecuencia, los procesos de priorización en la actualidad son muy necesarios para controlar los procesos antropogénicos y naturales que afectan tanto la calidad como la cantidad aprovechable del recurso hídrico como elemento principal de priorización (Sánchez *et al.* 2004).

Según Domínguez *et. al.* (2003), menciona que los modelos que se han empleado para la priorización de microcuencas han estado dirigidos hacia la determinación de áreas prioritarias para la rehabilitación, manejo y conservación de uno o varios recursos naturales. Cuatro modelos han sido los más ampliamente empleados: CATIE (Sánchez-Escoto, 1993); PERÚ (Ministerio de Agricultura, 1984); FAO (Faustino, 1992) y OEA (OEA, 1992). El enfoque de la priorización, puede incluir desde un proceso de rehabilitación de un recurso específico como el agua o el suelo, hasta los procesos productivos vistos de manera integral. También se observa que existe

una variación amplia de criterios que pueden emplearse y que dependen del enfoque general de la priorización y la calidad y cantidad de información disponible. En consecuencia, puede decirse que la priorización de microcuencas tiene tres componentes básicos; la obtención de información, la consecuente generación de indicadores o criterios y, la aplicación de un modelo de jerarquización donde la ponderación de los indicadores tiene que responder a un enfoque específico.

Quesada (s/a) usa la priorización para la planeación municipal en el estado de Michoacán y realiza un análisis comparativo de las cuatro modelos antes mencionados (CATIE, PERU, FAO Y OEA) y su utilización dentro de las investigaciones de priorización de cuencas o microcuencas hidrográficas. Las unidades de estudio utilizadas son las microcuencas generadas y utilizadas por FIRCO-UAQ, IMTA y las delimitadas por la Comisión Forestal del Gobierno del Estado.

Complementando lo anterior, la escala de las zonas de estudios son determinantes ya que las tendencias sugieren la aplicación de metodologías para la priorización hidrológica a nivel subcuenca o microcuenca como unidad más fácil de manejar o analizar los recursos naturales (Gándara 2004).

Un ejemplo de estudios implementados con enfoque de microcuencas es el realizado en Nayarit (UAQ 2003) donde se implementa la identificación del potencial de aprovechamiento, conservación de la vida silvestre de los municipios de Tepic y Xalisco, Compostela, Bahía de Banderas y San Blas. Este trabajo permitió evaluar la vulnerabilidad de las principales comunidades bióticas de la región en cuestión ante las actividades humanas y aprovechar las oportunidades de manejo y conservación de la biodiversidad gracias a los lineamientos de manejo ambiental que constituyen una referencia para la evaluación y regulación de las actividades productivas con base en la aptitud del suelo en la región y a los intereses de desarrollo de los diferentes sectores.

Por otra parte, cada vez más existen estudios que utilizan metodologías para los diferentes mapas de aptitud territorial y utilizando herramientas (SIG y Multicriterio), como son los diferentes escenarios de aptitud y modelación cartográfica urbano mediante las técnicas o herramientas anteriormente mencionadas y donde la principal unidad territorial donde se implantan las diferentes investigaciones a nivel Nacional son las cuencas hidrográficas. Uno de los objetivos es la visualización de los diferentes escenarios que cuantifiquen las potencialidades a partir de la sistematización

de variables que condicionan el territorio o cuencas hidrográficas en su estructura funcional y principalmente con la finalidad de recolectar nuevos conocimientos de la zona de estudio que se trate (Molero *et. al* 2007).

Por otro lado, los SIG permiten complementar los diferentes tipos de priorización en las cuencas donde esta herramienta se ha convertido en la metodología de análisis geográfico de gran difusión. La causa principal de esto reside en la multitud de actividades en las que pueden ser útiles, las podríamos clasificar en dos grandes grupos:

- 1) Gestión y descripción del territorio, (el conocimiento de los recursos naturales y socioeconómicos).
- 2) Ordenación y planificación del territorio, (toma las decisiones necesarias que dictaminan donde deben concentrarse de manera más adecuada los recursos naturales).

De acuerdo con lo planteado podríamos resumir en dos los problemas para el uso adecuado de un SIG en la planificación ambiental. La insuficiencia de los instrumentos disponibles para la generación de alternativas y soluciones que se integren al proceso de planificación para resolver un problema, el otro problema es la dificultad e insuficiencia de la evaluación precisa y completa de las alternativas establecidas en relación a los objetivos definidos. El primer problema se tiene que resolver integrando en los SIG nuevas funciones de análisis, relacionándolo con el modelado ambiental y la segunda será resuelta combinando los SIG con los procedimientos de evaluación Multicriterio, que permiten comparar de modo preciso las diferentes soluciones y escoger alguna de ellas como la más conveniente. (Bosque y García 2000).

En consideración al propósito de la herramienta de la Evaluación Multicriterio (EMC) es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto y según eso generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción (Rivera 2001).

Según Colson y De Bruin (1989), Barredo (1996) citados por Rivera (2001), la toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, sobre la base de una

evaluación de acuerdo a varios criterios, que pueden representar objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad. Existen varias componentes dentro de la EMC, siendo las principales: objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y evaluación. Los objetivos indican la estructura que debe tomar la regla de decisión y qué tipo de regla utilizar. Ahora los criterios suelen dar la base para la toma de decisión más pertinente dependiendo del estudio que se trate y suelen ser medidos y evaluados. Los criterios considerados como factores realzan o detractan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica, suponiendo que la evaluación de propiedades no afines tengan un menor valor que aquellas que si lo sean. En contraparte los criterios limitantes restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; se genera una capa binaria (0 ó 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro, la no disponibilidad para la actividad. La evaluación multicriterio tiene un procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación (reglas de decisión) particular, pudiendo también comparar a través de ella distintas evaluaciones con el fin de variar alguno de sus aspectos en el caso de ser necesario. Además, presenta funciones de selección y las heurísticas. En las funciones de selección se intenta clasificar las alternativas en función de una característica medible, mientras que la selección heurística persigue obtener una selección de sólo algunas alternativas del conjunto global de ellas. Finalmente después de la estructuración de la metodología anterior (reglas de decisión) la evaluación producirá finalmente el modelo de decisión.

III. Justificación.

La subcuenca del Río Ayuquila drena una superficie de 3692 km² (Olguín 2003). Forma parte de la cuenca Ayuquila-Armería donde aproximadamente el 54% de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) se encuentra dentro de la cuenca y 70 kilómetros del río constituyen el límite norte de la misma RBSM (Martínez et al 2002).

Desde el punto de vista de conservación de fauna silvestre, la cuenca del Río Ayuquila-Armería representa un papel fundamental, ya que es de mayor diversidad biótica en el Estado de Colima y el segundo en Jalisco, presentando más de 29 especies de peces, de las cuales 12 se encuentran en la parte baja de la subcuenca del río Ayuquila e incluye a dos especies endémicas (*Allodontichthys zonistius* y *Poeciliopsis baenschii*). La diversidad florística en la cuenca media se manifiesta en una alta diversidad de tipos de vegetación como las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, matorrales, selva tropical espinosa y pequeñas áreas con bosque de galería. Dentro de la subcuenca del río Ayuquila el pago de servicios ambientales toma una relevancia importante para el buen funcionamiento de la vida y de la actividad productiva ya que alterar el ciclo del agua es una situación que requiere ser atendida por todos los usuarios y beneficiarios de los servicios ambientales que genera la producción del agua. En este sentido, es necesario que participe la población presente y beneficiarios del uso del agua en la subcuenca junto a la administración estatal y federal que debe asegurar y cubrir las necesidades de agua que en cantidad y calidad se requieren para conservar la diversidad biológica. El Río Ayuquila es un sistema que presenta una variedad de intereses en cuanto a la apropiación de sus valores, cuyas dimensiones se pueden centrar en lo ecológico, en lo económico, en lo social y en lo político, considerado para ello al recurso agua como un factor más del desarrollo en la región. Por ello, el Río Ayuquila es la principal fuente de agua para la agricultura y el consumo doméstico en la región norte de la Sierra de Manantlán. Sin embargo, se ha estimado que el escurrimiento virgen captado en la subcuenca del Ayuquila (es de entre 2 y 4 Mm³ anual según el periodo de sequía o lluvias). Tiene uso agrícola el 80.51%, el 15% es para uso doméstico y el 0.61% para usos industriales (Santana *et al* 1993).

Dentro de la subcuenca, encontramos un gran número de usuarios de agua del sector agroindustrial, por ejemplo, existe un ingenio azucarero, con una capacidad de molienda de 767,600 toneladas anuales de caña y una producción de 56,197 toneladas de azúcar por zafra. La transformación de lechuguilla silvestre, ha tenido un auge en los últimos 10 años en el municipio de El Grullo, donde se tienen cuatro procesadoras con una producción de lechuguilla envasada para su venta a nivel estatal, e inclusive fuera del Estado. En los municipios de Tonaya y Tuxcacuesco, hay un inventario de 14 tabernas productoras de mezcal, con una producción aproximada anual de 700,000 litros, aún cuando hay capacidad para 2,340,000 litros anuales (DRBSM 2002).

La actividad pesquera que se genera en la subcuenca media es de gran interés para la economía regional y local y sobre todo en el tramo de Zenzontla a Zacualpan, dado que esta población ribereña complementa su dieta y sus ingresos de los recursos naturales que les provee el río Ayuquila. Por otro lado, las proyecciones del crecimiento demográfico calculado para las próximas tres décadas, señalan el reto para proveer agua a una población que para el año 2010 será de 218,470 habitantes a una tasa natural de 1.68 y para el año 2030 de hasta 305,714 habitantes. Lo cual supone que de aumentar la población la demanda de agua podría elevarse de 13 a 16 millones de metros cúbicos y para el 2030 incrementar este volumen a los 22 millones de metros cúbicos. Lo que implica que la capacidad de la cuenca del Río Ayuquila- Armería podría quedar rebasada en cuanto a su nivel actual de captación, retención y recarga (Graf y Rosales 1996).

El uso desmedido del recurso agua para riego ha ocasionado un desecamiento del río no permitiendo la migración de especies acuáticas además, la contaminación por descarga de aguas negras y desechos tóxicos de las poblaciones aledañas ha estado aumentando y sobrepasando la capacidad del río para diluir de manera natural estos contaminantes. Por lo anterior, la contaminación de agua del río Ayuquila, elimina todas las opciones económicas para el desarrollo en la región, así como las alternativas potenciales de aprovechamiento de los recursos naturales de la subcuenca media. La disminución en la disponibilidad de agua en cuanto se refiere a cantidad y calidad para uso agrícola y doméstico principalmente, es ya un problema de grandes dimensiones. En base a lo anterior se establece el estudio de priorización basándose en la información con que se cuenta que permita definir zonas de aprovechamiento y conservación del recurso agua a nivel microcuenca.

IV. Objetivos.

4.1. Objetivo general.

Generar la priorización para el aprovechamiento y conservación del recurso hídrico basada en microcuencas de la subcuenca del Río Ayuquila considerando a los actores clave de ese territorio, además de establecer propuestas de manejo.

4.2. Objetivos específicos.

Delimitar subcuenca del Río Ayuquila en microcuencas y generar la caracterización morfológica.

Obtener el análisis de aptitud hidrológica con los enfoques de conservación y aprovechamiento por microcuenca.

Definir los criterios para la priorización hidrológica de aprovechamiento y conservación por microcuenca, generados por los actores clave dentro de la subcuenca.

Priorizar las microcuencas en base a un enfoque de aprovechamiento y conservación hidrológica en función de su factibilidad para la disponibilidad del agua.

Elaborar propuestas de manejo para las clases de priorización hidrológica con enfoque de conservación y aprovechamiento de las microcuencas que ayuden a rehabilitar y conservar el recurso hídrico.

V. Materiales y Métodos.

5.1 Delimitación del área de estudio.

La subcuenca se encuentra ubicada en la provincia de la Sierra Madre del Sur y de las subprovincias de las Sierras de Jalisco y Colima entre las coordenadas geográficas 19°26'43" a 20°04'31" de Latitud Norte y 103°56'53" a 104°42'51" de Longitud Oeste (*Fig. 1*).

La subcuenca incluye a los municipios de Autlán, Tecolotlán, Atengo, Tenamaxtlan, Cuautla, Ejutla, Ayutla, El Grullo, El Limón, Tuxcacuesco, Tolimán y Unión de Tula; con una población aproximada de 115,555 habitantes, de las cuales Autlán concentra 36.6% y El Grullo el 16.7% (INEGI 2005).

Por otro lado, las aguas del río Ayuquila cubre en su totalidad 18,284 hectáreas beneficiando con riego directo a 8,636 hectáreas de las zonas de Autlán, El Grullo y el Limón Los valles de estas dos localidades (CNA-SARH 1992).

El cauce del río Ayuquila presenta un flujo de entre 3 y 7 m³/s, según la estación del año, el cual es abastecido por las Sierras de Cacoma, Tapalpa, Quila y 12 subcuencas específicas, 1563 corrientes intermitentes y perennes de la Sierra de Manantlán; siendo el Arroyo Manantlán el más importante ya que de manera permanente aporta un flujo considerable durante todo el año, aporta el 8% del total de los escurrimientos en la Sierra de Manantlán (Martínez et al 2002). Los suelos son variados, pero de manera general, son considerados profundos y de textura franco a franco-arcillosa; su geología se caracteriza por estar representada por rocas volcánicas, ígneas extrusivas y granito (Martínez *et al.* 1991). En cuanto a la fisiografía de la subcuenca Ayuquila encierra áreas que corresponden a cuatro provincias fisiográficas de México: la provincia del Eje Neovolcánico que integra el corazón mismo del estado; la Mesa Central y la Sierra Madre Occidental que ocupan las regiones más septentrionales del estado y la Sierra Madre del Sur en el occidente ocupando las partes más australes del mismo a su vez representada por áreas correspondientes a las subprovincias de las sierras de las costas de Jalisco y Colima (Meza 2006).

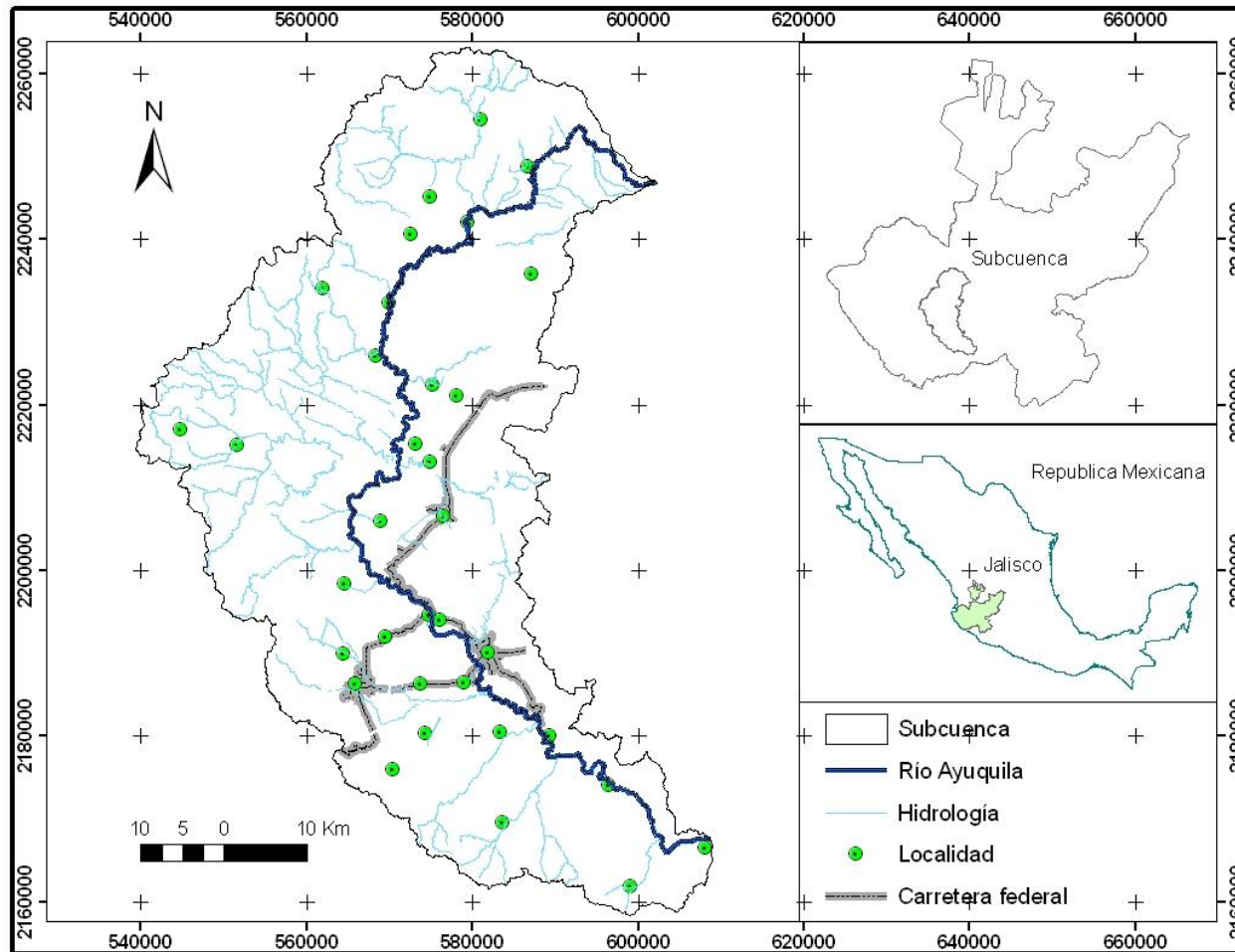


Figura 1. Localización de la subcuenca del río Ayuquila Jalisco, México

5.2 Metodología.

El proceso metodológico para este estudio de priorización hidrológica con base al aprovechamiento y conservación del agua se tomó en cuenta la diferente información geográfica vectorial obtenida de las diferentes instituciones interesadas como la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Universidad de Guadalajara, Comisión Nacional del Agua (CNA), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Lo anterior comprende la utilización de información digital (cartas digitales) para generar la base de datos las cuales son: Autlán E13B12, El Grullo E13B13, Tapalpa E13B14, Casimiro Castillo E13B22, El Chante E13B23, Venustiano Carranza E13B24, Atenguillo F13D72, Atengo F13D73, Cocula F13D74, Ayutla F13D82, Tecolotlán F13D83 y Atemajac de Brizuela F13D84. Estos vectoriales están a una escala 1:50,000 y una distancia entre curvas de nivel a 20 metros, la información descrita dará como resultado la delimitación de la cuenca del río Ayuquila en microcuencas y sus datos de parámetros morfométricos (índice de forma, área, pendiente y otros.). Otra información vectorial requerida y obtenida por medio de las instituciones antes mencionadas indagaron los tipos de suelo, uso y vegetación, geología, modelo digital de elevación, información social y económica. Con la base de datos conjuntada el siguiente paso fue la elaboración de las diferentes coberturas digitales de la subcuenca del río Ayuquila utilizando la herramienta de los Sistemas de Información Geográfica, de este modo se determinó del objetivo particular numero uno representando la delimitación de la subcuenca del Río Ayuquila en microcuencas para posteriormente obtener el análisis de aptitud hidrológica.

5.2.1 Delimitación y caracterización morfológica por microcuenca.

1). Para la delimitación de la subcuenca en microcuencas hidrográficas se tomó en cuenta la información vectorial elaborada por la Universidad Autónoma de Querétaro que corresponde a la delimitación de microcuencas a nivel nacional. Posteriormente para su actualización fue necesaria la edición de la información

utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) y los recursos vectoriales como la hidrología, curvas de nivel provenientes de INEGI (1977). La delimitación de los parteaguas de las microcuencas consideraron corrientes principales y su red hidrológica como primer criterio, el segundo criterio fue delimitar por localidad. Tomando en cuenta los criterios utilizados por la fuente de información las localidades utilizadas fueron las formuladas por INEGI mediante el II Censo de Población y Vivienda del año 2005 (CONAPO), donde la ubicación de las poblaciones se presentó coordenadas geográficas siendo necesarias convertirlas en coordenadas decimales para ser leídas y transformadas en un DATUM de referencia en coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator). como parte de la georreferenciación de estas localidades la proyección utilizada fue WGS84. Luego fueron ubicadas y seleccionadas las poblaciones que se encuentran dentro de la subcuenca, todo lo anterior fue elaborado con el software ARCGIS 9.3. Finalmente, se procedió a denominar las microcuencas con base en el nombre de la población con el mayor número de habitantes y por lo tanto dar por terminada la delimitación de microcuencas dentro de la zona de estudio.

2). Después de la delimitación de los parteaguas de cada una de las microcuencas se obtuvo la caracterización morfológica para cada una de ellas. En el siguiente cuadro se muestra una clasificación morfológica propuesta para las microcuencas.

Cuadro 1. Parámetros morfométricos obtenidos por microcuenca.

| Parámetro | Clasificación | Descripción |
|-----------------------------|---------------|---|
| Tamaño | Campos 1987 | Rangos característicos del tamaño de cuencas hidrográficas |
| Índice de Compacidad | Sánchez 1987 | Valores más cercanos a la unidad, la forma de la cuenca se aproximará más a la de un círculo y si el índice de compacidad presenta valores mayores a la unidad, la cuenca será alargada |

Cuadro 1. Continuación...

| Parámetro | Clasificación | Descripción |
|--------------------------------|---------------|---|
| Forma | Sánchez 1987 | Clases de formas de la cuenca, indica la peligrosidad de crecidas por la lluvia de la cuenca aumenta dependiendo de los tipos de formas. |
| Tiempo de concentración | C. P. 1991 | Es el tiempo (min) que tardaría una gota para recorrer una distancia existente entre el sitio más alejado del área de drenaje y el lugar de salida. |
| Densidad de drenaje | Campos 1987 | Se define como la división del total de corrientes presente sobre el área en kilómetros cuadrados. Determina el grado de ramificación de una cuenca (longitud de corrientes sobre km^2) |
| Relación de elongación | Sánchez 1987 | Define el relieve de la cuenca en función de un círculo. Presenta relieve bajo en valores cercanos a la unidad y relieves fuerte en valores de 0.6 a 0.80 |

3). Para concluir el objetivo particular numero 1 se llevó a cabo la elaboración de una serie de coberturas digitales como definición de la caracterización morfológica por microcuencas pertenecientes a la subcuenca del Río Ayuquila. El parámetro de la pendiente media de la cuenca, se caracteriza por presentar una relación con la erosión e infiltración (Sánchez 1987). Para su definición fue necesario elaborar el modelo digital de elevación (MDE). Primeramente se recortaron las curvas de nivel de la subcuenca del río Ayuquila, luego se convirtieron las curvas recortadas en puntos para exportarlos al programa Surfer 8. Enseguida su interpolación fue con Kriging dando lugar a modelo (MDE). Se importó el MDE en IDRISI klimanjaro donde se procedió a elaborar en una imagen de pendiente y la imagen de rangos de pendiente para toda la subcuenca del río Ayuquila, Con la información anterior se importaron las microcuencas para que después se recorten cada una de ellas y así extraer el valor de pendiente media y la imagen de

rangos de pendiente por microcuenca. Para la elaboración de la imagen de rangos de pendiente se toma en cuenta la clasificación propuesta por Heras (1976).

Cuadro 2. Clasificación de la topografía según la pendiente en porcentaje.

| PENDIENTES (%) | TIPO DE TERRENO |
|-----------------------|-------------------------|
| 0 – 2 | Llano |
| 2 – 5 | Suave |
| 5 – 10 | Accidentado medio |
| 10 – 15 | Accidentado |
| 25 – 25 | Fuertemente accidentado |
| 25 – 50 | Escarpado |
| > 50 | Muy escarpado |

Se obtuvo la curva hipsométrica utilizando las áreas y alturas en metros sobre el nivel del mar, este valor representa el ciclo erosivo y el tipo de cuenca que se está estudiando. Para la construcción de la curva hipsométrica se utilizó el Modelo Digital de Elevación, se clasificó con la función *Reclass* las alturas a cada 50 metros. Para obtener el área y la altura de la imagen ya clasificada, se utilizó la función Área de Idrisi Kilimanjaro donde los datos son obtenidos como tabulados y los valores en hectáreas. A partir de esta información que se obtuvo se propone la construcción de la curva hipsométrica. Es importante conocer el comportamiento de la cuenca de estudio por lo que se considero formular una serie de coberturas digitales que nos darán el análisis de aptitud hidrológica que representen la estructura y el funcionamiento de cada una de las microcuencas pertenecientes a la subcuenca del río Ayuquila.

La densidad de población es importante para conocer la relación del medio natural y las personas que en ella viven y se calcula dividiendo la cantidad total de habitantes entre el área por lo tanto se obtiene la totalidad de la población por microcuenca calculada a partir de la suma de los habitantes por localidad (INEGI 2000) y la superficie de la microcuenca representada en kilómetros cuadrados (Cuevas et al. 2007). En consecuencia, para calcular la densidad de población por microcuenca se

utilizó la información proporcionada por INEGI 2005 procediendo a la suma de los habitantes de las localidades.

La siguiente cobertura en elaborar fue la marginación por microcuencas donde se utilizó caracterización hecha por CONAPO 2005, la cual emplea cinco categorías las cuales se agrupan en Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta.

Otras coberturas digitales como la geología, edafología, uso de suelo, vegetación y áreas naturales protegidas, son importantes para conocer el comportamiento actual de las cuencas hidrográficas en cuanto a su estructura por lo que se determinó elaborar los mapas digitales, las cuales fueron elaboradas por la herramienta de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) En base a lo anterior se procedió a elaborar el mapa de erosión potencial y actual de la subcuenca del río Ayuquila para que posteriormente se determine a nivel microcuenca (ANEXOS).

La propuesta metodológica para la evaluación del riesgo de erosión en zonas áridas se ha desarrollado en base a la ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), formulada por Wischmeier y Smith (1968–1978) y revisada por Laney Nearing (1989), (Oñate 2004).

5.2.2. Análisis de Aptitud hidrológica por microcuenca

La información recabada sirvió de apoyo para comprender el comportamiento de la subcuenca desde un punto de vista hidrológico, además fue la base para elaborar los mapas de aptitud hidrológica por microcuencas, se define como la capacidad de un área o microcuenca con características físicas y condiciones favorables para desempeñar una función determinada tomando en cuenta los valores y los intereses de los sectores involucrados (Rodríguez 2007).

Se obtuvo la aptitud hidrológica de la subcuenca del río Ayuquila mediante dos enfoques primeramente el enfoque de conservación hidrológica donde se puede definir como la protección, cuidado, manejo y mantenimiento del agua dentro de un área o microcuenca para su permanencia a lo largo del tiempo y el enfoque de

aprovechamiento hidrológico definido como la explotación superficial del agua para el suministro y uso de los diferentes sectores productivos y urbanos (Navarro 2007).

La evaluación de la aptitud para la conservación y aprovechamiento del agua incluye la ejecución y/o interpretación de información básica respecto a las condiciones de la vegetación, cualidades del suelos y cualquier otro aspecto que influya en la conservación del agua así como las condiciones o cualidades favorables que contenga la subcuenca del río Ayuquila para aprovechar el agua. Desde este punto de vista se seleccionaron de una serie de criterios hidrológicos de manera que representaran la situación estructural natural favorable de las microcuencas para obtener el análisis de aptitud. Se propusieron siete criterios hidrológicos para obtener el mapa de aptitud de conservación y por otro lado seis criterios para elaborar el segundo mapa de aptitud de aprovechamiento del agua.

El proceso metodológico para la ponderación de los criterios seleccionados para esta etapa comprende la utilización del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) comprendido dentro del Manual de Ordenamiento Ecológico elaborado con el propósito de proveer herramientas para la aplicación del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio (INE-SEMARNAT 2004).

El Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) se basa en tres principios: descomposición, juicios comparativos y síntesis de prioridades. El principio de descomposición consiste en que el problema de decisión sea descompuesto en una jerarquía que capte los elementos esenciales del problema. El principio de juicios comparativos requiere evaluación de comparaciones pareadas de los elementos dentro de un nivel dado de la estructura jerárquica, con respecto a sus antecesores en el nivel superior siguiente. El principio de síntesis construye un conjunto global de prioridades para los elementos en el nivel más bajo de la jerarquía (criterios). Bajo estos principios, el procedimiento PAJ involucra dos etapas: a) definir la jerarquía y b) realizar comparaciones pareadas de los elementos. A continuación se explica paso a paso la utilización del proceso propuesto.

- 1) Identificación de criterios de decisión.

Con el objetivo anteriormente planteado y que refleja las prioridades de este estudio hidrológico (Conservación y aprovechamiento), se identificaron criterios que favorecen el desarrollo de las actividades; es decir, los criterios o atributos que permiten el logro del objetivo planteado. La finalidad de esta etapa es tener una lista de criterios que puedan ser evaluados, cartografiados y cuantificados.

Una vez definidos los criterios se crearon escalas de medición para cada criterio identificado en la estructura jerárquica. Las escalas o niveles de medición representan variaciones en la manera en que los números se asignan a las entidades. Cabe mencionar que hay cuatro niveles básicos de medición: nominal, ordinal, intervalo y proporción.

2) Jerarquización de criterios de decisión

Después de identificar los criterios se procedió a establecer su prioridad. El producto de esta etapa es una lista con los criterios escritos en orden de preferencia.

3) Ponderación de criterios de decisión

Este peso puede definirse como un valor asignado a un criterio de evaluación que indica su importancia relativa con respecto a los otros criterios bajo consideración. Es equivocado interpretar los pesos sólo como una medida general de la importancia del criterio de evaluación. El valor del peso depende del rango de valores del criterio, esto es, la diferencia entre el valor mínimo y máximo para un criterio dado, en general, mientras mayor sea el peso de un criterio, mayor es su importancia (INE-SEMARNAT 2004).

4) Proceso de ponderación mediante el PAJ.

En esta parte del proceso metodológico se planteo la utilización de las comparaciones pareadas que demanda el proceso analítico jerárquico, los criterios anteriormente seleccionados y jerarquizados fueron utilizados para realizar este procedimiento

a. *Comparaciones pareadas de los criterios*

Se utilizaron las comparaciones pareadas para reducir la complejidad de la toma de decisiones ya que sólo se consideran dos componentes a la vez. Las comparaciones pareadas involucran tres pasos: i) elaboración de una matriz de comparación en cada nivel de la jerarquía, ii) cálculo de pesos para cada elemento de la jerarquía y iii) estimación de la proporción de consistencia. Bajo esta consideración se tomo como base la utilización de la escala para determinar los grados de importancia de los criterios seleccionados dentro de este trabajo.

Cuadro 3. Escala para valorar las preferencias de los criterios.

| | |
|---|--|
| 1 | Igual Importancia |
| 2 | Importancia igual a moderada |
| 3 | Importancia moderada |
| 4 | Importancia moderada a fuerte |
| 5 | Importancia fuerte |
| 6 | Importancia fuerte a muy fuerte |
| 7 | Importancia muy fuerte |
| 8 | Importancia muy fuerte a extremadamente fuerte |
| 9 | Importancia extremadamente fuerte |

5) Con la información obtenida del proceso anterior se procedió a normalizar las coberturas con rangos de 0-1, considerando que la unidad representa la mayor aptitud de conservación o aprovechamiento del criterio seleccionado. Para obtener el rango (normalización) mencionado anteriormente se procedió a utilizar la siguiente fórmula.

$$X_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

5.2.2.1 Criterios de aptitud hidrológica.

Como primer criterio hidrológico se tomó a la vegetación debido a que los bosques usan más agua, a través de la intercepción y de complejos procesos de evapotranspiración que otros usos de la tierra como los pastizales y la agricultura. Por lo tanto, los bosques reducen los escurrimientos y son decisivas en la distribución del agua disponible entre el escurrimiento y la recarga, lo que hace aumentar los caudales en la estación seca (FAO 2007).

Para determinar la cobertura de vegetación se tomo en cuenta la relación cobertura natural sobre la cobertura antrópica este indicador refiere la relación entre cubiertas del terreno naturales con respecto con las coberturas que resultan de la actividad humana además, permite con esta relación una primera aproximación al grado de impacto global (INE-SEMARNAT 2004).

La marginación es una de las múltiples expresiones de un bajo nivel de desarrollo humano de las cuencas, y establece una estrecha relación con algunos indicadores de rezago sociodemográfico, que inciden sobre las condiciones de vida de la población. Por lo tanto, la identificación de las cuencas que presentan una mayor vulnerabilidad a este respecto, permitirá definir estrategias integrales a los tomadores de decisión que contribuyan a la disminución de los rezagos y a la erosión de los mecanismos difusores de exclusión. El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar entre microcuencas según el impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas. Su objetivo es caracterizar el grado de marginación por cuenca (INE 2003). En cuanto al grado de marginación como criterio, se tomo en cuenta la calificación propuesta por CONAPO (2005) donde se presenta como un fenómeno estructural que se origina en la modalidad, estilo o patrón histórico de desarrollo.

En consecuencia el criterio para la densidad de población se tomo en cuenta la metodología propuesta por la INE-SEMARNAT (2004) donde se toma el promedio de la densidad estatal en este caso, se toma en cuenta la media densidad de la subcuenca del río Ayuquila.

Por otro lado resulta imprescindible el conocimiento de la localización espacial de los atributos que determinan la aptitud de los diferentes usos de suelo y su relación con el escurrimiento superficial ligados a las condiciones socioeconómicas en una determinada cuenca. En este sentido, es relevante conocer la expresión espacial de la aptitud hídrica de las tierras en una cuenca para su identificación y la caracterización de los factores limitantes (Montico y Pouey 2008).

Los atributos del criterio uso de suelo se plasman a continuación detallándose la leyenda jerárquica aplicada por INE-SEMARNAT 2004.

Cuadro 4. Leyenda jerárquica de uso de suelo y vegetación (INE-SEMARNAT 2004).

| Formación | | Tipo de vegetación y uso de suelo |
|-------------|------------------------------|-------------------------------------|
| I. | Cuerpos de agua | 1. Cuerpos de agua |
| II. | Bosques | 2. Mesófilo de montaña. |
| | | 3. Coníferas. |
| | | 4. Latifoliadas. |
| III. | Selvas | 5. Caducifolia y subcaducifolia |
| IV. | Matorral | 6. Mezquital y matorral xerófilo |
| V. | Pastizal | 7. Pastizal |
| VI. | Cultivos | 8. Agricultura de riego y temporal. |
| | | 9. Plantación forestal |
| VII. | Asentamientos urbanos | 10. Asentamientos humanos |

Por otro lado, el incremento del número de descargas a los cuerpos receptores ha ocasionado una fuerte contaminación y ha disminuido la calidad del recurso agua. Las actividades socioeconómicas antrópicas justifican la presencia de diferentes puntos de contaminación a lo largo del cualquier río o microcuenca que se trate. Aunado a esto la presencia de grandes centros urbanos y la falta de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial y municipal agrava el problema de disponibilidad en cantidad y calidad del líquido para su conservación y aprovechamiento (De la Guarda y Adolfo 2004). En base a lo anteriormente planteado se consideró seleccionar a los puntos de contaminación como criterio para el análisis de aptitud hidrológica. Los puntos de

contaminación se basa en la localización espacial de las viviendas que se encuentran dentro de la subcuenca del río Ayuquila que contengan drenaje, lo anterior fue a través de la fuente de información INEGI 2005, Posteriormente la localización de las viviendas con drenaje se visualizaron espacialmente mediante ARCGIS 9.3 en cada una de la microcuencas. Mediante un SIG es posible generar mapas que muestran diversas características de una cuenca como características de la calidad de agua, río y topografía, al tiempo de producir bases de datos sofisticadas que puedan proporcionar datos de entrada para ejecutar modelos de simulación. También se puede delinear áreas de aprovechamiento y conservación de agua con el fin de proporcionar a la comunidad información base para desarrollar estrategias de gestión y manejo de calidad de agua y de esa manera poder tomar decisiones en base a priorizaciones (CNA 2007). Tomando en cuenta lo anterior se planteo la utilización de la calidad de agua como criterio para elaborar el mapa de aptitud hidrológica. La información fuente proviene de CNA (2007) donde describe el índice de calidad de agua basado en cantidades materia orgánica (DBO) presente en el agua.

Cuadro 5. Clasificación de la calidad del agua CNA (2007).

| Valor de DBO (mg/l). | Clasificación |
|----------------------|---|
| <3 | Excelente (no contamina) |
| 3 – 6 | Buena calidad (con bajo contenido de materia orgánica biodegradable). |
| 6 – 30 | Aceptable (con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de Amarillo aguas residuales tratadas biológicamente). |
| 30 – 120 | Contaminada (aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal). |
| >120 | Fuertemente contaminada (aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales). |

La erosión hídrica superficial es la remoción del material del suelo por acción del agua en ciertas partes de la cuenca y la deposición en otras. La degradación del suelo provocada por este fenómeno es el resultado de la dinámica del funcionamiento de una cuenca como sistema integrador. La erosión aumenta a medida que el cambio de uso de suelo aumenta por las actividades antrópicas, aumentando el escurrimiento superficial y limitando la infiltración. En este sentido se selecciona la erosión como criterio para determinar las características físicas favorables o desfavorables en los papas de aptitud hidrológica (Kirkby 1994). Para su realización se tomo en cuenta la cobertura elaborada con el método de RUSLE donde se obtiene el riesgo de erosión de la subcuenca del río Ayuquila. Para lo anterior se necesita determinar los factores característicos de esta metodología como lo es R, K, LS, C, por lo que la clasificación de rangos de riesgo de erosión es el siguiente:

Cuadro 6. Clasificación de la erosión mediante la metodología RUSLE.

| Valor (Ton/ha/año) | Clasificación |
|--------------------|------------------|
| 0 – 10 | Erosión ligera |
| 10 – 50 | Erosión moderada |
| 50 – 200 | Erosión alta |
| 200 – 500 | Erosión muy alta |
| Más de 500 | Erosión extrema |

5.2.2.2. Valoración de atributos para el análisis de aptitud hidrológica.

Para la valoración de los atributos de cada criterio seleccionado y descrito anteriormente (criterios de aptitud) se tomaron en cuenta características o condiciones físicas que favorezcan la conservación o el aprovechamiento del agua dentro de la subcuenca del río Ayuquila. Por otro lado, se toman en cuenta característica de interacción de la población en algunos criterios (densidad y marginación de la población) hacia los recursos naturales, estos valores de atributos se tomaron en cuenta por microcuenca. A continuación se muestra la valoración de atributos de los criterios de aptitud hidrológica:

Cuadro 7. Valoración de los atributos para los criterios de vegetación y Uso de suelo.

| Tipos | Vegetación | | Uso de suelo |
|---------------------------------|-------------------|--------------|---------------------|
| Atributos | Conservación | Conservación | Aprovechamiento |
| Abies | 1 | 1 | 8 |
| Agave > 5 años | 0 | 5 | 1 |
| Agricultura | 0 | 5 | 1 |
| Áreas urbanas | 0 | 6 | 2 |
| Bosque de Encino | 1 | 1 | 8 |
| Bosque de Encino-abierto | 1 | 1 | 8 |
| Cuerpos de agua | 1 | 6 | 1 |
| Matorral sub-tropical | 1 | 3 | 5 |
| Mezquital - huizachal | 1 | 3 | 4 |
| Pasto | 0 | 4 | 3 |
| Pastizal - Huizachal | 1 | 4 | 3 |
| pino | 1 | 1 | 7 |
| pino - abierto | 1 | 1 | 7 |
| Pino - encino | 1 | 1 | 7 |
| Pino - encino - abierto | 1 | 1 | 7 |
| Popal - Lirio | 1 | 1 | 6 |
| Selva baja | 1 | 2 | 6 |
| Selva mediana | 1 | 2 | 6 |

El criterio de vegetación solamente se utiliza dentro del análisis de aptitud con enfoque de conservación valorizando los atributos descritos en el cuadro 4. En este sentido, los atributos con tipo de vegetación existente (bosque, matorral pastizal natural y selva) se consideran viables para conservar el agua, en el caso contrario ocurre con los atributos de asentamientos humanos y agricultura. La debida clasificación de los atributos de este criterio permite la elaboración de las coberturas en formato grid siendo normalizadas mediante el paso número 5 del PAJ.

Dentro de los atributos del uso de suelo (*Cuadro 7*) se toman en cuenta en orden de importancia aquellos que representan condiciones viables de estructura física en este caso los bosques como atributos más importantes con finalidad de conservación del

agua y para el enfoque de aprovechamiento la agricultura representan las zonas con mayor capacidad de aprovechar el agua superficial.

Los atributos del criterio de marginación (Cuadro 8) son valorizados y clasificados por microcuenca, entonces para el enfoque de conservación se consideran aquellas microcuencas a partir de muy alta marginación, contrariamente para el enfoque de aprovechamiento se utiliza la valoración a partir de la clasificación muy baja marginación.

Cuadro 8. Valoración de atributos del criterio de marginación basado en microcuencas (CONAPO 2005).

| Clases | Valoración y clasificación | Conservación | Aprovechamiento |
|--------|--------------------------------|--------------|-----------------|
| 1 | Muy Bajo (-2.44852 a -1.28088) | 5 | 1 |
| 2 | Bajo (-1.28088 a -0.69707) | 4 | 2 |
| 3 | Medio (-0.69707 a -0.11325) | 3 | 3 |
| 4 | Alta (-0.11325 a 1.05438) | 2 | 4 |
| 5 | Muy Alta (1.05438 a 3.38964) | 1 | 5 |

El procedimiento para evaluar el criterio de densidad de población resulta semejante a la marginación donde se presenta una valoración y clasificación por microcuenca, en base a lo anterior se jerarquiza las microcuencas a partir de la clasificación muy baja densidad para el enfoque de conservación y microcuencas a partir de la clasificación de muy alta densidad para aprovechamiento del agua.

Cuadro 9. Valoración de atributos del criterio de densidad de población basado en microcuencas (INE-SEMARNAT 2004)

| Valoración y clasificación | Conservación | Aprovechamiento |
|---|--------------|-----------------|
| Muy Bajo (Menos de la mitad del promedio) | 1 | 5 |
| Bajo (Del promedio hasta la mitad) | 2 | 4 |
| Medio (Promedio de la subcuenca) | 3 | 3 |
| Alta (Del promedio hasta dos veces) | 4 | 2 |
| Muy Alta (Dos veces y más del promedio) | 5 | 1 |

En el caso del criterio de la calidad de agua por microcuenca, sus atributos favorables para la conservación se basan en la clasificación a partir de excelente considerando las condiciones favorables del agua y a partir de la calificación fuertemente contaminada para el enfoque de aprovechamiento indicando la interacción fuere de la población con el uso del agua.

Cuadro 10. Valoración de atributos del criterio de calidad de agua basado en microcuencas (CNA 2007).

| Valoración y clasificación | Conservación | Aprovechamiento |
|---------------------------------|--------------|-----------------|
| Excelente (<3) | 1 | 5 |
| Buena calidad (3 - 6). | 2 | 4 |
| Aceptable (6 - 30). | 3 | 3 |
| Contaminada (30 – 120) | 4 | 2 |
| Fuertemente contaminada (>120). | 5 | 1 |

Finalmente se consideró a los atributos del criterio de erosión como áreas favorables y potenciales a la conservación aquellas con un riesgo extremo, aunque se presenta como factor limitante sus condiciones físicas (agua, suelo y vegetación) aceptables se encuentran en zonas de cabecera con poco deterioro. Contrariamente y debido al poco riesgo de erosión provocado por la pendiente como factor limitante dentro de la cobertura digital de erosión actual de la subcuenca del río Ayuquila se toma la clasificación de erosión ligera como áreas con condiciones de aprovechamiento hidrológico debido a que este grado de erosión se encuentra en zonas de valles como áreas receptoras del escurrimiento superficial.

Cuadro 11. Valoración de atributos del criterio erosión (RUSLE)

| Valoración y clasificación | Conservación | Aprovechamiento |
|-----------------------------|--------------|-----------------|
| Erosión ligera(0 – 10) | 5 | 1 |
| Erosión moderada(10 – 50) | 4 | 2 |
| Erosión alta(50 – 200) | 3 | 3 |
| Erosión muy alta(200 – 500) | 2 | 4 |
| Erosión extrema(Más de 500) | 1 | 5 |

- 6) El siguiente paso después de haber elaborado la normalización de los criterios con un rango de 0 a 1 fue determinar las coberturas de aptitud hidrológica de conservación y aprovechamiento. Para esto se multiplicaron las coberturas por los pesos que se obtienen dentro del paso 4 de este proceso analítico jerárquico (PAJ). Posteriormente se realiza una suma de cada una de las multiplicaciones realizadas para obtener así las coberturas finales de aptitud hidrológica. En consecuencia se reclasifica en rangos de aptitud muy alta, alta, media, baja y muy baja para posteriormente recortar cada microcuenca con la cobertura de aptitud hidrológica clasificada.

5.2.3. Definición de criterios de priorización hidrológica por microcuencas.

Para desarrollar y elaborar la priorización hidrológica basada en microcuencas y después de realizado el proceso de análisis de la aptitud hidrológica donde se obtuvo la capacidad o características idóneas de cada microcuenca en cuidar, manejar y aprovechar el agua superficial se planteó la utilización de encuestas semi-estructuradas para elaborar criterios de decisión hidrológica. Para determinar la priorización y obtener los criterios necesarios para obtener el objetivo planteado las encuestas semi-estructuradas (anexos) fueron dirigidas hacia actores clave que de alguna manera intervienen en el manejo o estudio del agua dentro de la subcuenca del río Ayuquila. Los actores clave se describen a continuación:

a. Comisión de Cuenca Ayuquila-Armería

Debido a la problemática ambiental y social, en especial en la parte media de la cuenca del río Ayuquila, así como de los esfuerzos de varios actores para las soluciones de esta problemática; el 28 de octubre de 1997 en el marco del X aniversario de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán se estableció una Mesa de Trabajo para impulsar la creación de la Comisión de Cuenca del río Ayuquila-Armería. Tiene como objetivos principales:

- Preservar la calidad del agua en la cuenca y propiciar su saneamiento.
- Coadyuvar con el ordenamiento y regulación de los usos del agua.
- Coadyuvar en el mejoramiento de la educación y la cultura de la sociedad en relación a la importancia del agua.
- Prevenir conflictos asociados a la competencia entre usos y usuarios del agua y sus bienes inherentes.
- Mejorar la eficiencia de los usos actuales del agua.
- Inducir el manejo y gestión integral de la cuenca y la preservación de sus recursos.

La Comisión de Cuenca está integrada por las dependencias de los dos Estados, Colima y Jalisco, en sus tres niveles de gobierno, federal, estatal y municipal, por los representantes de los diferentes usos del agua de la Cuenca en ambos estados, las Universidades estatales e Institutos de Educación Superior; Institutos de Ciencia, Asociaciones de Profesionales y Organismos no Gubernamentales.

- Vocales Gubernamentales (Jalisco y Colima).
- Presidentes y Gobernadores de los estados Jalisco y Colima.
- Vocales Usuarios (uso agrícola, público urbano, industrial, pecuario, servicios y acuícola).
- Secretario técnico (Gerencia regional Lerma-Santiago-Pacífico de CNA).
- Invitados: SEMARNAT, SAGARPA, SEDESOL, CONANP, PROFEPA, Presidentes Municipales involucrados.
- Universidades e Institutos de educación superior, Institutos de Ciencias y ONGs.

Esta comisión funciona mediante la celebración de sesiones públicas y el consenso de asuntos prioritarios, la integración de una Agenda, la ejecución de acciones de seguimiento y la evaluación periódica de resultados, así como la promoción de estudios y la ejecución de acciones de beneficio común y mediante la elaboración de planes, programas y proyectos y la promoción de su ejecución (Fuente: Comisión de Cuenca Ayuquila-Armería).

b. Distrito de Riego (CNA).

El distrito de riego está compuesto por los Municipios de Autlán, El Grullo y El Limón, en cuanto a la infraestructura cuenta con una longitud total de canales de 176 kilómetros. Su capacidad de almacenamiento es de 324 millones de metros cúbicos extraída del río Ayuquila (CNA-SARH. 1992).

Cuenta con la presa Trigomil, donde el agua de esta presa beneficia con riego directo a 8,636 hectáreas de la zona de Autlán, El Grullo y El Limón, en Jalisco. De esta manera, y junto con las aguas que regulan la presa Tacotán, el distrito de riego cubre una superficie total de 18,284 hectáreas, en beneficio de 3,521 familias. (Fuente: Distrito de Riego 094 Autlán-El Grullo, Jalisco).

La construcción de esta infraestructura hidro-agrícola, junto con el aprovechamiento pleno del agua, constituyen componentes básicos del programa nacional de irrigación y drenaje, el cual busca también impulsar los cambios institucionales que favorezcan la participación activa y eficaz de los usuarios en la conducción de sus propios destinos (Olguín 2003).

c. Asociación de Usuarios.

El sistema de riego Autlán, El Grullo y El Limón se construyó en los años 50 con el objetivo de promover el crecimiento rápido de la producción agrícola, sobre todo de la caña de azúcar y los cultivos hortícolas para exportación. El funcionamiento del sistema de irrigación involucra la participación activa de una extensa gama de personas como: agricultores, ingenieros y personal de mantenimiento de canales.

Desde 1989 la asociación de usuarios del agua se responsabiliza de la distribución del agua para la agricultura de riego a favor de los propietarios de las parcelas, lo anterior se basa en una previa calendarización. Además es responsable del mantenimiento de la infraestructura agrícola. Por otro lado, la asociación de usuarios representa o maneja la distribución del agua prácticamente toda la parte media de la subcuenca del río Ayuquila y donde existe la mayor actividad agrícola con uso de agua para riego (Fuente: Asociación de Usuarios Autlán-El Grullo).

d. Junta Intermunicipal del Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila (JIRA).

La JIRA se ha ido conformando lentamente durante más de una década a través del trabajo de colaboración de múltiples instituciones, ayuntamientos y grupos locales, en la cual se ha creado un ambiente de confianza institucional y sentido de apoyo mutuo y colaboración para el desarrollo local. Incluye también el trabajo de colaboración internacional con instituciones académicas, de gobierno y ciudadanas, en torno a la problemática del río (JIRA 2007).

La JIRA tiene como objetivos:

- Contribuir a mejorar las condiciones de vida de la población local, mediante una adecuada Gestión del ambiente que sustente y aumente la capacidad productiva de los recursos naturales de la cuenca del Río Ayuquila.
- Promover la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de la cuenca del Río Ayuquila.
- Fortalecer las capacidades institucionales de los gobiernos municipales, y de las organizaciones ciudadanas e instituciones académicas locales para la Gestión integral de la cuenca del Río Ayuquila.
- Coadyuvar a la participación coordinada de los tres niveles de gobierno y actores locales para la Gestión integral de la cuenca del Río Ayuquila.
- Impulsar procesos de educación ambiental ciudadana, que permitan la adecuada participación pública en la Gestión de la cuenca del Río Ayuquila.
- Gestionar la vinculación con instancias gubernamentales y no-gubernamentales de nivel local, nacional e internacional en apoyo económico y en especie a los proyectos de Gestión integral de la cuenca del Río Ayuquila.

Integrantes de la Iniciativa:

- Gobiernos Municipales de Autlán, Ejutla, El Grullo, El Limón, San Gabriel, Tolimán, Tonaya, Tuxcacuesco, Unión de Tula y Zapotitlán de Vadillo.
- Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. IMECBIO-UdeG.
- Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. CONANP-SEMARNAT.

- Secretaría de Desarrollo Rural de Jalisco.
- Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C

e. Participación académica.

Luis Manuel Martínez Rivera Jefe del Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Universidad de Guadalajara, Independencia Nacional # 151, Autlán de la Grana, Jal C.P. 48900, MÉXICO Tel: (31) 382-5010 ext. 7158

Salvador Anta Fonseca, Gerente Regional, CONAFOR, Oaxaca, Privada de Almendros # 106, Reforma, Oaxaca de Juárez C.P. 68050 México.

Francisco. Javier Aparicio Mijares, Coordinador de Hidrología, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532 Col. Progreso, Jiutepec, Morelos C.P. 62550 México

Cecilia Blasco Hernández, Coordinador Cuencas, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza AC., Jericó No. 26, Col. Badillo, Xalapa, Veracruz C.P. 91190 México

Helena Cotler Ávalos, Directora de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de la Ecología, Av. Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, Delegación Coyoacán, C.P. 04530, México, D.F.

Jorge Ramírez Hernández Investigador, Grupo Ciencias de la Tierra, Área de Medio Ambiente, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Av. de la Normal s/n Col. Insurgentes Este, Mexicali 21280, B.C., México

Ernesto Castañeda Hidalgo, Profesor de Agricultura Sostenible, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex. Hda. de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México

Yolanda Lara Padillo, Coordinadora –Oaxaca, Estudios Rurales y Asesoría, Ley Agraria N° 103-B Camino a San Agustín Yatareni, San Francisco Tutla, Oaxaca. México. C.P. 71228.

Ignacio D. González Mora, Oficial de Programa Manejo de Cuencas Copalita-Zimatán Huatulco, WWF-México, Jazmines 217, Col. Reforma, Oaxaca, Oaxaca C.P. 68050 México Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES)

Arturo Garrido Pérez, Instituto Nacional de Ecología (INE), Subdirector de Aspectos Biofísicos en Cuencas, Extensión 13138, Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas (DGOECE)

En segundo lugar se planteó la utilización de la segunda encuesta dirigida hacia los actores descritos anteriormente con la finalidad de dar importancia jerárquica a los criterios obtenidos de la primera encuesta. La importancia de esta encuesta radica en dar prioridad a criterios que beneficien los enfoques de aprovechamiento y conservación del agua (anexos).

Por otro lado, para evaluar los criterios de decisión hidrológica obtenidos se utilizó la siguiente metodología:

5.2.4. Priorización hidrológica con enfoque de conservación y aprovechamiento por microcuenca.

La metodología empleada para el análisis de los diferentes criterios validados en las encuestas sirvió de base para la determinación de Áreas prioritarias en las microcuencas del río Ayuquila y fue aplicado y seleccionado del estudio que realiza FIRCO () donde hace una comparación de 4 diferentes modelos para la priorización CATIE (Sánchez - Escoto 1993), PERU (Ministerio de agricultura 1984), FAO (Faustino 1992 y OEA (Anónimo 1992)). El modelo seleccionado para la realización de la priorización es el empleado por el Ministerio de Agricultura (PERU 1984) donde presenta una aplicación con un enfoque integral evaluando condiciones físicas, ambientales y socioeconómicas (Quesada s/a).

Cuadro 12. Método utilizado para la priorización hidrológica (PERU 1984).

| PRIORIZACIÓN | ENFOQUE | TIPO DE CRITERIOS | CRITERIOS |
|--------------------|---|----------------------|-----------|
| HIDROLOGICA | APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN | <i>FISICA</i> | |
| | | <i>SOCIAL</i> | |
| | | <i>ECONOMICO</i> | |
| | | <i>INSTITUCIONAL</i> | |
| | | <i>AMBIENTAL</i> | |
| | | <i>BIOTICO</i> | |

5.2.4.1. Evaluación Multicriterio.

El método seleccionado para obtener la ponderación de los criterios es el método de clasificación donde se determina el peso mediante el recíproco. Este método es atractivo debido a su simplicidad y se evalúa de la siguiente manera: En el método de recíprocos, los pesos se derivan de los recíprocos normalizados de los criterios, con la siguiente fórmula:

$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum(1/r_k)}$$

Donde w_j es el peso normalizado para el j -ésimo criterio, k es el número de criterios bajo consideración ($k=1,2,\dots,n$), y r es la posición que ocupa el criterio en la lista ordenada.

Terminado la elaboración de los pesos de cada uno de los criterios de priorización hidrológica con enfoque de aprovechamiento y conservación se procede a evaluar los atributos cartográficos de cada uno de los criterios dando valores de 0 para aquellos atributos con característica favorables para la priorización hidrológica y valores de 1 para los atributos que cumplan con las condiciones favorables para priorizar el agua mediante los enfoques de conservación y aprovechamiento.

5.2.5 Propuestas de manejo.

Las propuestas como parte final del estudio de priorización hidrológica se establecieron definir las de manera general representando a la subcuenca del río Ayuquila y de manera específica para cada una de las microcuencas que la conforman, considerando primordialmente los resultados obtenidos por dicha priorización. Las propuestas pretenden ser desde un punto de vista hidrológico de recuperar, proteger, conservar, controlar y por lo tanto encontrar medidas para su uso y disponibilidad.

Una de las ventajas dentro de este estudio es el papel rector que puede jugar la calidad del agua. Por su situación en el sistema y su potencial productivo, no sólo para la generación de energía, su conservación implicará la preservación de otros recursos del medio. En la calidad del agua confluyen todos los impactos del deterioro y los conflictos de uso, y es en donde se pueden empezar a formar consensos para el manejo del sistema. Es importante aprovechar esta situación ya que se da de manera natural y puede ser la actividad que inicie el proceso de manejo integral del medio.

VI. Resultados.

Los resultados obtenidos del proceso metodológico para el estudio de priorización hidrológica por microcuenca en la subcuenca del río Ayuquila y con un enfoque de conservación y aprovechamiento se muestran a continuación, mostrando primeramente la delimitación del área de estudio así como su determinación de morfológica, posteriormente se obtienen los resultados del análisis de aptitud hidrológica para finalizar con los resultados de priorización por microcuenca con los dos enfoques anteriormente mencionados.

6.1. Caracterización morfológica de la subcuenca del río Ayuquila.

De manera general la subcuenca del río Ayuquila en función del destino final de sus escurrimientos es reconocida como una subcuenca exorreica ya que el agua drenada por sus sistemas de corrientes llega al mar ya sea por vía superficial o subterránea. Se considera una cuenca grande dependiendo de la clasificación de Sánchez 1987 (*Cuadro 13*), el tipo de escurrimiento se relaciona con el tipo de material o formación geológica con características de granulación fina, material homogéneo y permeabilidad relativamente baja. Por otro lado, se considera como una subcuenca en estado de equilibrio según la curva hipsométrica indicando características geológicas en estado maduro o como una subcuenca geológicamente madura.

Cuadro 13. Parámetros morfológicos de la subcuenca del río Ayuquila.

| Parámetro | Valor | Parámetro | Valor |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------|
| Área | 3653.36 km ² | Densidad de drenaje | 2.44 |
| Corrientes superficiales | 10,288 | Curva hipsométrica | Equilibrio |
| Longitud de corrientes | 8893.58 km | Tipo de drenaje | Dendrítico |
| Índice de compacidad | 1.75 | Relación de elongación | 0.79 |

6.2. Delimitación de microcuencas.

En consideración a la metodología expuesta en el presente trabajo de priorización hidrológica con enfoque de aprovechamiento y conservación del agua se delimitaron en la subcuenca del río Ayuquila un total de 53 microcuencas.

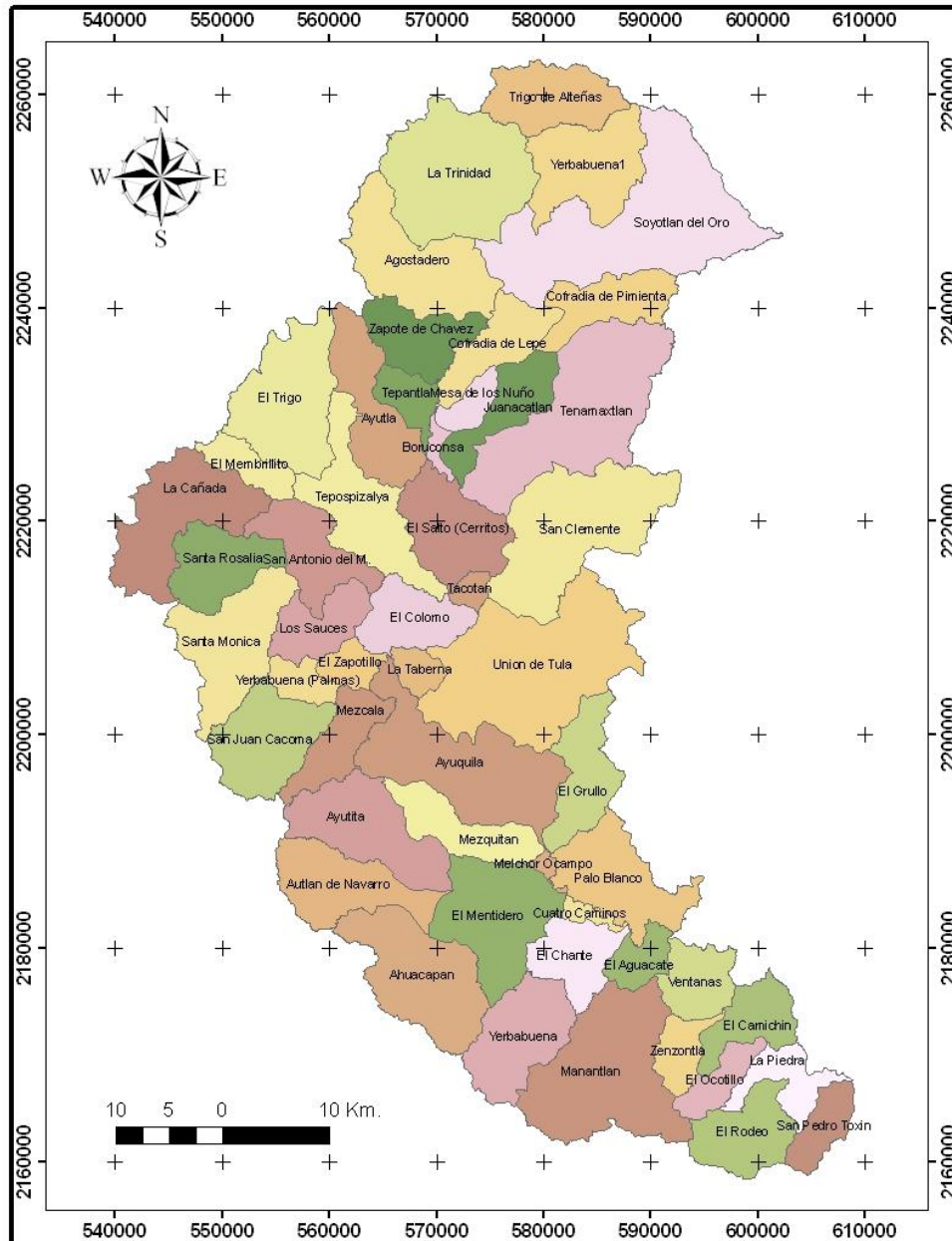


Figura 2 Mapa representativo de microcuencas y su clasificación por población.

6.3. Parámetros morfométricos por microcuenca y análisis estructural.

Después de la delimitación de la subcuenca en microcuencas se procedió elaborar los diferentes parámetros morfológicos para cada microcuenca, dentro del cuadro 13 se obtiene los valores y clasificaciones para cada parámetro. Por otro lado, los resultados demuestran la heterogeneidad de tamaño entre microcuencas por lo que desde el punto de vista hidrológico las microcuencas delimitadas más pequeñas suelen ser más sensibles a la forma y cantidad del escurrimiento influenciado principalmente por las características físicas del suelo y cobertura vegetal, el escurrimiento puede ser sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración.

Cabe mencionar que la forma de cada una de las microcuencas también influye en la magnitud del escurrimiento debido a que cuencas redondas presentan un escurrimiento superficial mayor que aquellas de igual tamaño pero de forma estrecha y alargada ya que en estas últimas los escurrimientos superficiales se concentran más lentamente (Campos 1987). Otro parámetro que influye en el escurrimiento superficial es la pendiente media de cada una de las microcuencas puesto que debido a la pendiente y extensión de sus cauces, el relieve y las depresiones influyen y condicionan la velocidad de los escurrimientos superficiales y subterráneos además de que se predice la erosión dependiendo del uso y manejo que se le aplique al suelo.

En consecuencia, la red de drenaje en las microcuencas, manifiestan una importante efecto en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de que proporciona indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca. Por otro lado y basado en la densidad del escurrimiento las microcuencas presentan diferentes características del relieve ya que existen valores bajos (densidad de drenaje baja) que representan áreas de rocas resistentes o de suelo muy permeable con vegetación densa y donde el relieve es débil, por el contrario microcuencas que presentan valores altos (densidad de drenaje alta) característico de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

Cuadro 14. Listado de las microcuencas del río Ayuquila y sus parámetros respectivos

| Núm. | Microcuencas | Perímetro (km) | Área (km ²) | Población | Marginación | Índice Compacidad | Longitud de mccas (mts) | Altura mínima | Altura máxima | Pend. Media |
|------|-------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------|
| 1 | San Pedro Toxín | 26.87 | 30.03 | 588 | Bajo | 1.37 | 9128.78 | 673.27 | 2204.68 | 45.84 |
| 2 | El Rodeo | 37.58 | 58.35 | 120 | Alto | 1.38 | 11780.55 | 716.89 | 2863.03 | 50.55 |
| 3 | La Piedra | 46.32 | 36.80 | 16 | Muy Alto | 2.14 | 12713.72 | 673.01 | 2232.61 | 36.60 |
| 4 | El Ocotillo | 28.59 | 27.21 | 10 | Muy Alto | 1.54 | 10828.11 | 741.00 | 2742.37 | 51.96 |
| 5 | Zenzontla | 27.17 | 26.96 | 455 | Medio | 1.47 | 9255.41 | 769.62 | 2549.92 | 53.10 |
| 6 | Manantlán | 68.21 | 151.95 | 37 | Alto | 1.55 | 18541.44 | 829.55 | 2874.17 | 40.16 |
| 7 | Yerbabuena | 42.55 | 77.87 | 217 | Medio | 1.35 | 13401.31 | 949.20 | 2212.63 | 36.88 |
| 8 | El Camichín | 37.20 | 44.51 | 232 | Medio | 1.56 | 11941.03 | 721.98 | 2148.25 | 32.21 |
| 9 | Ventanas | 30.68 | 41.93 | 92 | Medio | 1.33 | 6050.36 | 759.88 | 1722.19 | 39.97 |
| 10 | El Aguacate | 27.50 | 24.98 | 220 | Bajo | 1.54 | 5886.90 | 815.64 | 1584.25 | 32.08 |
| 11 | El Chante | 36.48 | 48.62 | 1879 | Bajo | 1.46 | 10361.49 | 846.92 | 1647.99 | 27.50 |
| 12 | Ahuacapan | 54.00 | 108.62 | 1325 | Bajo | 1.45 | 11680.91 | 867.60 | 2080.83 | 33.52 |
| 13 | Cuatro Caminos | 20.74 | 8.09 | 2 | Muy Alto | 2.04 | 6431.69 | 833.39 | 1160.67 | 14.98 |
| 14 | El Mentidero | 50.44 | 100.13 | 3478 | Bajo | 1.41 | 13536.24 | 848.19 | 2101.65 | 18.48 |
| 15 | Melchor Ocampo | 15.50 | 4.72 | 81 | Muy Bajo | 2.00 | 4422.14 | 859.66 | 1093.48 | 5.21 |
| 16 | Autlán de Navarro | 50.02 | 75.91 | 42396 | Medio | 1.61 | 16528.74 | 874.07 | 1882.55 | 36.17 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | Microcuencas | Perímetro (km) | Área (km ²) | Población | Marginación | Índice Compacidad | Longitud de mccas (mts) | Altura mín. (mts) | Altura máx. (mts) | Pend. Media |
|------|---------------------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| 17 | Palo Blanco | 59.75 | 81.55 | 224 | Medio | 1.85 | 10923.78 | 833.27 | 1484.60 | 11.18 |
| 18 | Mezquitan | 41.89 | 52.55 | 1484 | Bajo | 1.62 | 16385.12 | 857.15 | 1866.12 | 25.61 |
| 19 | Ayutita | 50.69 | 91.03 | 898 | Bajo | 1.49 | 17648.90 | 870.29 | 2445.54 | 38.35 |
| 20 | El Grullo | 46.19 | 59.29 | 19385 | Muy Bajo | 1.68 | 16333.44 | 850.30 | 1770.56 | 25.48 |
| 21 | Mezcala | 40.68 | 45.72 | 28 | Alto | 1.68 | 14421.37 | 1011.01 | 2442.44 | 53.15 |
| 22 | San Juan Cacoma | 41.65 | 79.58 | 138 | Medio | 1.31 | 13173.39 | 1277.35 | 2604.33 | 50.69 |
| 23 | Yerbabuena (Palmas) | 23.47 | 20.44 | 112 | Alto | 1.45 | 7588.84 | 1295.65 | 2300.67 | 42.85 |
| 24 | Ayuquila | 79.39 | 142.96 | 3468 | Bajo | 1.86 | 24113.33 | 851.85 | 2145.35 | 38.43 |
| 25 | La Taberna | 17.40 | 16.68 | 127 | Bajo | 1.19 | 5395.09 | 1131.14 | 1818.89 | 29.52 |
| 26 | El Zapotillo | 20.73 | 19.17 | 359 | Alto | 1.33 | 6884.39 | 1136.88 | 1944.59 | 37.13 |
| 27 | Los Sauces | 37.15 | 44.38 | 292 | Medio | 1.56 | 11232.45 | 1213.28 | 2061.83 | 28.07 |
| 28 | El Colomo | 35.92 | 52.96 | 113 | Alto | 1.38 | 10312.95 | 1122.53 | 1855.74 | 31.96 |
| 29 | Tacotán | 13.80 | 9.52 | 498 | Bajo | 1.25 | 4293.63 | 1216.60 | 1554.51 | 21.67 |
| 30 | Santa Mónica | 54.43 | 92.03 | 83 | Alto | 1.59 | 17936.47 | 1359.79 | 2487.70 | 41.84 |
| 31 | Unión de Tula | 83.09 | 199.46 | 9909 | Bajo | 1.65 | 16128.69 | 1307.30 | 1900.57 | 16.02 |
| 32 | Santa Rosalía | 38.12 | 59.46 | 324 | Alto | 1.38 | 11145.80 | 1359.91 | 2421.68 | 42.60 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | Microcuencas | Perímetro (km) | Área (km ²) | Población | Marginación | Índice de compacidad | Longitud de mccas (mts) | Altura mín. (mts) | Altura máx. (mts) | Pend. Media |
|------|---------------------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| 33 | San Antonio del M. | 47.67 | 60.19 | 250.00 | Medio | 1.72 | 13518.96 | 1213.04 | 2150.07 | 30.74 |
| 34 | El Salto (Cerritos) | 43.68 | 75.51 | 71.00 | Medio | 1.41 | 12822.09 | 1219.79 | 2021.34 | 16.57 |
| 35 | San Clemente | 65.97 | 147.22 | 3213 | Bajo | 1.52 | 21424.45 | 1305.76 | 1955.84 | 16.00 |
| 36 | La Cañada | 64.47 | 102.53 | 331 | Bajo | 1.78 | 16996.92 | 1395.43 | 2402.28 | 31.12 |
| 37 | El Membrillito | 29.36 | 27.14 | 6 | Alto | 1.58 | 9078.42 | 1394.78 | 2274.01 | 32.13 |
| 38 | Boruconsa | 18.77 | 7.13 | 41 | Alto | 1.97 | 4725.33 | 1352.60 | 1492.75 | 9.78 |
| 39 | Tepospizalya | 68.82 | 90.18 | 375 | Alto | 2.03 | 21825.43 | 1223.69 | 2042.04 | 25.79 |
| 40 | Mesa de los Nuño | 19.77 | 18.48 | 98 | Medio | 1.29 | 7043.99 | 1358.70 | 1737.92 | 7.65 |
| 41 | Tepantla | 27.77 | 25.18 | 497 | Medio | 1.55 | 9773.62 | 1353.61 | 1937.26 | 15.72 |
| 42 | Juanacatlan | 41.78 | 49.10 | 777 | Bajo | 1.67 | 15800.60 | 1357.19 | 1740.75 | 6.78 |
| 43 | Tenamaxtlan | 74.12 | 168.60 | 6324 | Bajo | 1.60 | 24998.10 | 1357.56 | 2179.23 | 11.67 |
| 44 | El Trigo | 54.20 | 106.15 | 60 | Alto | 1.47 | 15091.94 | 1478.33 | 2250.77 | 21.10 |
| 45 | Ayutla | 51.75 | 73.88 | 8637 | Muy Bajo | 1.69 | 16621.38 | 1358.51 | 2187.93 | 16.86 |
| 46 | Zapote de Chávez | 40.05 | 52.44 | 383 | Medio | 1.55 | 11838.33 | 1355.87 | 2193.48 | 19.85 |
| 47 | Cofradía de Lepe | 43.48 | 50.14 | 306 | Alto | 1.72 | 10038.54 | 1355.92 | 1750.32 | 10.42 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | Microcuencas | Perímetro (km) | Área (km ²) | Población | Marginación | Índice de Compacidad | Longitud de mccas (mts) | Altura mín. (mts) | Altura máx. (mts) | Pend. Media |
|------|----------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------|----------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 48 | Cofradía de Pimienta | 44.08 | 53.22 | 41 | Bajo | 1.69 | 12796.04 | 1393.47 | 2169.28 | 17.77 |
| 49 | Agostadero | 56.94 | 103.13 | 363 | Medio | 1.57 | 17729.17 | 1377.62 | 2319.36 | 21.81 |
| 50 | Soyotlán del Oro | 99.31 | 215.05 | 4365 | Medio | 1.90 | 23364.19 | 1391.04 | 2413.38 | 15.81 |
| 51 | Yerbabuena1 | 51.46 | 85.08 | 358 | Muy Bajo | 1.56 | 14064.13 | 1432.30 | 2363.00 | 23.83 |
| 52 | La Trinidad | 54.97 | 143.88 | 332 | Bajo | 1.28 | 14535.89 | 1435.04 | 2322.60 | 24.86 |
| 53 | Trigo de Alteñas | 40.03 | 65.72 | 137 | Bajo | 1.38 | 10226.42 | 1516.72 | 2581.77 | 32.19 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | T. de Concentración (min) | Curva Hipsométrica | Densidad de población | Densidad. de drenaje | Longitud de corrientes (km) | Densidad. hidrológica | Relación. de elongación |
|------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 42.584 | Joven | Baja | 1.95 | 58.69 | 1.87 | 0.68 |
| 2 | 50.140 | Madura | Muy Baja | 2.59 | 151.17 | 2.62 | 0.73 |
| 3 | 61.892 | Valle | Muy Baja | 2.09 | 76.98 | 1.63 | 0.54 |
| 4 | 46.747 | Joven | Muy Baja | 2.62 | 71.20 | 2.65 | 0.54 |
| 5 | 40.827 | Madura | Baja | 3.05 | 82.21 | 3.12 | 0.63 |
| 6 | 86.062 | Joven | Muy Baja | 2.72 | 414.02 | 2.96 | 0.75 |
| 7 | 71.310 | Joven | Muy Baja | 3.08 | 239.90 | 3.58 | 0.74 |
| 8 | 59.602 | Valle | Muy Baja | 2.65 | 117.81 | 2.67 | 0.63 |
| 9 | 31.732 | Valle | Muy Baja | 2.92 | 122.60 | 3.74 | 1.21 |
| 10 | 33.528 | Valle | Muy Baja | 2.81 | 70.27 | 3.16 | 0.96 |
| 11 | 63.220 | Valle | Alta | 2.59 | 125.79 | 2.86 | 0.76 |
| 12 | 61.846 | Valle | Muy Baja | 2.84 | 308.51 | 2.90 | 1.01 |
| 13 | 51.566 | Valle | Muy Baja | 2.43 | 19.66 | 1.48 | 0.50 |
| 14 | 72.357 | Valle | Alta | 1.67 | 166.72 | 1.59 | 0.83 |
| 15 | 38.149 | Valle | Baja | 2.40 | 11.30 | 1.91 | 0.55 |
| 16 | 98.991 | Valle | Muy Alta | 3.02 | 229.61 | 3.69 | 0.59 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | T. de Concentración (min) | Curva Hipsométrica | Densidad de población | Densidad. de drenaje | Longitud de corrientes (km) | Densidad. hidrológica | Relación. de elongación |
|------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 17 | 72.752 | Valle | Muy Baja | 2.4689 | 201.3332 | 1.3857 | 0.9328 |
| 18 | 97.984 | Valle | Media | 2.5944 | 136.3423 | 2.2264 | 0.4992 |
| 19 | 89.903 | Valle | Muy Baja | 2.8487 | 259.3073 | 3.1310 | 0.6100 |
| 20 | 101.150 | Joven | Muy Alta | 4.5345 | 268.8546 | 1.7709 | 0.5320 |
| 21 | 73.946 | Joven | Muy Baja | 3.2529 | 148.7385 | 4.3740 | 0.5291 |
| 22 | 68.609 | Madura | Muy Baja | 3.2445 | 258.1918 | 3.2672 | 0.7641 |
| 23 | 40.494 | Madura | Muy Baja | 3.1766 | 64.9179 | 3.7679 | 0.6722 |
| 24 | 138.866 | Valle | Baja | 3.5086 | 501.5909 | 2.5042 | 0.5595 |
| 25 | 31.653 | Madura | Muy Baja | 3.1431 | 52.4384 | 3.7162 | 0.8543 |
| 26 | 39.380 | Madura | Baja | 2.9768 | 57.0513 | 3.8611 | 0.7176 |
| 27 | 67.848 | Valle | Muy Baja | 3.1408 | 139.3881 | 4.2812 | 0.6692 |
| 28 | 65.059 | Valle | Muy Baja | 2.5335 | 134.1731 | 3.4555 | 0.7963 |
| 29 | 32.003 | Madura | Alta | 3.0450 | 29.0019 | 4.8297 | 0.8111 |
| 30 | 104.160 | Madura | Muy Baja | 3.0585 | 281.4748 | 3.9769 | 0.6035 |
| 31 | 118.050 | Valle | Alta | 3.8897 | 775.8277 | 2.1809 | 0.9881 |
| 32 | 61.686 | Madura | Muy Baja | 3.5148 | 209.0044 | 4.1705 | 0.7807 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | T. de Concentración (min) | Curva Hipsométrica | Densidad de población | Densidad. de drenaje | Longitud de corrientes (km) | Densidad. hidrológica | Relación. de elongación |
|------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 33 | 80.814 | Valle | Muy Baja | 2.9152 | 175.4650 | 3.7216 | 0.6476 |
| 34 | 80.755 | Madura | Muy Baja | 2.2200 | 167.6320 | 3.3903 | 0.7647 |
| 35 | 157.974 | Valle | Baja | 2.0214 | 297.5931 | 2.3298 | 0.6391 |
| 36 | 102.286 | Joven | Muy Baja | 2.8112 | 288.2190 | 2.9261 | 0.6722 |
| 37 | 52.392 | Madura | Muy Baja | 2.9236 | 79.3479 | 3.5003 | 0.6475 |
| 38 | 50.140 | Valle | Muy Baja | 2.0535 | 14.6474 | 1.1216 | 0.6378 |
| 39 | 147.691 | Madura | Muy Baja | 2.5511 | 230.0493 | 2.9942 | 0.4910 |
| 40 | 54.094 | Madura | Muy Baja | 1.3294 | 24.5649 | 0.8659 | 0.6886 |
| 41 | 66.777 | Valle | Baja | 1.9445 | 48.9586 | 2.0256 | 0.5793 |
| 42 | 136.373 | Madura | Baja | 1.0809 | 53.0663 | 0.9166 | 0.5004 |
| 43 | 172.371 | Valle | Alta | 1.6398 | 276.4710 | 1.8446 | 0.5861 |
| 44 | 98.801 | Madura | Muy Baja | 2.6452 | 280.7862 | 3.2502 | 0.7703 |
| 45 | 107.416 | Valle | Muy Alta | 2.3604 | 174.3897 | 2.5447 | 0.5835 |
| 46 | 72.434 | Valle | Muy Baja | 2.1313 | 111.7573 | 2.2885 | 0.6902 |
| 47 | 80.078 | Valle | Muy Baja | 1.0425 | 52.2737 | 1.1368 | 0.7960 |

Cuadro 14. Continuación.

| Núm. | T. de Concentración (min) | Curva Hipsométrica | Densidad de población | Densidad. de drenaje | Longitud de corrientes (km) | Densidad. hidrológica | Relación. de elongación |
|------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 48 | 81.585 | Valle | Muy Baja | 2.2823 | 121.4571 | 2.1422 | 0.6433 |
| 49 | 110.169 | Madura | Muy Baja | 2.4117 | 248.7171 | 2.7151 | 0.6463 |
| 50 | 146.612 | Madura | Baja | 2.1939 | 471.7938 | 2.2925 | 0.7082 |
| 51 | 84.794 | Valle | Muy Baja | 3.0024 | 255.4444 | 4.2430 | 0.7401 |
| 52 | 89.698 | Madura | Muy Baja | 2.5710 | 369.9230 | 2.9191 | 0.9312 |
| 53 | 55.805 | Valle | Muy Baja | 3.4962 | 229.7550 | 4.7021 | 0.8945 |

6.3.1. Obtención de coberturas digitales.

La pendiente tiene una importante relación con la infiltración, escurrimientos superficiales y determina o condiciona el uso del suelo, en este caso la imagen de rangos de pendiente se caracteriza por clasificar el terreno según el grado de pendiente (Díaz et al. 2008). La topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las practicas de control de la erosión, causa un aumento de la velocidad de escorrentía y con ello la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía aumentando su volumen, además las áreas con pendientes fuertes se presentan menores potencialidades en el uso agrícola debido a las limitaciones del uso de maquinaria, profundidad del suelo y sistemas de riego para prácticas agrícolas (FAO 2000).

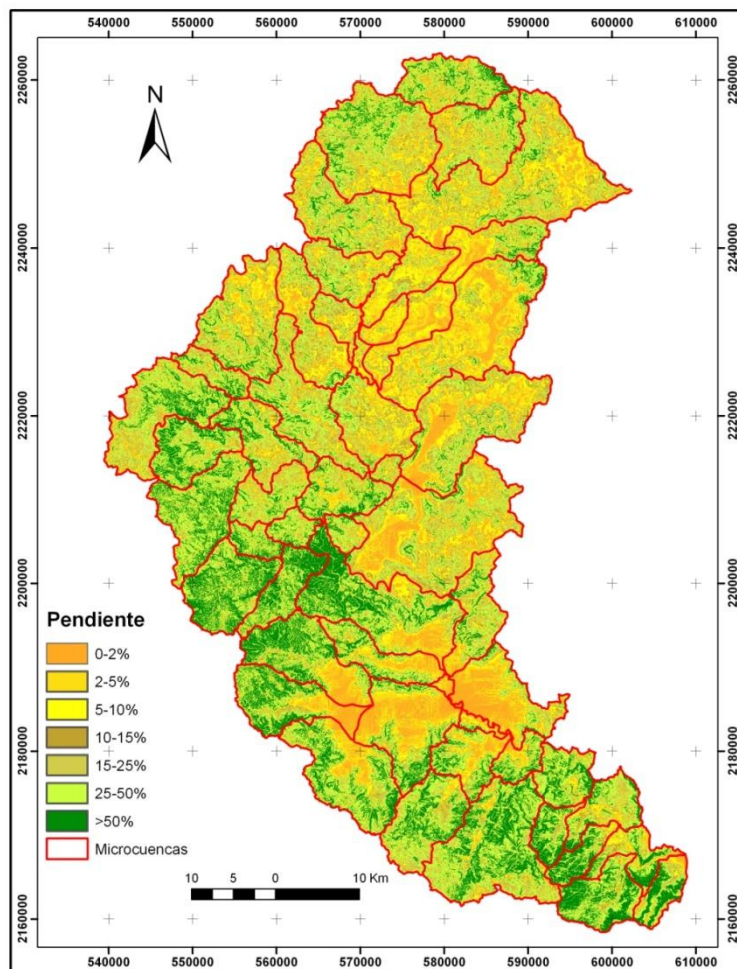


Figura. 3. Rangos de pendiente para las microcuencas hidrográficas.

Otro parámetro que tiene que ver con la topografía y el escurrimiento es la curva hipsométrica, en base a lo anterior este parámetro predice las diferentes etapas evolutivas que presenta una determinada cuenca (valle, madura y joven), además de las etapas del ciclo erosivo. En este sentido en la siguiente figura se muestra la ubicación de las diferentes etapas evolutivas destacando la concentración de microcuencas de valle en la parte media suponiendo una mayor interacción de la población con los recursos (agua, suelo y vegetación) por otro lado, las microcuencas con ciclo geológico joven y madura se encuentran prácticamente en áreas con topografía montañosa

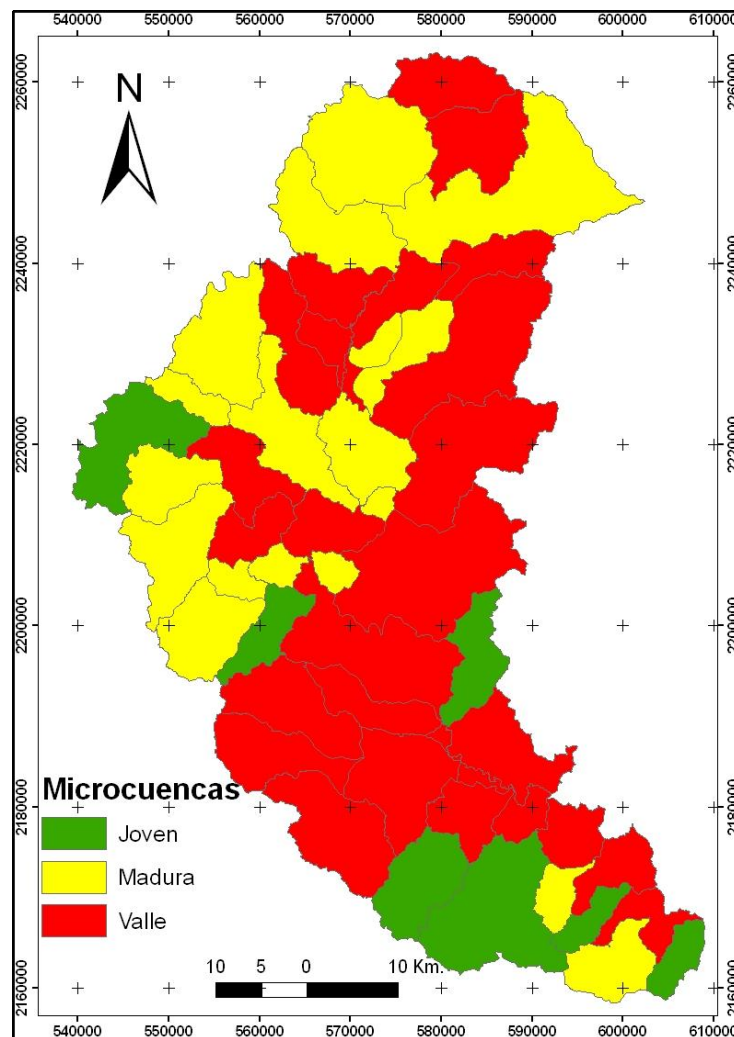


Figura 4. Curva hipsométrica por microcuenca característica del ciclo erosivo y del tipo de cuenca.

El resultado de este análisis arroja que del total de las 53 microcuencas, 7 se encuentran en estado de desequilibrio donde se interpreta como una cuenca geológicamente joven con una alta presencia de actividad erosiva basada principalmente en la presencia de altas pendientes. Las consecuentes 18 microcuencas se encuentran en estado de equilibrio o como una cuenca geológicamente madura o cuenca de pie de monte y finalmente 28 microcuencas se caracterizan como cuencas de valle o erosionadas refiriéndose a la presencia del proceso erosivo y donde se encuentra la mayor concentración de la población dentro de la subcuenca del río Ayuquila (Fig. 5).

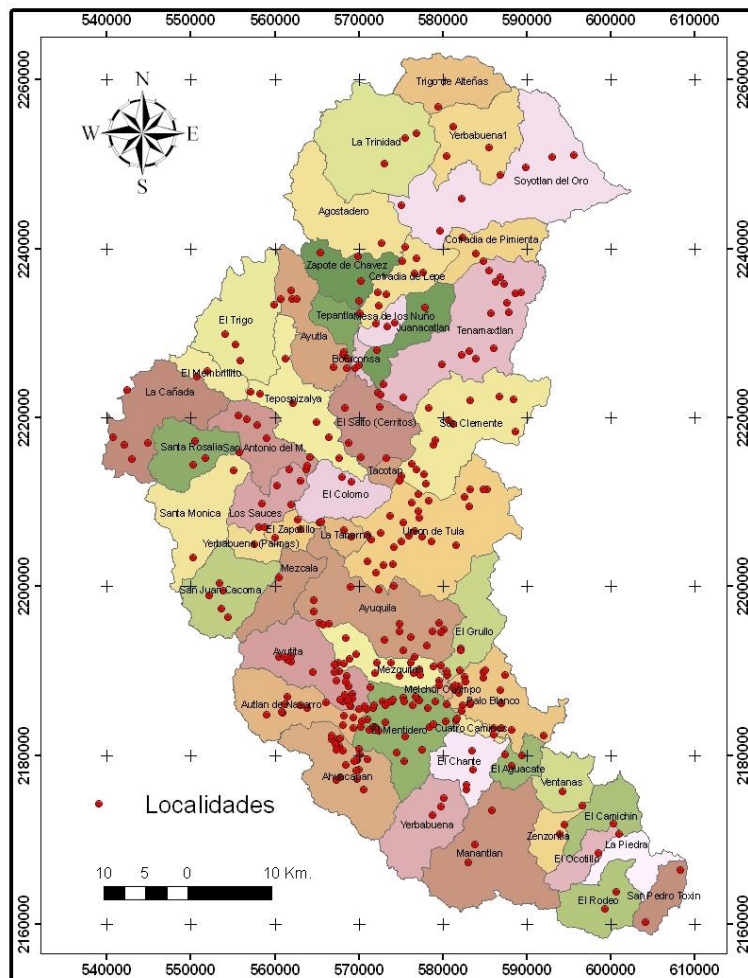


Figura 5. Mapa representativo de las localidades dentro de cada microcuenca.

Las mayores concentraciones de poblaciones a simple vista se observa en la parte media de la subcuenca del río Ayuquila (Fig. 5), donde las microcuencas que se consideran presentan una población superior a las demás como en Autlán de Navarro

con una población aproximada de 42,396 y El Grullo con una población de 19,385 personas. Cabe mencionar que en estas microcuencas sucede la principal actividad económica dentro de la subcuenca en estudio y es donde existe todo un sistema de canales de riego para aprovechar el agua del río Ayuquila.

La densidad de población (*Fig. 6*) para cada microcuenca fue determinante para conocer que cuencas sostienen a las mayores concentraciones de población, como uno de los elementos para determinar que sistemas hídricos se encuentran sometidos a una mayor presión antropogénica.

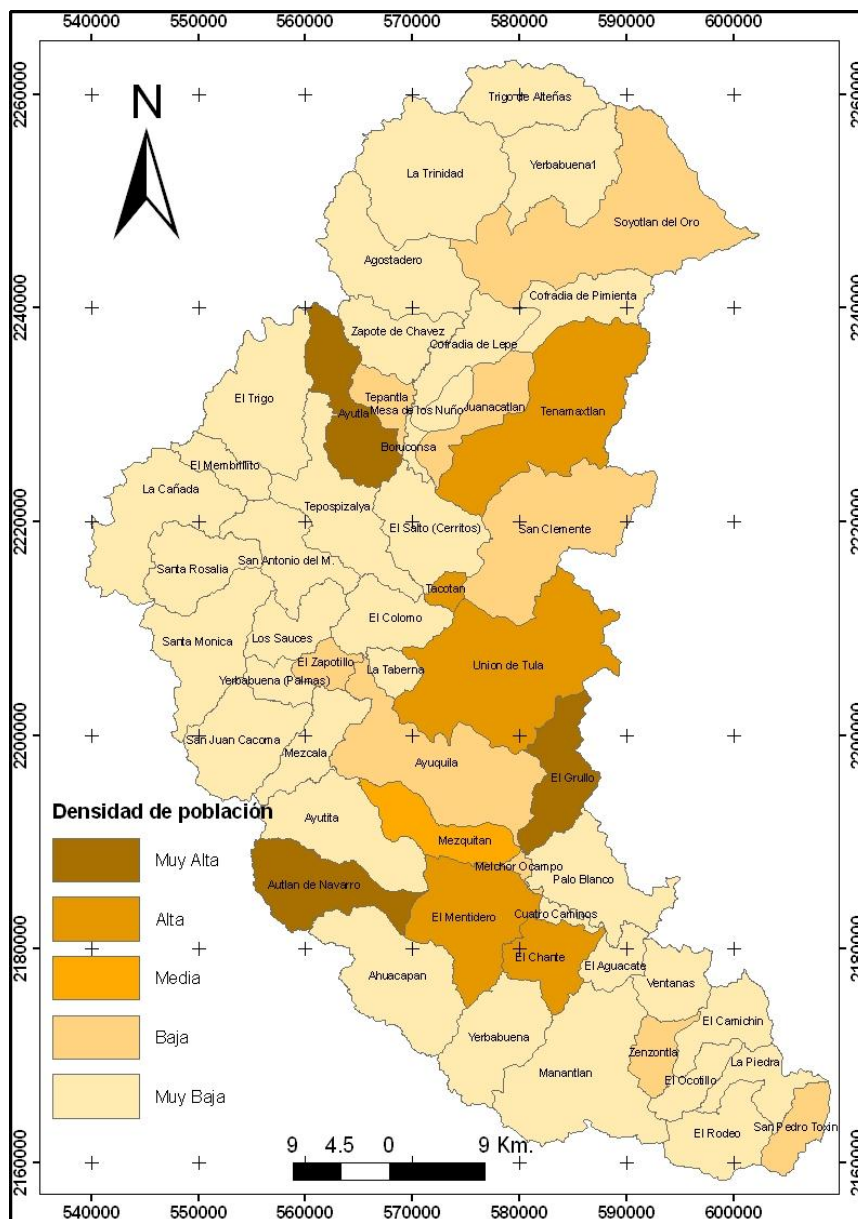


Figura 6. Densidad de población por microcuencas

En contraste a lo anterior, el índice de marginación por microcuena tiene un patrón contraria a la densidad de población ya que es una de las múltiples expresiones de un bajo nivel de desarrollo humano de las microcuenas y establece una estrecha relación con otros indicadores sociodemográficos que de alguna manera inciden sobre las condiciones de vida de la población. Cabe mencionar que la identificación de microcuenas con un grado de vulnerabilidad social puede ayudar a definir estrategias integrales a los tomadores de decisiones para disminuir los diferentes rezagos sociales de los habitantes.

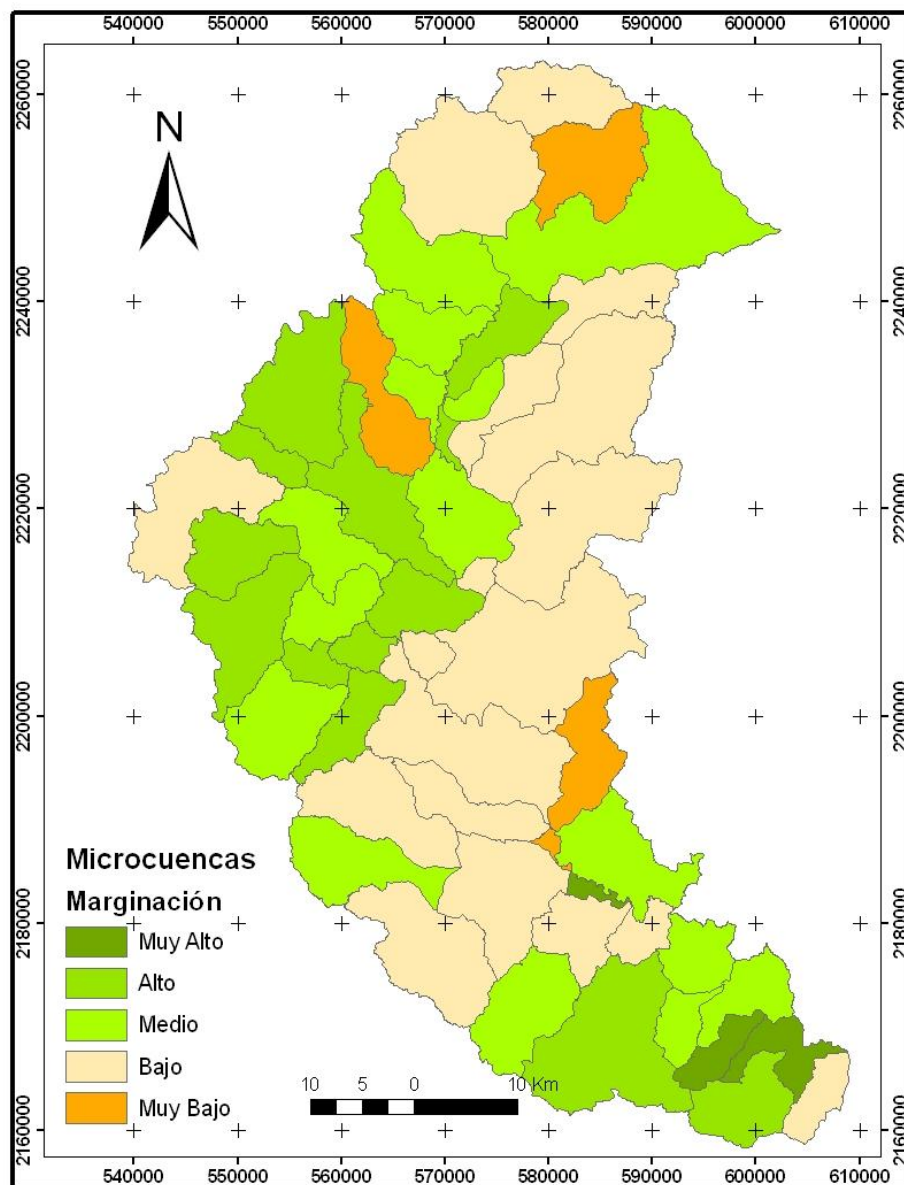


Figura 7. Mapa representativo de la marginación por microcuena.

6.4. Análisis de aptitud hidrológica.

Con base a la información de las coberturas anteriormente descritas se formularon criterios hidrológicos para el análisis de aptitud, donde se pretende conocer y dar una visión del comportamiento hidrológico. Primeramente se dispuso realizar dos formas de aptitud hidrológica una el enfoque de conservación y otra con el de aprovechamiento, para realizarlo se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) (INESEMARNAT 2004).

La unidad de gestión dentro de la subcuenca del río Ayuquila la microcuenca donde se obtuvo un nivel de aptitud tanto de conservación como de aprovechamiento para cada una de ellas.

6.4.1 Análisis de Aptitud de conservación hidrológica.

Dentro de este apartado se planteó ver la capacidad de cada microcuenca dependiendo de sus características físicas en conservar el agua en área de influencia, para esto se seleccionaron los siguientes criterios medibles o cartografiables:

Cuadro 15. Definición de criterios para determinar la aptitud hidrológica.

| Criterio | Definición | Escala |
|-------------------------|------------------------------|-------------|
| Vegetación | Vegetación natural/antrópica | Categoría |
| Marginación | Nivel de desarrollo | Rangos |
| Erosión | Erosión actual | Rangos |
| Calidad del agua | Deforestación | Microcuenca |
| Puntos de contaminación | Erosión actual | Microcuenca |
| Densidad de población | Habitantes/km ² | Rangos |
| Uso del suelo | Drenaje | Rangos |

Después de realizar la selección de criterios útiles para obtener los mapas de aptitud hidrológica. Se jerarquizan por orden de importancia ya que desde el punto de vista de conservación y aprovechamiento hidrológico los criterios seleccionados anteriormente no tienen la misma importancia entre ellos, en la siguiente tabla se muestran los atributos con la preferencia aplicada para cada uno de ellos.

Cuadro 16. Criterios organizados en escala de acuerdo con su nivel de importancia de aptitud de conservación.

| Criterios | Importancia |
|-------------------------|-------------|
| Vegetación | 1 (A) |
| Marginación | 2 (B) |
| Erosión | 3 (C) |
| Calidad del agua | 4 (D) |
| Puntos de contaminación | 5 (E) |
| Densidad de población | 6 (F) |
| Uso del suelo | 7 (G) |

La importancia de los criterios para obtener la aptitud hidrológica se basa en la utilización de aquellos atributos que favorecen o condicionan la conservación del agua, en este sentido las características que se tomaron en cuenta son la cobertura vegetal de bosque y selvas como atributos más importantes, decreciendo su importancia en aquellas características físicas desfavorables para la obtención de la aptitud con enfoque de conservación como lo es las áreas de agricultura así como la zonas urbanas.

Por otro lado, los atributos que nos indican una relación menor de las personas con el medio natural o aquellas áreas donde existe un bajo nivel de desarrollo se tomaron en cuenta como características importantes para determinar la conservación del agua en una determinada área o microcuenca. Otras características que los atributos que se toman en cuenta y que se presentan en alguno de los criterios es la condición del agua

con buena calidad ya que estas condicionantes manifiestan áreas con atributos favorables para conservar el agua.

En consecuencia, se llevó a cabo la matriz de comparaciones pareadas (sumatoria por columna) para los criterios organizados en orden de importancia, esta matriz se realizó con ayuda de la escala para valorar la preferencia entre criterios (*Cuadro 3*). La obtención de los pesos para los criterios seleccionados y así obtener los mapas de aptitud hidrológica con fines de conservación fue el siguiente paso dentro del PAJ, en consideración a esto se presentan los valores dentro del cuadro 17.

Cuadro 17. Peso de los criterios para el análisis de aptitud hidrológica con enfoque de conservación.

| | A | B | C | D | E | F | G | Suma | Pesos |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A | 0,3518 | 0,5505 | 0,3141 | 0,3944 | 0,1758 | 0,1915 | 0,2121 | 2,1902 | 0,3129 |
| B | 0,1173 | 0,1835 | 0,3141 | 0,3156 | 0,2637 | 0,1596 | 0,1818 | 1,5356 | 0,2194 |
| C | 0,1759 | 0,0917 | 0,1571 | 0,1578 | 0,1758 | 0,1915 | 0,1515 | 1,1013 | 0,1573 |
| D | 0,0704 | 0,0459 | 0,0785 | 0,0789 | 0,2637 | 0,1596 | 0,2121 | 0,9091 | 0,1299 |
| E | 0,1759 | 0,0612 | 0,0785 | 0,0263 | 0,0879 | 0,2553 | 0,1212 | 0,8063 | 0,1152 |
| F | 0,0586 | 0,0367 | 0,0262 | 0,0158 | 0,0110 | 0,0319 | 0,0909 | 0,2711 | 0,0387 |
| G | 0,0503 | 0,0306 | 0,0314 | 0,0113 | 0,0220 | 0,0106 | 0,0303 | 0,1864 | 0,0266 |
| Σ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 1 |

Enseguida se obtuvo la proporción de consistencia de las comparaciones pareadas (matriz), indicando la consistencia o inconsistencia de la ponderación de los criterios basada en un valor estándar de 0.10, se pueden obtener valores inferiores indicando niveles de consistencia de las comparaciones pareadas por lo contrario valores superiores al valor estándar indicara inconsistencia.

Para este estudio sobre análisis de aptitud hidrológica para la conservación el valor obtenido es de 0.099, indicando consistencia en el orden de importancia de los criterios. Finalizando el Proceso Analítico Jerárquico (peso de criterios) se elaboraron

las coberturas digitales en formato raster para cada uno de los atributos (criterios) para posteriormente normalizarlos con valores de 0 a 1. La normalización se basa en la aplicación de la fórmula del PAJ presentada y descrita en la parte de metodología.

Los atributos de los criterios tratan de demostrar la presencia o falta de cobertura vegetal dentro de la subcuenca así como la alta densidad de población como influencia hacia los recursos naturales. Es esencial en estos casos presentar características de calidad de agua y generación de contaminación en cada una de las microcuencas para determinar el grado de aptitud de conservación ya que la contaminación del agua se puede mencionar como un producto en cierta medida de los suelos erosionados sin embargo la influencia de los habitantes de un determinado lugar aceleraran el proceso por el aumento constante en cantidad de desechos.

Debido a la sumatoria de las coberturas normalizadas de cada uno de los criterios el resultado del análisis de aptitud de conservación hidrológica muestra que la subcuenca del río Ayuquila se observa una aptitud muy baja en la parte media debido tal vez a una alta población existente dentro de esta zona como lo demuestran las figuras 6 y 7 que se puede mencionar como una influencia negativa hacia los recursos naturales (agua, suelo y vegetación). Además, existe una gran actividad antrópica como lo es la agricultura intensiva con alta disposición de agua proveniente del río Ayuquila (Medellín 2002)

Esta baja aptitud se extiende en algunas zonas hacia el noreste en terrenos con poca pendiente definidas como valles. Entonces se presenta la imagen característica de la aptitud de conservación obtenida mediante la suma de los diferentes atributos anteriormente mencionados y que contribuyen a describir de una manera específica el comportamiento hidrológico de la subcuenca del río Ayuquila.

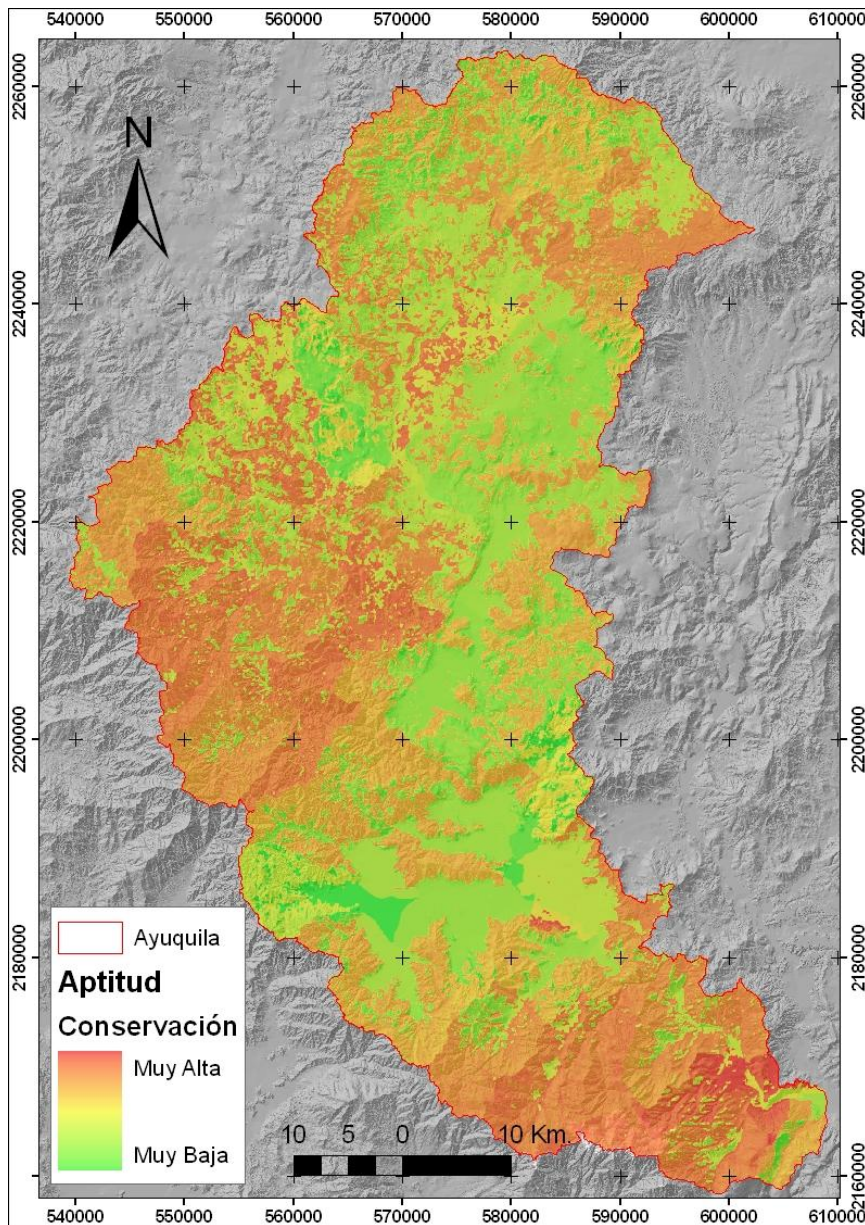


Figura 8. Imagen de aptitud de conservación hidrológica de la subcuenca del río Ayuquila.

Posteriormente se obtiene la imagen de aptitud de conservación hidrológica por microcuencas (Fig. 9), lo que da como resultado la capacidad de cada una de las microcuencas que dan forma a la subcuenca del río Ayuquila para conservar el recurso hidrológico. Con base en lo anterior se puede mencionar que la parte sur, noroeste y norte en menor proporción presentan una muy alta aptitud de conservación hidrológica. Cabe mencionar que la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán encierra algunas

microcuencas con muy alta aptitud de conservación ubicadas en la zona sur de la subcuenca del río Ayuquila.

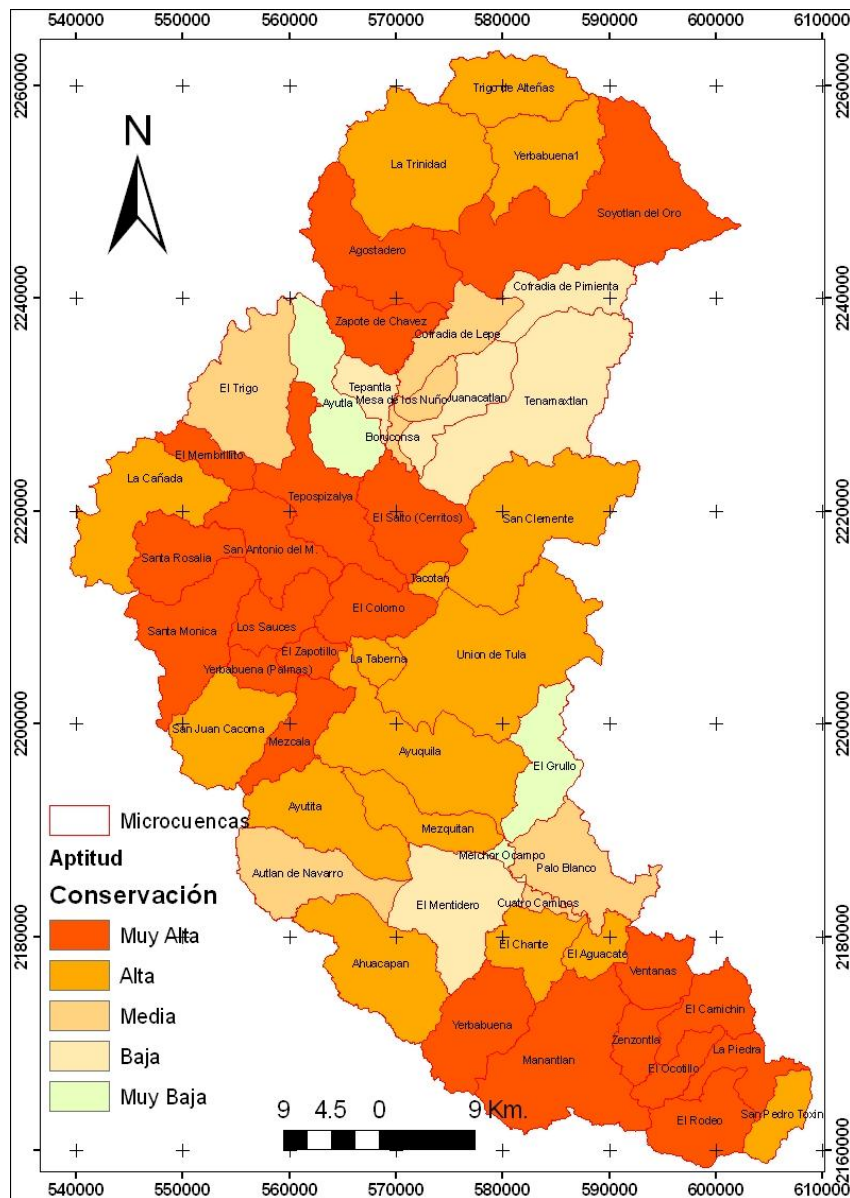


Figura 9. Aptitud de conservación hidrológica basada en microcuencas.

Las microcuencas con muy alta aptitud son 22 de las cuales se puede mencionar algunas como Manantlán, Zenzontla, el Rodeo (zona sur) por mencionar algunas, para la calificación de alta se encuentran 16 microcuencas de las cuales se encuentran San Juan Cacoma, el Aguacate, San Pedro Toxín y el Chante. Los rangos anteriores manifiestan una estructura (suelo, vegetación) bien definida con una

interacción con la población muy reducida según el grado de marginación y densidad de población además, la generación de puntos de contaminación se reduce por lo que la calidad del agua también se presenta en condiciones adecuadas ya sea referente a demanda bioquímica de oxígeno (CNA 2007).

Por otro lado, el uso del suelo para la agricultura se presenta muy poco ya que existen condiciones limitantes para la práctica antropogénica como por ejemplo la presencia de pendientes, como suelos poco profundos pero con capacidad para cosechar agua de lluvia mediante una cobertura vegetal con importante. En cuanto a la aptitud media se encuentran siete microcuencas de las cuales se pueden mencionar Autlán de Navarro, Palo Blanco y Cuatro Caminos. Estas microcuencas manifiestan una paridad entre las condiciones ideales de conservación hidrológica y las actividades antrópicas como la agricultura o la influencia de la población con los recursos naturales además, los pesos de los criterios pueden marcar diferencia en cuanto a la posición en la clasificación final. Finalmente en la categoría de baja aptitud se encuentran cinco microcuencas las cuales son Tenamaxtlan, Juanacatlan, Tepantla, el Mentidero y Cofradía de Pimienta. Para la categoría de muy baja aptitud de conservación se encuentran tres microcuencas las cuales son El Grullo, Ayutla y Melchor Ocampo; en consideración a lo anterior, estas microcuencas poseen poca cobertura vegetal y por consiguiente gran actividad antropogénica por el aumento de la población por kilómetro cuadrado lo que provoca deterioro de la calidad del agua así como el incremento de los puntos de contaminación.

6.4.2. Análisis de aptitud de aprovechamiento hidrológico.

Para este apartado las coberturas o atributos seleccionados para su análisis son los empleados dentro del análisis de aptitud de conservación solamente no fue empleado el criterio relacionado a la cobertura vegetal. La normalización se llevó a cabo igualmente con rango de valores de 0 a 1 para cada atributo. Los criterios se usaron para favorecer el desarrollo del objetivo de aprovechamiento donde se busca encontrar las microcuencas que son aptas para cumplir con dicho objetivo planteado para lo anterior se presentan los criterios en orden de preferencia uno con respecto al otro.

Cuadro 18. Criterios organizados en una escala de acuerdo con su nivel de importancia de aptitud de aprovechamiento.

| Criterios | Importancia |
|-------------------------|-------------|
| Uso de suelo | 1 (A) |
| Densidad de población | 2 (B) |
| Marginación | 3 (C) |
| Erosión | 4 (D) |
| Calidad de agua | 5 (E) |
| Puntos de contaminación | 6 (F) |

La importancia de los criterios se basa en la utilización de los atributos que favorezcan o condicionen áreas o microcuencas con aprovechamiento hidrológico, en base a esto se planteo la utilización de características como agricultura, bordos y presas como aquellos atributos más importantes, tomando en cuenta con una menor importancia los bosque selvas y matorrales característicos de infiltración constante y un decreciente escurrimiento superficial. En consideración al aprovechamiento hidrológico los atributos se localizan en zonas funcionales de valles y planicies como receptoras del escurrimiento superficial. Por otro lado, las condiciones de calidad de agua se ven reflejadas por el aprovechamiento del recurso hidrológico ya sea para uso agrícola, industrial o urbano lo que significa un factor limitante dentro de este análisis de aptitud hidrológico

Retomando la metodología del PAJ se generó la matriz de comparaciones pareadas donde se utiliza el proceso metodológico del cuadro 3, para describir y valorar la preferencia entre criterios seleccionados para el análisis de aptitud hidrológica aprovechamiento y por lo tanto un requisito del proceso analítico jerárquico.

Después de la matriz de comparaciones pareadas se obtiene los pesos de los criterios jerarquizados por orden de importancia. Donde se busca normalizarlos con valores de 0 a 1 para posteriormente multiplicar las coberturas resultantes de la normalización con los pesos de los criterios obtenidos.

Cuadro 19. Peso de los criterios para el análisis de aptitud hidrológica con un enfoque de aprovechamiento.

| | A | B | C | D | E | F | Suma | Pesos |
|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A | 0,3158 | 0,4138 | 0,3380 | 0,3051 | 0,2250 | 0,1429 | 1,7406 | 0,2901 |
| B | 0,1579 | 0,2069 | 0,3380 | 0,2034 | 0,1500 | 0,2143 | 1,2705 | 0,2117 |
| C | 0,1579 | 0,1034 | 0,1690 | 0,3051 | 0,3000 | 0,2143 | 1,2497 | 0,2083 |
| D | 0,1053 | 0,1034 | 0,0563 | 0,1017 | 0,2250 | 0,1429 | 0,7346 | 0,1224 |
| E | 0,1053 | 0,1034 | 0,0423 | 0,0339 | 0,0750 | 0,2143 | 0,5741 | 0,0957 |
| F | 0,1579 | 0,0690 | 0,0563 | 0,0508 | 0,0250 | 0,0714 | 0,4305 | 0,0717 |
| Σ | 1 | 1 | 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Un requisito importante dentro del Proceso Analítico Jerárquico es la estimación de la consistencia de las comparaciones pareadas esto, basado en la jerarquización por orden de importancia de los criterios, el índice evalúa valores inferiores del 0.10 indicando niveles razonables de consistencia de las comparaciones pareadas por lo contrario valores superiores que indican inconsistencia en la valoración de las preferencia entre criterios. En base a lo anterior el valor obtenido es de 0.085 indicando consistencia en la valoración de los criterios.

El proceso analítico jerárquico termina con la determinación de la proporción de consistencia por lo que se inicia la normalización de cada uno de los criterios utilizados dentro de este análisis. Después de haber obtenido la normalización de las coberturas en formato raster se multiplicaron por los pesos obtenidos en el PAJ (pesos), después se sumaron las coberturas obteniendo así la imagen de aptitud hidrológica de aprovechamiento (Fig. 10). Las diferentes coberturas utilizadas describen las zonas susceptibles al aprovechamiento del agua como las áreas agrícolas así como poblaciones con un mayor número de habitantes y poca marginalidad, entonces se puede decir que este procedimiento sirve para confirmar los territorios con el mayor aptitud de aprovechamiento del recurso hidrológico. La figura describe áreas aptas para el aprovechamiento del recurso hidrológico principalmente en zonas con poca pendiente y en unidades fisiográficas de valles como receptoras del escurrimiento superficial siendo de vital importancia la buena condición de las partes altas, lo contrario sucede en zonas

con mucha pendiente (como factor limitante) característico de las partes de montaña y donde el recurso no puede ser aprovechado ya que la lluvia es interceptada por la vegetación existente incrementando su infiltración y evapotranspiración por lo tanto la población que habita en zonas con estas características presenta problemas para su aprovechamiento. Justificando los comentarios anteriores se muestra la imagen originada mediante el proceso analítico jerárquico.

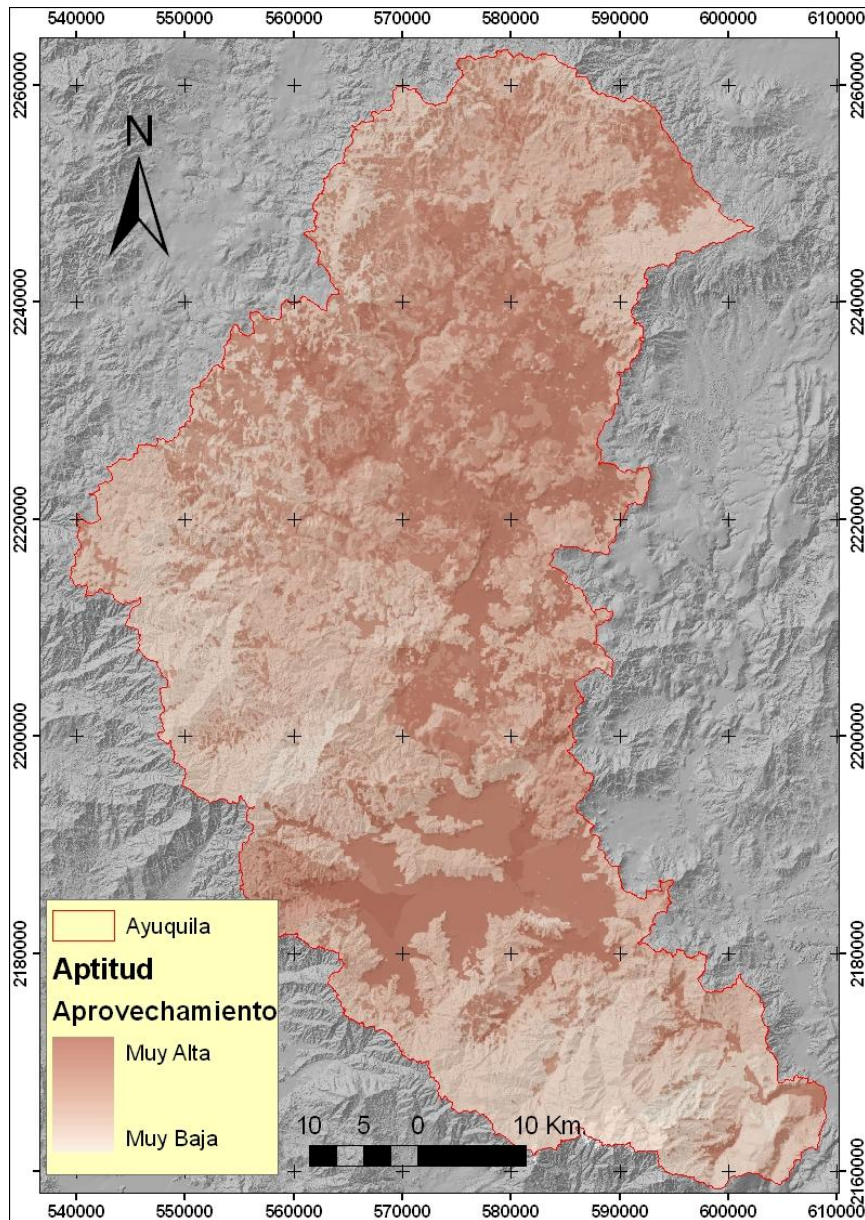


Figura 10. Aptitud hidrológica con un enfoque de aprovechamiento.

Finalmente para este apartado se obtuvo el mapa de aptitud de aprovechamiento pero por microcuencas delimitadas (*Fig. 11*) donde describen clasificaciones desde muy bajo asta muy alta aptitud. Aquella microcuencas que presenta la mayor clasificación de aptitud es Melchor Ocampo, 9 microcuencas con clasificación alta de las cuales se pueden mencionar como ejemplo Autlán de Navarro, Palo Blanco, El Mentidero y Unión de Tula. Las microcuencas que se encuentran dentro de estas clasificaciones de aptitud de aprovechamiento hidrológico describen aquellas áreas con características de un uso intensivo de agua para la agricultura principalmente al cultivo de la caña de azúcar y en menor medida para cultivos básicos. Estas microcuencas cumplen con ciertas características propicias como poca pendiente, suelos profundos desprovistos de vegetación y con una eficiente calidad del agua proveniente de las partes altas que presentan fuertes pendientes y vegetación densa.

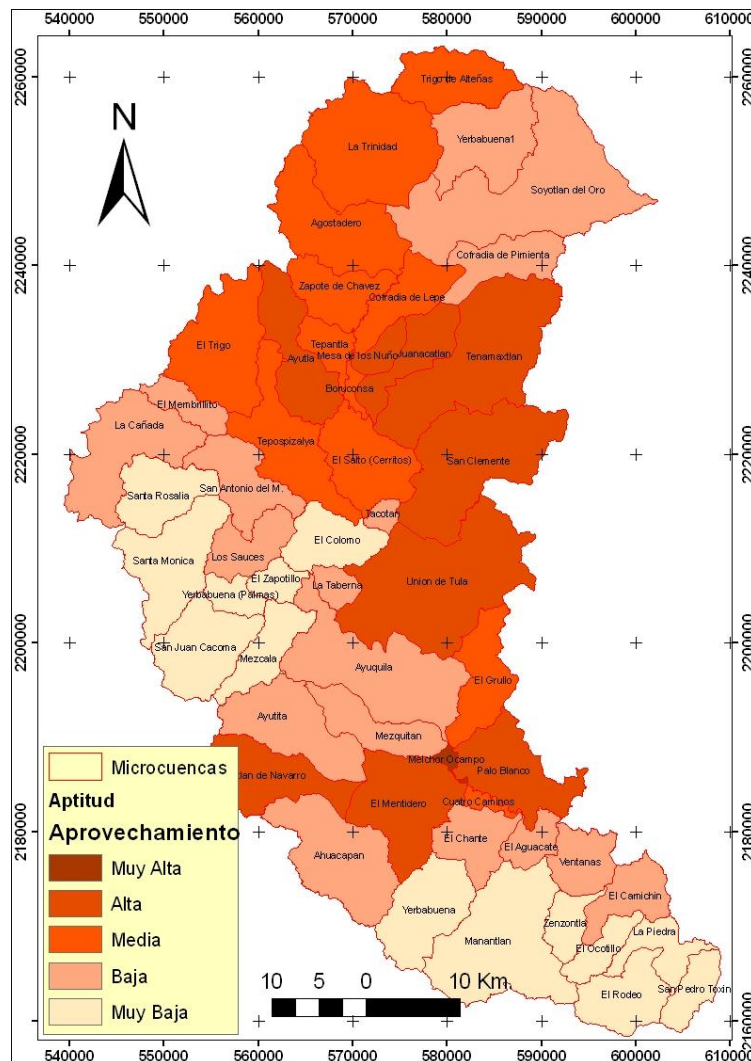


Figura 11. Clasificación de la aptitud de aprovechamiento por microcuenca.

Otra característica importante es la ubicación de la mayoría de las localidades y por lo tanto la mayoría de la población existente dentro de la subcuenca del río Ayuquila, estas características manifiestan la interacción fuerte con los recursos hidrológicos. En cuanto a la aptitud media se tienen 12 microcuencas de las cuales se pueden mencionar El Grullo, El Salto, Boruconsa, Cuatro caminos y la Trinidad, las características de cada una de las microcuencas se puede definir como una paridad entre suelos de valle o planos y suelos con pendientes fuertes. Cabe mencionar que estas microcuencas son influenciadas por los pesos de los criterios por lo que influye en una clasificación media.

Para la aptitud con clasificación baja se tienen 17 microcuencas como Ayuquila, La Taberna, Los Sauces y Soyotlán de Oro; en lo que se refiere a la aptitud muy baja se presentan 14 microcuencas de las cuales se pueden mencionar San Pedro Toxín, El Rodeo, Zenzontla, Manantlán y la Yerbabuena. Las clasificaciones manifiestan una estructura física escarpada con características de pendientes fuertes, suelos con poca estructura, poca influencia de la población hacia los recursos naturales pero con capacidad de infiltración como cosecha de agua para ser aprovechada por las microcuencas con aptitud alta a muy alta.

6.5. Priorización hidrológica por microcuenca.

6.5.1 Obtención de criterios de decisión basada en encuestas.

Después de la obtención del análisis de aptitud hidrológica que sirvió como base para determinar microcuencas con condiciones favorables para la capacidad de conservar o aprovechar el agua dentro de la subcuenca del río Ayuquila. Se procedió a obtener los criterios de priorización basados en la primera encuesta aplicada a los actores clave. Con base en lo anterior se procedió a obtener todos los criterios formulados por dichos actores, enseguida se consideró aquellos que se pudieran cartografiar y que existiera información para generar las coberturas digitales la cual generó una lista de 24 criterios aún sin ser jerarquizados por orden de importancia. Estos criterios son presentados dentro del cuadro siguiente.

Cuadro 20. Criterios formulados por actores clave dentro de la subcuenca

| NUMERO | CRITERIOS |
|--------|----------------------------|
| 1 | Zonas funcionales |
| 2 | Suelos |
| 3 | Zonas de recarga |
| 4 | Bordos y presas |
| 5 | Textura |
| 5 | Comisiones de cuenca |
| 6 | Áreas naturales protegidas |
| 7 | Geomorfología |
| 7 | Actividades antrópicas |
| 9 | Disponibilidad de agua |
| 9 | Red de drenaje |
| 10 | Pendiente |
| 11 | Servicios ambientales |
| 12 | Precipitación |
| 12 | Erosión |
| 12 | Balance hídrico |
| 17 | Densidad de población |
| 20 | Uso de suelo |
| 22 | Calidad de agua |
| 23 | Marginación |
| 24 | Cobertura vegetal |

Después de seleccionar la lista con las condiciones necesarias para ser cartografiados con la información existente. Tomando en cuenta que algunos de los parámetros se pueden resumir o depurar ya que algunos de ellos se encuentran dentro de otros criterios más completos como lo es la erosión, balance hídrico, zonas funcionales por mencionar algunos se considero reducir los 24 criterios obtenidos solamente 8 criterios pero con la capacidad de cubrir los restantes. Entonces la tabla de criterios queda finalmente de la siguiente manera:

Cuadro 21. Criterios finales de los actores para la priorización hidrológica.

| NUMERO | CRITERIOS |
|--------|----------------------------|
| 1 | Zonas funcionales |
| 2 | Áreas naturales protegidas |
| 3 | Disponibilidad de agua |
| 4 | Erosión |
| 5 | Balance hídrico |
| 6 | Densidad de población |
| 7 | Uso de suelo |
| 8 | Calidad de agua |

6.5.2 Jerarquización de criterios con enfoque de conservación y aprovechamiento.

Por otro lado y basados en la segunda encuesta aplicada a los actores clave, se obtuvo la jerarquización de los criterios. Estos criterios se jerarquizaron por orden de importancia y ordenados dependiendo de su objetivo el de conservación y aprovechamiento del agua. La lista jerárquica se muestra a continuación:

Cuadro 22. Criterios jerarquizados por orden de importancia

| CRITERIOS | CONSERVACIÓN | APROVECHAMIENTO |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|
| Zonas funcionales | 5 | 2 |
| Áreas naturales protegidas | 1 | 8 |
| Disponibilidad de agua | 2 | 1 |
| Erosión | 7 | 6 |
| Balance hídrico | 3 | 3 |
| Densidad de población | 8 | 7 |
| Uso de suelo | 6 | 5 |
| Calidad de agua | 4 | 4 |

6.5.3 Ponderación de criterios (evaluación multicriterio).

Para este apartado se procedió a ponderar los criterios jerarquizados por orden de importancia y presentados en los resultados anteriores dentro del capítulo de priorización hidrológica por microcuenca y donde estos criterios fueron obtenidos a partir de las encuestas mencionadas dentro del proceso metodológico de este estudio. Tomando en cuenta el método de clasificación para ponderar criterios jerarquizados en este caso por los actores clave dentro de la subcuenca del río Ayuquila se presentan los pesos correspondientes para cada criterio y enfoque u objetivo correspondiente.

Cuadro 23. Pesos de los criterios para cada enfoque basado en el método de clasificación

| CRITERIOS | CONSERVACIÓN | APROVECHAMIENTO |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------|
| Zonas funcionales | 0.0736 | 0.1840 |
| Áreas naturales protegidas | 0.3679 | 0.0460 |
| Disponibilidad de agua | 0.1840 | 0.3679 |
| Erosión | 0.0526 | 0.0613 |
| Balance hídrico | 0.1226 | 0.1226 |
| Densidad de población | 0.0460 | 0.0526 |
| Uso de suelo | 0.0613 | 0.0736 |
| Calidad de agua | 0.0920 | 0.0920 |

6.5.4. Evaluación de atributos.

Para la evaluación y valoración, primero se identificaron aquellos atributos que condicionan y favorecen la priorización hidrológica tanto objetivos de conservación como de aprovechamiento. Ya identificados se aplicaron valores de 1 a los atributos que cubren las características deseadas. Por el contrario para aquellos atributos que no

favorecen la priorización se les aplico el valor de 0. Esta categorización se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 24. Evaluación de atributos para la priorización hidrológica.

| CRITERIOS | Atributos (Valoración conservación, aprovechamiento) |
|----------------------------|--|
| Áreas Naturales Protegidas | Presencia y ausencia de ANP. (1, 0) |
| Densidad de población | <ol style="list-style-type: none"> 1. Muy Alta. (0, 1) 2. Alta. (0, 1) 3. Media. (0, 1) 4. Baja. (1, 0) 5. Muy Baja. (1, 0) |
| Balance hídrico | <ol style="list-style-type: none"> 1. Muy Alta. (1, 0) 2. Alta. (1, 0) 3. Media. (0, 0) 4. Baja. (0, 1) 5. Muy Baja. (0, 1) |
| Zonas funcionales | <ol style="list-style-type: none"> 1. Zona de cabecera. (1, 0) 2. Zona de transición. (0, 0) 3. Zona receptora. (0, 1) |
| Erosión | <ol style="list-style-type: none"> 1. Muy Alta. (0, 0) 2. Alta. (0, 0) 3. Media. (0, 0) 4. Baja. (cabecera 1, Transición y descarga 1) 5. Muy Baja. (Cabecera 1, Transición y descarga 1) |
| Calidad de agua | <ol style="list-style-type: none"> 1. Excelente. (1, 1) 2. Buena calidad. (1,1) 3. Aceptable. (0, 1) 4. Contaminada. (0, 0) 5. Fuertemente contaminada. (0, 0) |
| Disponibilidad de agua | <ol style="list-style-type: none"> 1. Muy Alta. (1, 1) 2. Alta. (1, 1) 3. Media. (0, 0) 4. Baja. (0, 0) 5. Muy Baja. (0, 0) |
| Uso de suelo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Bosques, selvas, matorrales. (1, 0) 2. Áreas agrícolas y cuerpos de agua. (0, 1) |

1. Áreas Naturales protegidas (ANP), son regiones con una gran riqueza florística, gran variedad de arboles, plantas, que debido a su importancia de biodiversidad son declaradas como Áreas Naturales Protegida (García 2005). Dentro de la subcuenca del Rio Ayuquila se manifiestan dos áreas naturales protegidas como lo es la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán ubicada al sur de la subcuenca del río Ayuquila su área está representada por 1395.3 kilómetros de los cuales 455.92 kilómetros forman parte de la subcuenca. La Sierra de Quila se encuentra ubicada al norte de la subcuenca del río Ayuquila identificada como son de protección forestal y refugio de fauna presenta un área de 441.6 Kilómetros de la cual 27.71 se encuentran dentro de la subcuenca. Los atributos para este criterio (ANP) que favorecen la priorización se consideran como la presencia de áreas naturales protegidas dentro de la subcuenca del río Ayuquila para el enfoque de conservación y contrariamente para el enfoque de aprovechamiento la ausencia de estas Áreas Naturales Protegidas.
2. Densidad de población, existe cada vez una mayor conciencia sobre la existencia limitada de los recursos hídricos. Se está consciente también de que por su disponibilidad en cantidad y calidad, los recursos hídricos varían marcadamente a lo largo del año, de año a año y de región a región, su uso en forma continua e indefinida no es posible (Coelho y Alegre 1988). Los atributos del criterio densidad de población con clasificación de baja a muy baja favorecen a la priorización con enfoque de conservación, por lo tanto la clasificación moderada a muy alta densidad de población son atributos que favorecen la priorización con enfoque de aprovechamiento.
3. Balance hídrico, tomándose como cobertura de infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. También no hay que olvidarse que la infiltración del agua posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud; lluvias de iguales intensidades pueden producir caudales diferentes, esto es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento superficial

(Estevez et al 2004). Para este criterio se toman en cuenta atributos que favorecen la conservación hidrológica la clasificación alta a muy alta infiltración y zonas con baja a muy baja infiltración para aquellos atributos que condicionen la priorización hidrológica con enfoque de aprovechamiento.

4. Zonas funcionales, la distribución de las unidades de paisaje en las zonas funcionales de la cuenca nos permite inferir la importancia de cada una de ellas para la obtención de servicios ambientales (tales como la recarga de agua), así como su fragilidad intrínseca y su vulnerabilidad ante la presión antrópica. Cada una de estas zonas funcionales juega un papel particular en el funcionamiento hidro-ecológico de la cuenca y presenta un grado de fragilidad diferente. La zona de cabecera constituye el área donde inician los cursos de agua. Esta función se logra cuando los suelos, generalmente bajo cubierta forestal, se saturan de agua fomentando la infiltración ante el escurrimiento. No está de más decir que la función de esta zona es vital para el funcionamiento de toda la cuenca y que dada las condiciones que requiere su funcionamiento, su fragilidad es elevada. La zona de captación-transporte, la más extensa, se caracteriza por ser la zona donde concurren los cursos de agua, transportando materiales, sedimentos y nutrientes. Finalmente, la zona de emisión, es la zona de recepción de los cursos de agua, que se encuentran en su estado más caudaloso y dado el relieve, con menor energía. En la zona de cabecera, cuya función esencial constituye la recarga de los acuíferos y de los cursos de agua predomina la erosión hídrica de suelos. Este proceso involucra la pérdida de materia orgánica, partículas finas y la destrucción de agregados de la superficie del suelo, lo que ocasiona una disminución de la capacidad de infiltración, determinando un mayor escurrimiento superficial (Cotler y Priego 2004). La manera de evaluar los atributos corresponde coberturas con las áreas de cabecera con potencial de favorecer la priorización para la conservación hídrica y coberturas de aquellos atributos que favorezcan la priorización para el aprovechamiento del agua en este caso tomando en cuenta a las zonas receptoras o de planicie.
5. Erosión, de manera muy localizada, en las tres zonas funcionales se presentan problemas de erosión eólica, especialmente en aquellos suelos que se encuentran desprovistos de vegetación (en descanso o barbecho) durante los meses con mayor erosividad eólica (marzo a mayo). También a lo largo de la

cuenca, en piedemonte y laderas, especialmente con coberturas de pastos y matorrales, que pueden ser utilizados para el pastoreo extensivo, se presentan cárcavas. Estas complejas formas de erosión son afectadas por múltiples factores y procesos. En este caso las clasificaciones de baja a muy baja erosión en zonas de cabecera se tomaron como atributos que favorecen la priorización hidrológica con fines de conservación y la clasificación de baja a muy baja en zonas de transición y descarga como atributos con prioridad de aprovechamiento del agua.

6. Calidad de agua, se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal (fuente: http://74.125.155.132/search?q=cache:TtWMH_QL3N4J:www.cec.org/) Los atributos de este criterio se evaluaron tomando en cuenta aquellas zonas que presentan una excelente calidad de agua (no contaminada), y con condiciones excelentes y de buena calidad para el uso en el riego agrícola como actividad antrópica donde la finalidad es el aprovechamiento del agua.
7. Disponibilidad de agua, Para este criterio se utilizo la cobertura de aptitud hidrológica (conservación y aprovechamiento) donde se muestran áreas con potencial alta a muy alta clasificación para conservar el agua y zonas con alta a muy alta aptitud de aprovechamiento.
8. Uso de suelo, el recurso hídrico está considerado como un bien esencial en el crecimiento económico y desarrollo social de las naciones. Los bosques y sistemas agroforestales juegan un papel muy importante en la regulación del flujo y la calidad del agua. En este contexto, los atributos que favorecen la priorización del agua con fines de conservación se toman los diferentes tipos de vegetación existente en la subcuenca por el contrario los atributos de áreas agrícolas y cuerpos de agua se tomaron como características que favorecen la priorización hidrológica para el aprovechamiento del agua.

En los cuadros siguientes se presentan los atributos finales tomados en cuenta para el análisis de priorización.

Tabla 25. Criterios con enfoque de conservación y clasificación de priorización.

| Conservación | Atributos que favorecen la priorización |
|-----------------------------------|--|
| Áreas naturales protegidas | Presencia de áreas protegidas |
| Densidad de población | Densidad baja a muy baja. |
| Balance hídrico | Zonas con alta a muy alta infiltración |
| Zonas funcionales | Áreas de cabecera |
| Erosión | Zonas de cabecera con baja a muy abaja erosión |
| Calidad de agua | Zonas con excelente calidad de agua |
| Disponibilidad de agua | Zonas de alta a muy alta aptitud para conservación |

Tabla 26. Criterios con enfoque de aprovechamiento y clasificación de priorización.

| Aprovechamiento | Atributos que favorecen la priorización |
|-------------------------------|--|
| Uso de suelo | Áreas agrícolas, bordos y presas |
| disponibilidad de agua | Zonas de aptitud alta a muy alta de aprovechamiento |
| Balance hídrico | Zonas de baja a muy baja infiltración |
| Calidad de agua | Zonas de calidad de agua para uso agrícola |
| Erosión | Zonas de transición-descarga con baja a muy baja erosión |
| Densidad de población | Zonas con moderada a muy alta densidad de población |
| Zonas funcionales | Zonas receptoras o de planicie |

6.5.5. Obtención de las coberturas de priorización.

Después de la evaluación de los atributos y valorizarlos con 0 y 1, se multiplico cada una de las coberturas digitales por el peso obtenido del método de clasificación (multicriterio). A continuación se presentan las figuras correspondientes a las coberturas de priorización hidrológica con los enfoques de conservación y aprovechamiento:

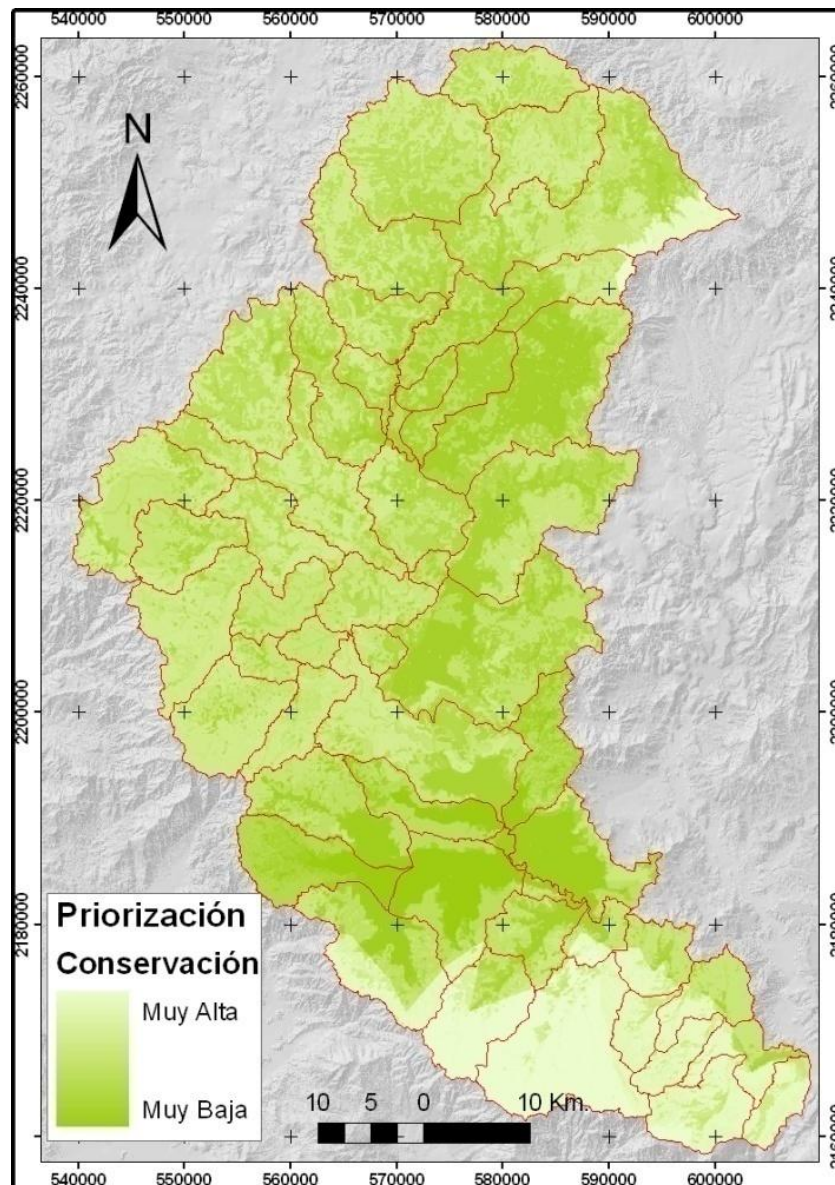


Figura 12 Imagen raster de priorización hidrológica para conservación.

En la figura anterior, se observan las áreas con muy alta prioridad para conservar el agua indicando la presencia de características propicias para conservar el agua (Zonas claras) y se ubican en la parte baja de la subcuenca. Por el contrario, aquellas áreas con características no confiables para priorizar la conservación se presentan en colores más densos donde se encuentran principalmente en zonas planas. Por otro lado, dentro de la figura 13 las áreas con condiciones de mayor prioridad para aprovechar el agua se ubican en la parte media dentro de los colores más claros, estas zonas representan las áreas receptoras (valles) de los escurrimientos superficiales que se originan en la parte alta o zonas de cabecera.

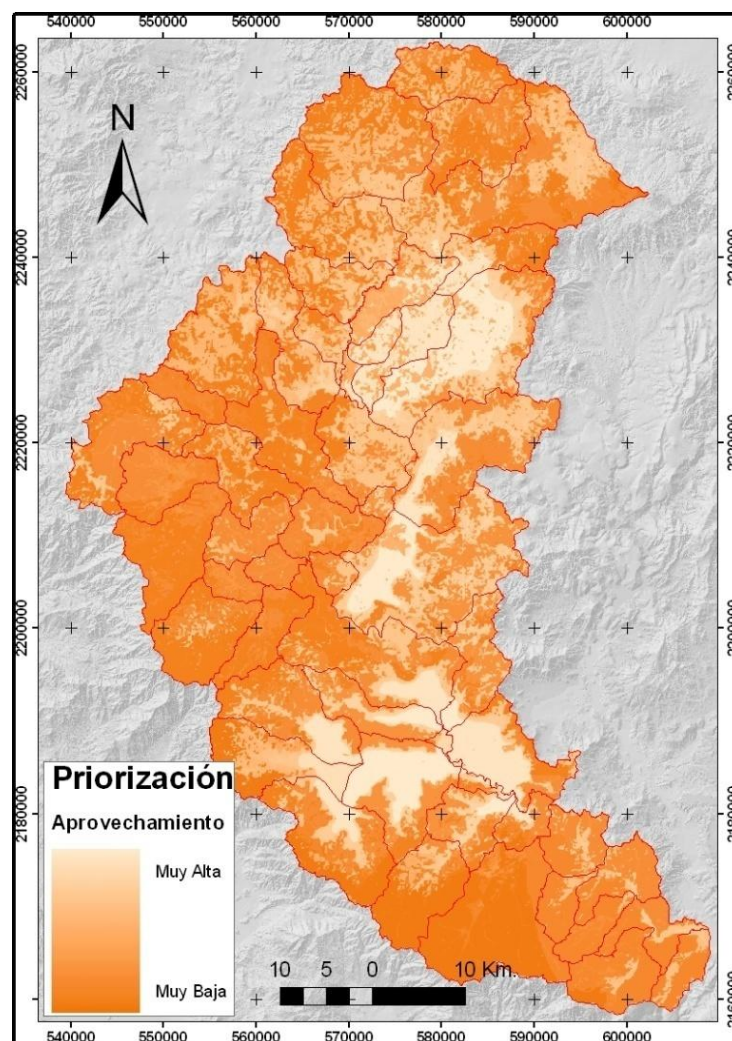


Figura 13 Imagen raster de priorización hidrológica para aprovechamiento del agua.

6.5.6. Determinación de los mapas de priorización hidrológica por microcuenca.

Finalmente se presentan los mapas de priorización hidrológica basada en microcuencas donde a través de una reclasificación de las coberturas raster (*Fig. 12 y 13*) se identificaron aquellas microcuencas con prioridad para conservar el agua o con prioridad para aprovecharla. La reclasificación consistió en obtener cinco clases de prioridad en este caso fueron las microcuencas con muy alta, alta, media, baja y muy baja conservación (*Fig. 14*) o aprovechamiento del agua (*Fig. 15*).

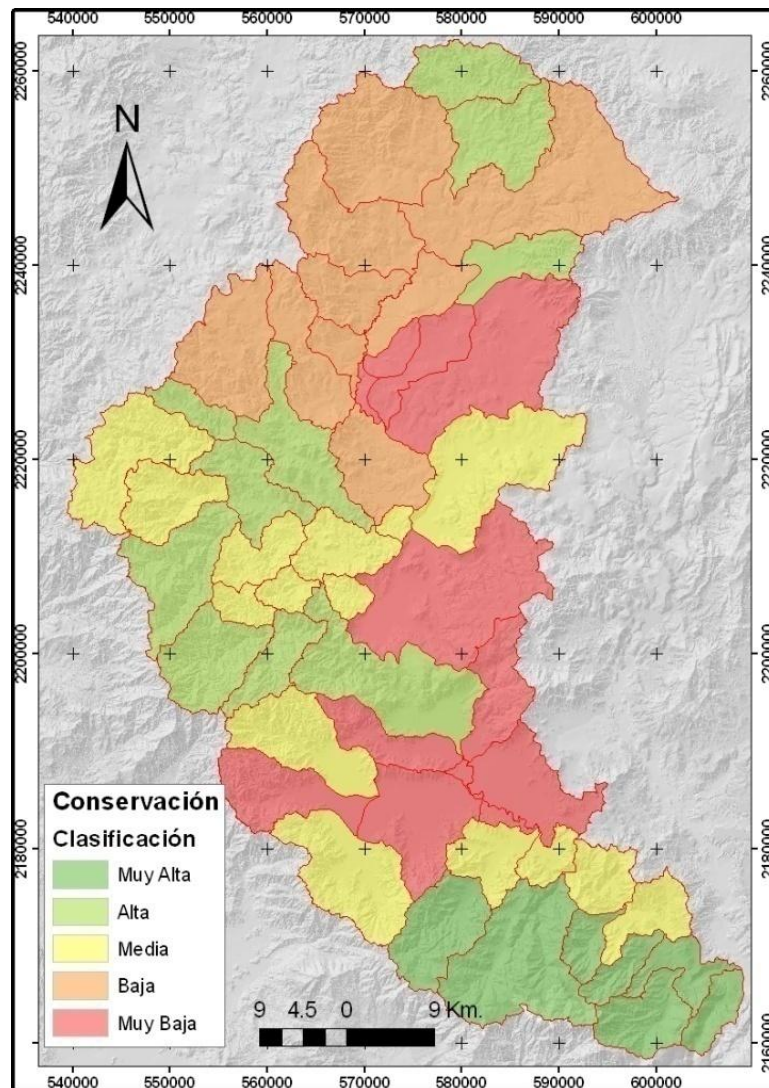


Figura 14. Priorización hidrológica basada en microcuencas con enfoque de conservación.

Se obtienen siete microcuencas con una mayor clasificación de priorización (conservación hidrológica) como San Pedro Toxín, El Rodeo, La Piedra, Zenzontla y Manantlán por mencionar algunas, las microcuencas con esta clasificación se concentran en la parte baja de la subcuenca mostrándose en conjunto y donde existe el área con las mejores condiciones para priorizar la conservación hidrológica basada en que en esta zona influye la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM).

Dentro del mismo mapa de priorización hidrológica con enfoque de conservación por microcuencas se presentan diez microcuencas con clasificación alta las cuales se ubican en la parte media y alta en zonas con pendiente fuerte y relieve poco acentuado aunque se presentan dispersas. Se mencionan algunas como Mezcala, San Juan Cacoma, Ayuquila, Santa Mónica y Trigo de Alteñas.

Para las microcuencas con clasificación media de priorización hidrológica como lo es el caso de Ventanas, el Aguacate, el Chante y Ahuacapan por mencionar algunas las condiciones de su atributo varía en forma considerable ya que presentan áreas planas con relieve acentuado pero también gran parte de su área presenta zonas con pendientes fuertes.

Finalizando con las microcuencas que presentan una clasificación baja y muy baja clasificación de conservación en cuanto a la conservación del agua se mencionan las siguientes más representativas: Tepantla, Autlán de Navarro, Palo Blanco, El Grullo, Cuatro Caminos y Melchor Ocampo, estas microcuencas presentan muy pocas áreas con características físicas desfavorables para la conservación del agua ya que estas zonas se ubican prácticamente en valles donde existe un deterioro del recurso hidrológico y avanzado ocasionado por su explotación con los diferentes usos como la agricultura de riego donde se usa el mayor porcentaje de agua superficial, uso agroindustrial en la microcuenca de Melchor Ocampo y uso urbano en la microcuenca de Autlán de Navarro y El Grullo.

En el caso de la priorización hidrológica con fines de aprovechamiento el mapa presenta también las cinco clasificaciones anteriormente mencionada. El mapa presenta microcuencas un poco dispersas dependiendo de su clasificación de priorización.

Para el caso de la figura 15 donde describe la priorización hidrológica por microcuenca y con prioridad para aprovechar el agua, se obtienen siete microcuencas con clasificación muy alta, estas microcuencas se encuentran ubicadas en la parte media formando un grupo de cuatro microcuencas y tres en la parte alta de la subcuenca del río Ayuquila, estas microcuencas se presentan en áreas en su mayoría planas o valles con relieve acentuado y poca fisiografía de montaña. Las características antes mencionadas también favorecen a la presencia de cuatro microcuencas ubicadas en la parte norte de la subcuenca aunque un poco dispersas.

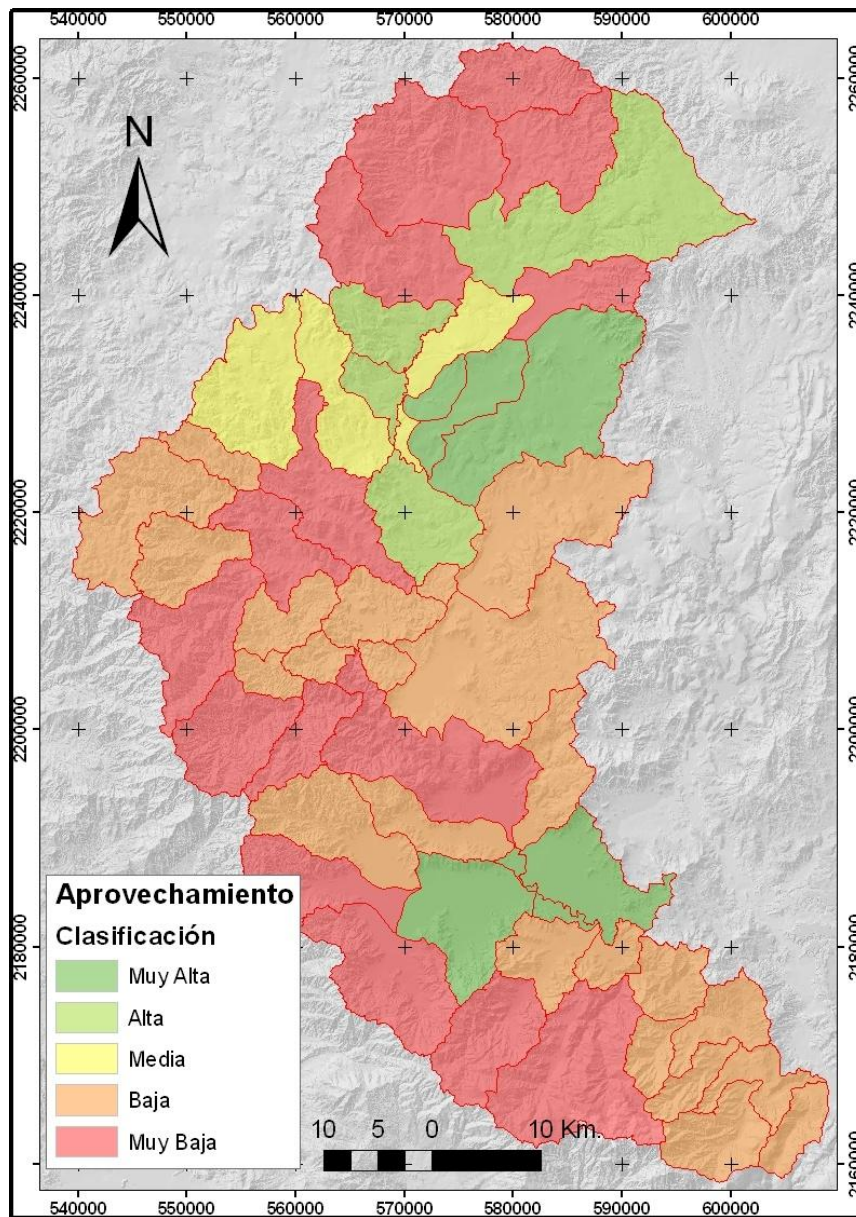


Figura 15. Priorización hidrológica basada en microcuencas con enfoque de aprovechamiento.

La microcuencas con clasificación muy alta son Cuatro Caminos, El Mentidero, Melchor Ocampo Palo Blanco por nombrar algunas. En el caso de las microcuencas el Salto, Tepantla, Zapote de Chávez y Soyotlán del Oro con clasificación alta para aprovechar el agua como prioridad hidrológica presenta condiciones aceptables para desarrollar el aprovechamiento del agua según los criterios establecidos por los actores y su consecuente ponderación.

La presencia de las únicas microcuencas El Trigo, Boruconsa, Cofradía de Lepe y Ayutla con clasificación media para priorizar el agua con fines de aprovechamiento se ubican en la parte alta de la subcuenca del río Ayuquila con características de zonas de valles en zonas receptoras con atributos (agricultura, disponibilidad de agua, escurrimientos superficiales) que condicionan y favorecen el aprovechamiento del agua. Dentro del cuadro siguiente se muestran la totalidad de las microcuencas con prioridad a conservar y aprovechar el agua:

Cuadro 27. Clasificación de priorización hidrológica por microcuenca.

| Núm. | Microcuencas | Conservación | Aprovechamiento |
|------|-----------------|--------------|-----------------|
| 1 | San Pedro Toxín | Muy Alta | Baja |
| 2 | El Rodeo | Muy Alta | Baja |
| 3 | La Piedra | Muy Alta | Baja |
| 4 | El Ocotillo | Muy Alta | Baja |
| 5 | Zenzontla | Muy Alta | Baja |
| 6 | Manantlán | Muy Alta | Muy Baja |
| 7 | Yerbabuena | Muy Alta | Muy Baja |
| 8 | El Camichín | Media | Baja |
| 9 | Ventanas | Media | Baja |
| 10 | El Aguacate | Media | Baja |
| 11 | El Chante | Media | Baja |
| 12 | Ahuacapan | Media | Muy Baja |
| 13 | Cuatro Caminos | Muy Baja | Muy Alta |
| 14 | El Mentidero | Muy Baja | Muy Alta |

Cuadro 27. Continuación.

| Núm. | Microcuencas | Conservación | Aprovechamiento |
|------|---------------------|--------------|-----------------|
| 15 | Melchor Ocampo | Muy Baja | Muy Alta |
| 16 | Autlán de Navarro | Muy Baja | Muy Baja |
| 17 | Palo Blanco | Muy Baja | Muy Alta |
| 18 | Mezquitán | Muy Baja | Baja |
| 19 | Ayutita | Media | Baja |
| 20 | El Grullo | Muy Baja | Baja |
| 21 | Mezcala | Alta | Muy Baja |
| 22 | San Juan Cacoma | Alta | Muy Baja |
| 23 | Yerbabuena (Palmas) | Media | Baja |
| 24 | Ayuquila | Alta | Muy Baja |
| 25 | La Taberna | Media | Baja |
| 26 | El Zapotillo | Media | Baja |
| 27 | Los Sauces | Media | Baja |
| 28 | El Colomo | Media | Baja |
| 29 | Tacotán | Media | Baja |
| 30 | Santa Mónica | Alta | Muy Baja |
| 31 | Unión de Tula | Muy Baja | Baja |
| 32 | Santa Rosalía | Media | Baja |
| 33 | San Antonio del M. | Alta | Muy Baja |
| 34 | El Salto (Cerritos) | Baja | Alta |
| 35 | San Clemente | Media | Baja |
| 36 | La Cañada | Media | Baja |
| 37 | El Membrillito | Alta | Baja |
| 38 | Boruconsa | Muy Baja | Media |
| 39 | Tepospizalya | Alta | Muy Baja |
| 40 | Mesa de los Nuño | Muy Baja | Muy Alta |
| 41 | Tepantla | Baja | Alta |
| 42 | Juanacatlan | Muy Baja | Muy Alta |
| 43 | Tenamaxtlan | Muy Baja | Muy Alta |

Cuadro 27. Continuación.

| Núm. | Microcuencas | Conservación | Aprovechamiento |
|------|----------------------|--------------|-----------------|
| 44 | El Trigo | Baja | Media |
| 45 | Ayutla | Baja | Media |
| 46 | Zapote de Chávez | Baja | Alta |
| 47 | Cofradía de Lepe | Baja | Media |
| 48 | Cofradía de Pimienta | Alta | Muy Baja |
| 49 | Agostadero | Baja | Muy Baja |
| 50 | Soyotlán del Oro | Baja | Alta |
| 51 | Yerbabuena1 | Alta | Muy Baja |
| 52 | La Trinidad | Baja | Muy Baja |
| 53 | Trigo de Alteñas | Alta | Muy Baja |

Finalmente se mencionan la microcuencas de Ayuquila, el Chante, el Aguacate, Ahuacapán y San Clemente por mencionar algunas con una baja y muy baja clasificación de prioridad para aprovechar el agua debido a la dominancia de zonas con atributos que no favorecen el aprovechamiento del agua como prioridad hidrológica como áreas receptoras de la precipitación, relieve escarpado, en algunos casos poca o nula presencia de zonas de valles como receptoras del escurrimiento superficial.

6.5.7. Análisis y discusión.

Para el análisis y discusión de los resultados de priorización hidrológica con enfoques de conservación y aprovechamiento del agua, se toma como base el mapa de priorización hidrológica. Este mapa concentra las diferentes clases de priorización hidrológica basada en microcuencas donde se agrupó dentro de la clase 1 aquellas microcuencas con clasificación muy alta y alta para la conservación del agua.

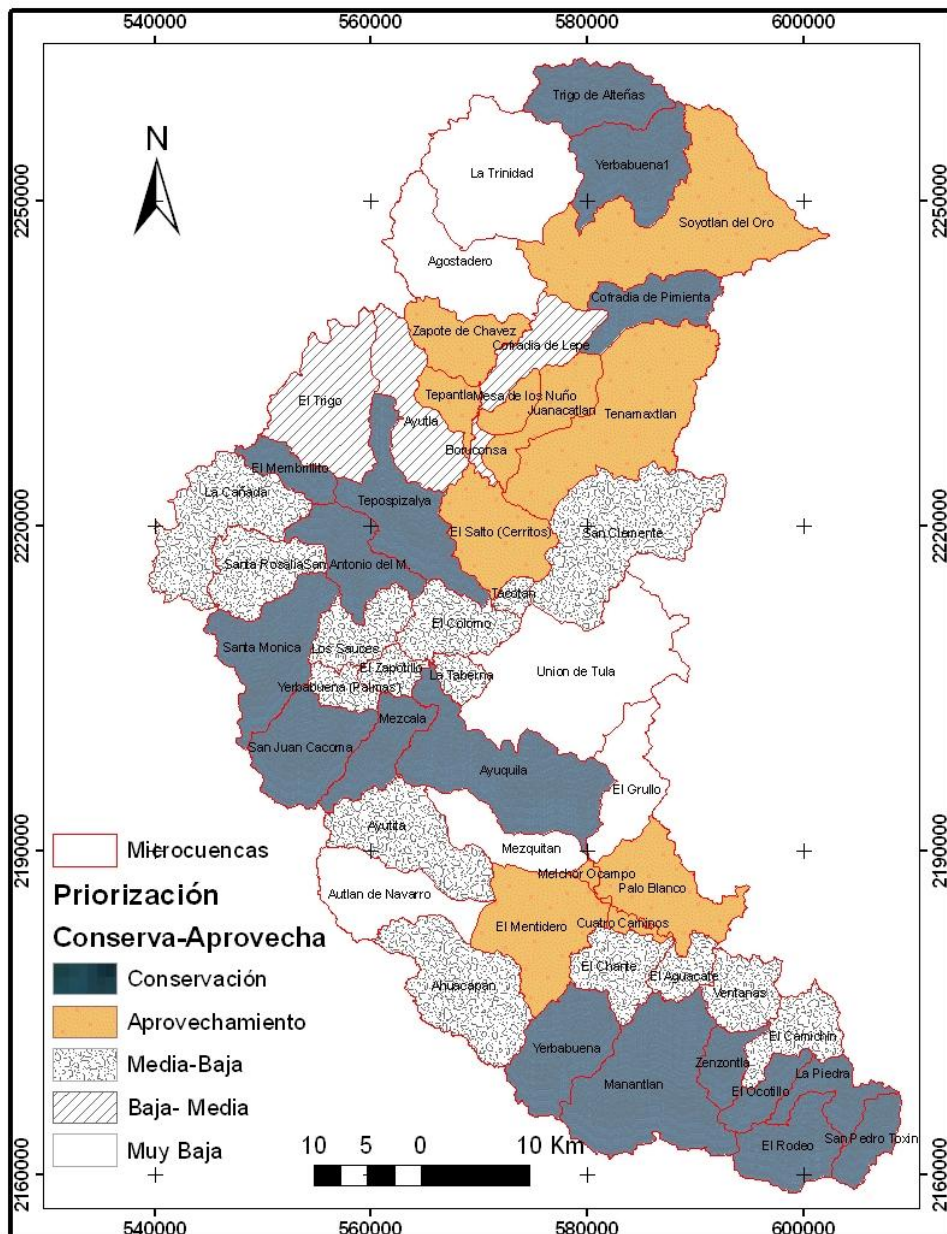


Figura 16. Agrupación de las microcuencas con priorización hidrológica de conservación y aprovechamiento

Con base en la clase 1 y tomando en cuenta el mapa de priorización (Fig. 16), las microcuencas con características afines a la prioridad hidrológica con enfoque de conservación se distribuyen a lo largo de la subcuenca del río Ayuquila destacando aquellas microcuencas agrupadas en la parte baja de la subcuenca e influenciadas por

las Áreas Naturales Protegidas, otro grupo de microcuencas se concentra en la parte media de la subcuenca donde existe zonas montañosas definidas por la gran actividad sísmica que se genera en este lugar, las últimas tres microcuencas favorecidas por el mismo enfoque de priorización se encuentran en la parte alta (zonas de montaña) donde se inicia el escurrimiento superficial del Río Ayuquila. Estas microcuencas presentan posiblemente una infiltración importante debido al buen estado de su estructura física como una buena cobertura vegetal favoreciendo la captación de agua que podrá ser aprovechada en la parte baja de manera superficial y subterránea. Además estas microcuencas se concentran en su mayoría en las zonas funcionales de cabecera destacando la presencia de arroyos y donde inicia el proceso de escurrimiento superficial dependiente de la precipitación, en cuanto al uso de suelo estas microcuencas no presentan gran actividad de agricultura siendo importante su uso forestal. Existe en ellas el mayor riesgo de erosión por tratarse de áreas con relieve pronunciado, las características anteriores muestran que la interacción de la población es muy reducida lo que disminuye el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y deterioro de los recursos naturales.

Dentro de este mapa (*Fig. 16*) se presentan también aquellas microcuencas con prioridad para aprovechar el agua (Clase 2) conjuntando las clasificaciones de alta y muy alta prioridad hidrológica. Se destaca la presencia dentro de la subcuenca de agrupaciones de microcuencas en la parte media y alta. Estas microcuencas presentan en la mayor parte de su superficie, áreas con condiciones favorables para el aprovechamiento de agua superficial ya que se localizan en zonas planas o valles receptores del escurrimiento superficial, presentan un relieve acentuado con escasa vegetación por la presencia de zonas agrícolas lo que acelera los procesos erosivos principalmente causados por la agricultura de temporal ubicada en el pie de monte aunque, en las zonas planas el riesgo de la erosión se reduce por la escasa pendiente. La cantidad de agua de escorrentía se supone alta por la baja infiltración causada por la falta de cobertura vegetal, el aprovechamiento antrópica del escurrimiento proveniente de las partes altas y la respuesta rápida del suelo a un evento de lluvia. En estas áreas se presenta una gran actividad urbana debido a las condiciones físicas ideales para los asentamientos humanos su desarrollo. Por el contrario, las condiciones de los recursos

naturales se ven afectadas aumentando la contaminación de los suelos y los escurrimientos superficiales.

Otra agrupación de clasificación media-baja es la clase 3 que incluye microcuencas con prioridad media para conservar el agua y baja prioridad en aprovechar el agua, que tienen una mayor superficie con características que condicionan la conservación del agua, ya que se encuentran en zonas funcionales de transición en su mayor parte, aunque también se presentan en zonas de cabecera. Presentan cobertura vegetal estable que favorece el proceso de infiltración provocando la reducción del escurrimiento superficial y el aumento de la captación de agua de lluvia. Por el contrario, presentan áreas de aprovechamiento de agua por la práctica de agricultura de riego en las zonas de valle y también de agricultura de temporal en las áreas de pie de monte. Estas microcuencas con clasificación de media-baja presentan un mayor deterioro de su estructura física (agua, suelo y vegetación) producto de las diferentes actividades antrópicas, vegetación escasa y con presencia de áreas con pastizales inducidos.

La clase 4 agrupa las microcuencas con baja prioridad a conservar el agua y media prioridad en aprovechamiento del recurso hídrico superficial (*Fig. 16*). Estas microcuencas presentan características opuestas a la clase 3, ya que sus características biofísicas influyen en mayor medida la posibilidad de aprovechamiento del agua: como valles con pendiente acentuada vegetación escasa y suelos fértiles. Por otro lado, las microcuencas agrupadas en las clases 3 y 4 se separan de aquellas microcuencas agrupada en las clases 1 y 2 por lo que se podrían considerar como áreas de frontera e influenciadas por las características estructurales de las clases 1 (consideradas para priorizar la conservación hidrológica) y la clase 2 (con las condiciones favorables para priorizar el aprovechamiento del agua). En consideración a lo anterior cabe mencionar que la prioridad de conservar o aprovechar el agua en las microcuencas con clasificación media-baja y baja-media depende en gran medida del deterioro de los diferentes atributos físicos y bióticos: como vegetación, relieve y calidad de agua.

Algunas microcuencas presentan una clasificación muy baja en los dos enfoques de priorización hidrológica lo que podría suponer que estas microcuencas no son prioritarias para conservar o aprovechar el agua sin embargo presentan características biofísicas que pueden ser favorables para sectores dependientes del agua dentro de las microcuencas. Este es el caso de Autlán de Navarro donde existe la presencia de áreas urbanas ocupando un gran espacio o de superficie dentro de la microcuenca, éstas áreas urbanas se ubican en valles donde reciben agua para su uso doméstico que se generan en las partes altas por lo es de vital importancia implementar estrategias para sostener los recursos naturales. Está microcuenca concentra la mayor población de la subcuenca del río Ayuquila. Otras microcuencas como Unión de Tula el Grullo presentan también una gran actividad urbana y junto con la de Autlán representan más del 50% de la población de la subcuenca. Entonces la reducida área de captación de estas microcuencas es muy importante ya que si no existieran estas áreas naturales será mayor explotación del escurrimiento superficial del río Ayuquila y su manto freático, además del aumento en el deterioro de los recursos naturales.

6.6. Propuestas Generales.

Las propuestas generales de manejo consideran las clases de priorización hidrológica y emplea herramientas como la capacidad de uso del suelo (*Fig. 17*) de la subcuenca del río Ayuquila y el riesgo de erosión así como el uso de suelo y vegetación. Cabe mencionar que las propuestas generadas se basan en el objetivo “PdO5” del Plan de Desarrollo Estatal del Estado de Jalisco que menciona: lograr el desarrollo sustentable a través de la prevención y el combate a la contaminación ambiental, la promoción de la conservación y el uso racional de los recursos naturales.

Cuadro. 28. Relación de clases de Priorización con Capacidad de Uso del Suelo.

| Relación (%) | Conservación | Aprovechamiento | Media-Baja | Baja-Media | Muy Baja |
|-------------------------|--------------|-----------------|------------|------------|----------|
| Agricultura Intensiva | 3.03 | 21.02 | 10.11 | 6.16 | 10.42 |
| Agricultura Moderada | 5.97 | 22.53 | 8.66 | 22.41 | 10.90 |
| Agricultura Restringida | 7.65 | 14.46 | 8.85 | 19.89 | 12.01 |
| Forestal Intensivo | 12.17 | 16.04 | 12.33 | 17.13 | 18.09 |
| Forestal Moderado | 19.49 | 12.89 | 18.53 | 18.36 | 21.31 |
| Forestal Restringido | 19.40 | 6.77 | 17.95 | 9.74 | 13.67 |
| Suelos de Protección | 32.27 | 5.76 | 23.53 | 6.32 | 13.52 |
| Cuerpos de Agua | 0.01 | 0.52 | 0.06 | 0.00 | 0.08 |
| Total (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

De acuerdo al cuadro anterior, la mayor superficie de las microcuencas con prioridad de conservar el agua se ubican en zonas de montaña característico de uso forestal y suelos de protección con fuertes pendientes que al ser deteriorados podría aumentar el riesgo de la erosión (*Cuadro 29*). Por el contrario las áreas aptas para la agricultura son reducidas ya que solo se presenta el 8% de superficie de la microcuencas con prioridad a conservar el agua. En el caso de las microcuencas con prioridad para aprovechar el agua y su relación de superficie entre la capacidad de uso del suelo (*Cuadro 28*) manifiesta que el área de las microcuencas se encuentra en su mayor parte para capacidades de agricultura Intensiva y forestal moderado con riesgo de erosión ligera a alta en la mayor parte de su superficie según el siguiente cuadro.

Cuadro. 29. Relación de clases de priorización con riesgo de erosión.

| Priorización/Erosión | Ligera | Moderada | Alta | Muy Alta | Extrema | Total (%) |
|----------------------|--------|----------|-------|----------|---------|-----------|
| Conservación | 23.69 | 36.06 | 28.73 | 6.48 | 5.04 | 100 |
| Aprovechamiento | 61.13 | 24.80 | 10.38 | 2.41 | 1.27 | 100 |
| Media-Baja | 37.35 | 35.90 | 18.90 | 4.71 | 3.14 | 100 |
| Baja-Media | 38.95 | 34.10 | 17.99 | 5.72 | 3.24 | 100 |
| Muy Baja | 40.06 | 30.37 | 18.98 | 6.22 | 4.37 | 100 |

Para la clase prioritaria Media-Baja la mayor superficie de las microcuencas se encuentra distribuida entre la capacidad de uso de suelo de forestal Intensivo y suelos de protección con riesgo de erosión ligera a alta, destacando que existen zonas de ladera pero también áreas de pie de monte. Por otra parte las microcuencas con clase de prioridad Baja a Media la superficie se distribuye en categorías de la capacidad del uso del suelo de agricultura moderada y forestal moderado destacando áreas de pie de monte aptas para la agricultura así como para uso forestal. Estas microcuencas se encuentran en su mayor superficie con un riesgo de erosión ligera a alta, presentando un riesgo semejante para la clase prioritaria Muy Baja pero con una distribución de superficie muy parecida entre las categorías de capacidad del uso del suelo.

En cuanto a la relación con el uso de suelo y vegetación, las microcuencas con clase prioritaria de conservación su mayor superficie se encuentra distribuida entre las áreas con vegetación de bosque y selvas, las microcuencas con prioridad de aprovechamiento su superficie se encuentra entre las áreas con prácticas agrícolas. La mayor superficie de las microcuencas con prioridad Media a Baja se encuentra distribuida en áreas con vegetación de bosque, selvas y áreas agrícolas en menor porcentaje. Por el contrario ocurre con las microcuencas de prioridad Baja a Media y Muy Baja ya que su mayor superficie se encuentra distribuida en zonas agrícolas y áreas con vegetación de bosque en menor proporción.

Cuadro 30. Relación de clases de priorización y uso de suelo y vegetación.

| Relación (%) (P/Uso y Veg.) | Conservación | Aprovechamiento | Media- Baja | Baja- Media | Muy Baja |
|--------------------------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|
| Agricultura | 23.04 | 57.95 | 29.43 | 55.83 | 46.80 |
| Bosques | 47.28 | 16.96 | 32.45 | 29.34 | 24.29 |
| Selvas | 27.51 | 15.39 | 35.63 | 7.25 | 25.73 |
| Matorral | 1.46 | 5.25 | 0.98 | 4.14 | 1.29 |
| Pasto | 0.70 | 2.73 | 0.14 | 2.06 | 0.29 |
| C. de agua | 0.01 | 0.97 | 0.81 | 0.00 | 0.21 |
| Z. urbana | 0.00 | 0.75 | 0.55 | 1.37 | 1.40 |

En consecuencia, las microcuencas clase 1 con prioridad de conservación hidrológica presentan características favorables en cuanto a su estructura natural (agua, suelo y vegetación) por lo que para su manejo se hace necesario aplicar esquemas de pago por servicios ambientales destacando aquellas microcuencas como San Pedro Toxín, el Rodeo, la Piedra, el Ocotillo, Zenzontla, Manantlán y la Yerbabuena agrupadas en la parte sur (*Fig. 16*) de la subcuenca e influenciadas por las Áreas Naturales Protegidas. La aplicación del pago por servicios ambientales dentro de esta zona podría implementarse para servicios hidrológicos como la calidad del agua e infiltración del escurrimiento debido a que contienen suelos de protección en zonas con altas pendientes con características forestales y con un alto riesgo para erosión. Es de gran importancia promover áreas de bosque en excelente estado considerando

principalmente aquellos bosques localizados en las partes altas de las montañas, ya que estos nos benefician de forma intangible para la obtención de fuentes de agua, diversidad biológica, belleza paisajística y recreacional, regulación de clima, producción de oxígeno y captura de carbono, entre otros servicios.

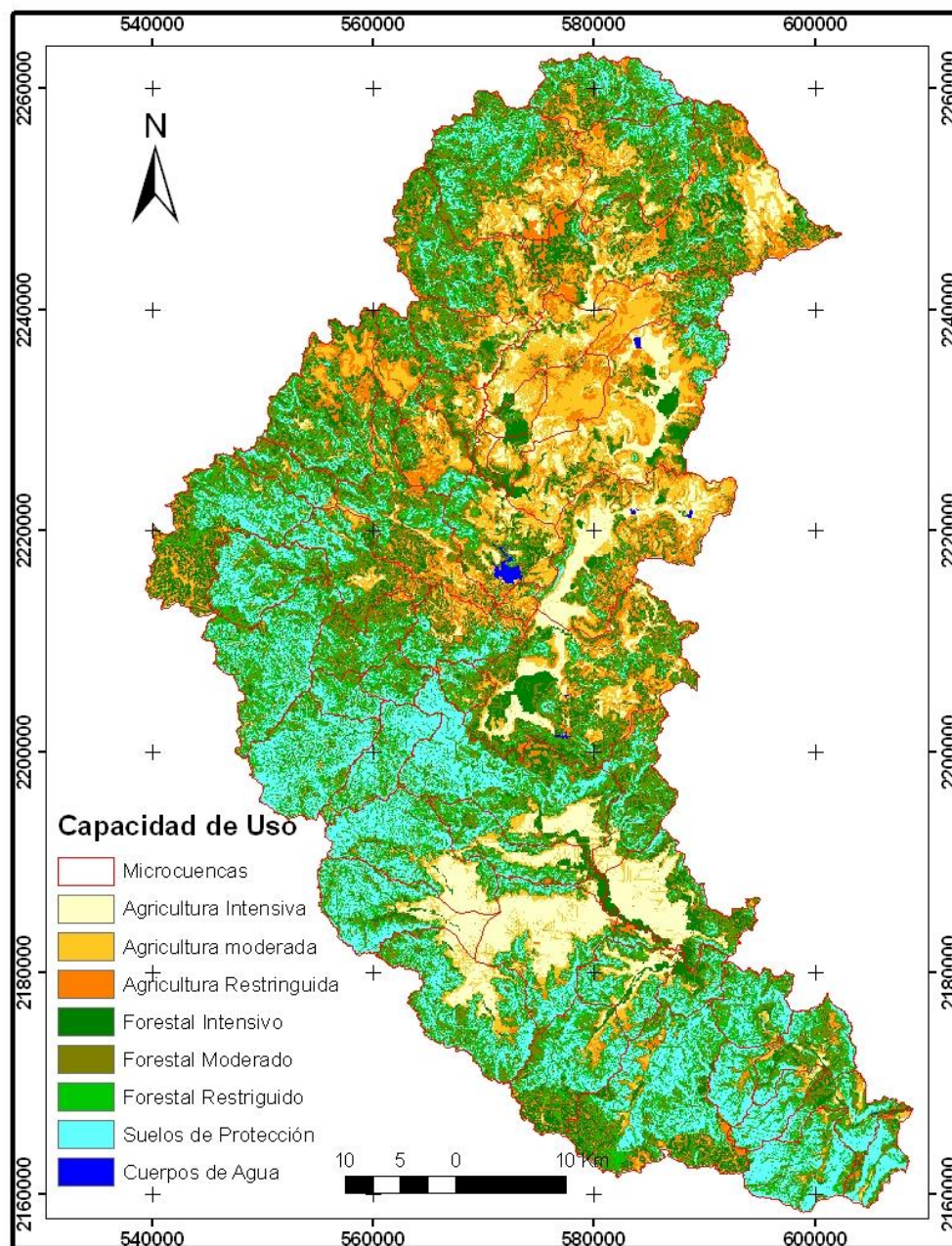


Figura 17. Capacidad de uso del suelo de la Subcuenca Ayuquila.

Otras microcuencas encontradas en la clase 1 son Santa Mónica, San Juan Cacoma, Mezcala, Ayuquila, Tepospizalya el Membrillito y San Antonio del M., Cofradía de Pimienta, Trigo de Alteñas y Yerbabuena 1 que se encuentran localizadas en la parte media y alta de la subcuenca, además están ubicadas en una zona sísmica (fallas) y en la parte alta donde se nace el Río Ayuquila. Por lo tanto presentan suelos con alta prioridad para su protección por presentar pendientes fuertes y considerando que son suelos con capacidad para el uso forestal (*Fig. 18*) con fuerte riesgo de erosión.

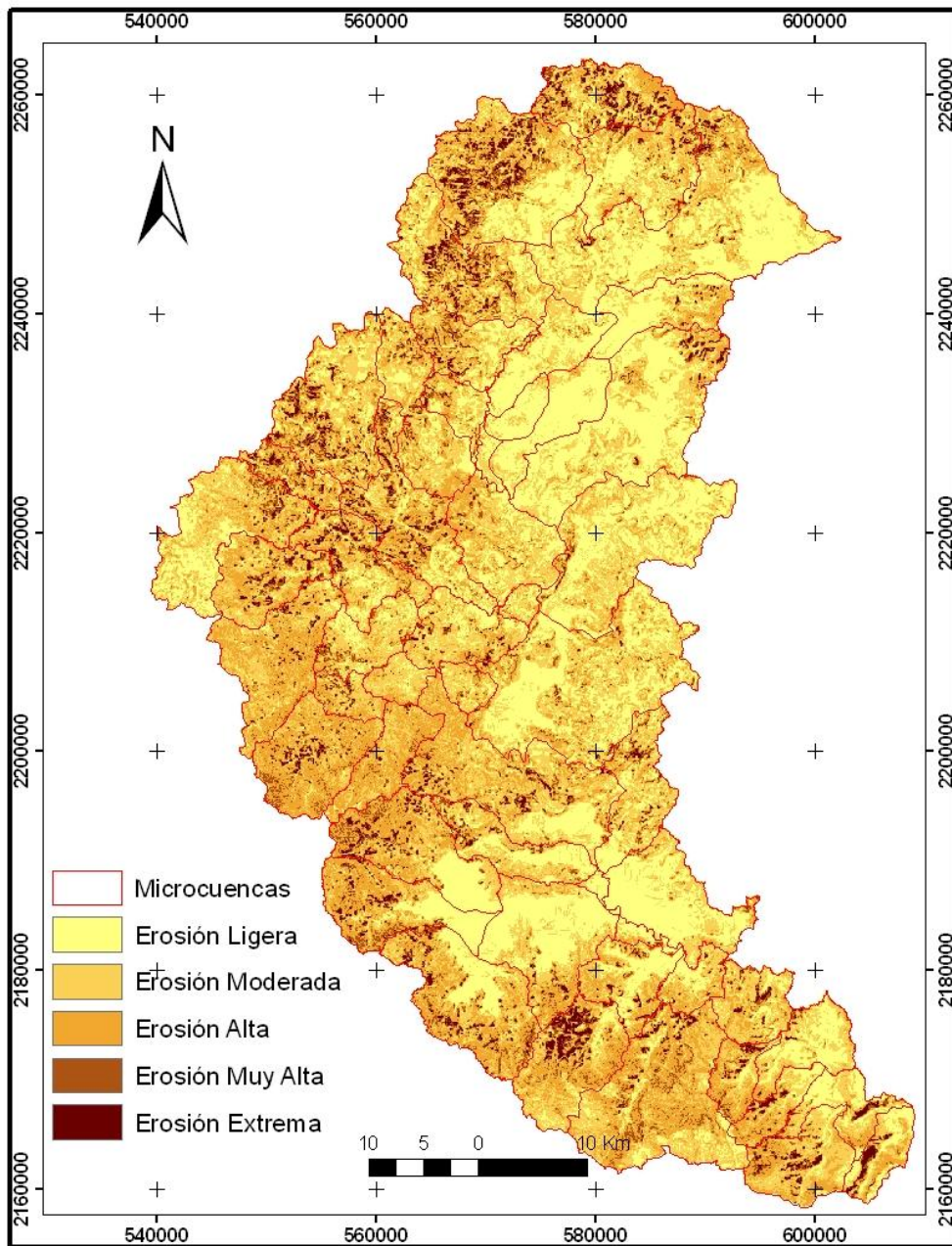


Fig. 18. Riesgo de erosión presente en las microcuencas

Estas microcuencas son influenciadas por Áreas de Protección hacia los Recursos Naturales (APRN) que se encuentran en los estados de Nayarit, Jalisco, Aguascalientes y Zacatecas. También se encuentran influenciadas por la Sierra de Quila (Cofradía de Pimienta) donde son Áreas de Protección de Flora y fauna: se constituyen en lugares que contienen hábitats cuya preservación es importante para la existencia y desarrollo de especies de flora y fauna silvestres. En consideración a éstas características se propone que estas microcuencas sean decretadas como Áreas de Protección de los Recursos Naturales ya que son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal.

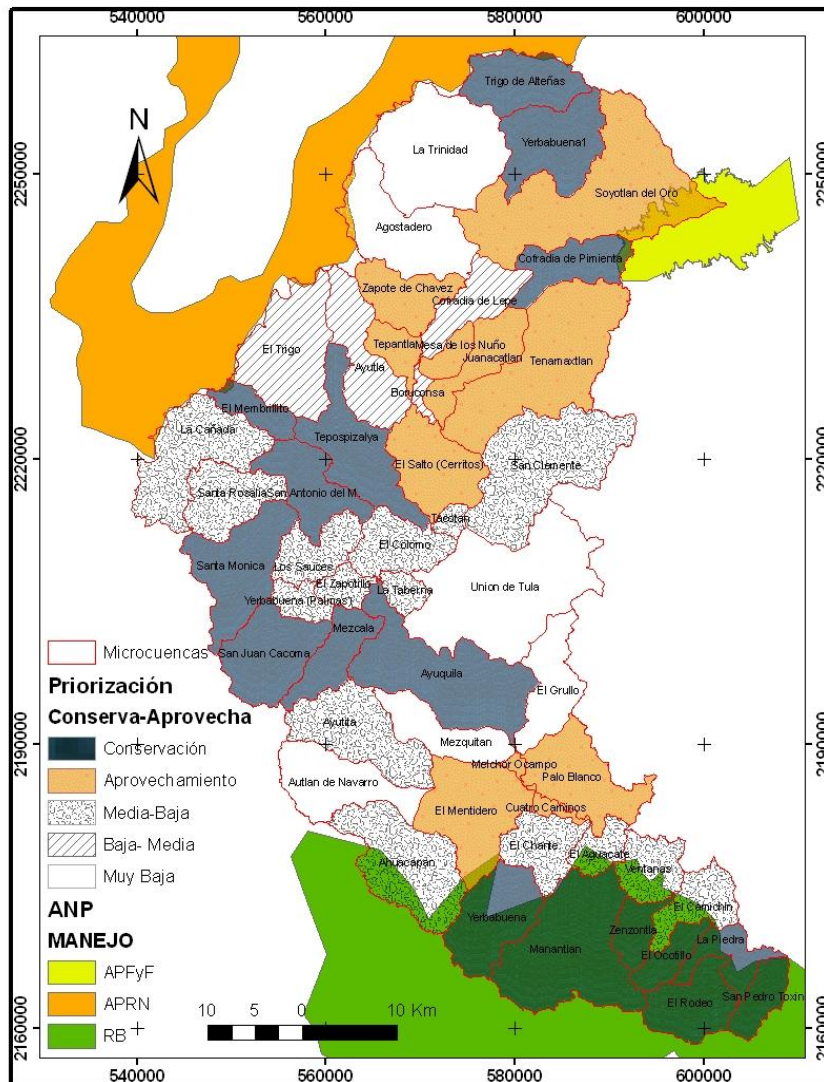


Figura 19. Influencia de las Áreas Naturales Protegida en la subcuenca del Río Ayuquila.

La microcuencas anteriormente mencionadas con características físicas aceptables para cumplir con dicho objetivo de conservación del agua se plantea además de plantear pago por servicios ambientales para calidad de agua en zonas de cabecera, la aplicación de prácticas de conservación de uso de suelo principalmente en pie de monte. Conjuntamente con medidas de control de erosión para zonas o áreas con agricultura de temporal en pendientes fuertes. Lo anteriormente dicho se manifiesta en un mejor control en el manejo del agua aprovechable en las partes bajas asegurando la calidad y cuidado del agua en las partes altas o áreas de cabecera y áreas de transición.

En las microcuencas con clase 2 prioritarias para el aprovechamiento del agua (*Fig. 16*) se plantea como propuesta de manejo la utilización o mejoramiento de la infraestructura para riego agrícola con la finalidad de establecer la disponibilidad equitativa del recurso entre sectores, además de emplear técnicas o procedimientos de riego como aspersión para cultivos hortícolas y mejoramiento del riego rodado en los cultivos de la caña de azúcar.

Por otro lado, las áreas de esta microcuenca presentan condiciones favorables para la agricultura, con bajo riesgo de erosión debido a la pendiente y profundidad del suelo aceptable para la práctica agrícola por lo que se plantea como propuesta aplicar técnicas o métodos de siembra para reducir el proceso acelerado de la erosión. Se sigue emplear las experiencias existentes para diversificación de los cultivos de la zona, principalmente las hortalizas y los frutales con características orgánicas que pueden contribuir a disminuir las amenazas de los agroquímicos que disminuyen la calidad de agua.

Otra propuesta aplicable en estas microcuencas es diagnosticar los puntos de contaminación más frecuentes que impactan las aguas superficiales en el caudal del Río Ayuquila e implementar estrategias de control como construcción de lagunas de oxidación donde no existan plantas de tratamiento.

Para las microcuencas con prioridad hidrológica clase 3 la propuesta radica en reforestar las áreas deforestadas por el cambio de uso de suelo y ganadería extensiva utilizando como herramienta una zonificación de las diferentes áreas que nos indique los tipos de vegetación existente, clases y pendiente de los suelos así como la ubicación de los escurrimientos superficiales. Para la utilización de material vegetativo (plantas nativas) para reforestar se debe utilizar aquellas con características de desarrollo

semejantes a las de la zona de estudio así como condiciones climáticas. Conjuntamente con esta propuesta se considera utilizar barreras vivas en escurrimientos superficiales para contribuir al control del agua disminuyendo su velocidad y en partes erosionadas con pendientes no muy fuertes que ayuden a acelerar los procesos de formación del suelo, el material para esta práctica puede provenir de diferentes podas que se realicen de una manera adecuada y que se realice en la misma zona donde plantea la propuesta.

En las microcuencas con prioridad hidrológica clase 4. La propuesta principal implica la aplicación de técnicas de conservación de suelo (barreras físicas para control del escurrimiento, terrazas para el control de cárcavas) y agua basadas en una zonificación de las microcuencas principalmente en pie de monte donde prácticamente puede llegar la frontera agrícola identificando con anterioridad los principales escurrimientos, riesgo de erosión, vegetación y el cambio de uso del suelo ganadería intensiva como factores determinantes para conocer la ubicación de estas prácticas de manejo.

Finalmente se encuentran las microcuencas con una muy baja priorización hidrológica clase 5 donde existen algunas microcuencas como la de Autlán de Navarro que recibe agua para uso doméstico de la parte alta donde se encuentra el escurrimiento permanente y donde proviene de la microcuenca de Ayutita por lo tanto es importante que esta área se proteja para asegurar la carga de agua que se genera el parte alta para el uso de las generaciones futuras por lo tanto se propone proteger los recursos naturales de la cabecera, además de combatir el cambio de uso del suelo, la utilización del bosque para la producción de madera y así evitar la deforestación. Lo anterior se basa en que las zonas altas de la microcuenca de Ayutita y de Autlán de Navarro presentan suelos de protección forestal (*Fig. 17*). Es importante la protección uso y manejo del escurrimiento en estas dos microcuencas donde prácticamente se usa el agua para la actividad domestica de la ciudad de Autlán de Navarro con aproximadamente el 50% de la población presente en toda la subcuenca del Río Ayuquila

VII. Conclusiones

La caracterización morfométrica realizada para la subcuenca del Río Ayuquila permitió una mejor comprensión en la forma de distribución de los recursos naturales y por lo tanto conocer de una manera más amplia el comportamiento del escurrimiento superficial, además es fuente de información indispensable para cualquier inicio de estudio de manejo de cuencas.

Se concluye que la subcuenca del Río Ayuquila presenta zonas funcionales muy marcadas como zonas de cabecera y transición donde se encuentra la mayor parte del área de la subcuenca a diferencia con las zonas de captación. Esta subcuenca influye en el comportamiento del escurrimiento superficial debido a sus características de zonas de montaña por lo que debe ser conservado a través del trabajo local en las microcuencas prioritarias.

La aptitud hidrológica de la subcuenca manifiesta 38 microcuencas con un alta a muy alta aptitud de conservación del agua y solamente 10 microcuencas con alta a muy alta aptitud de aprovechamiento lo que hace suponer que existen dentro de la superficie de la subcuenca mayores zonas con características estructurales aceptables para conservar el agua, estas características influyen en el escurrimiento superficial aunado a que el cambio de uso de suelo no influye aún en comportamiento hidrológico de la subcuenca del Río Ayuquila.

En el caso de la priorización se obtuvieron microcuencas que no cumplen de manera satisfactoria con los enfoques propuestos (conservación y aprovechamiento) lo que se puede determinar que sus características (físicas, socioeconómicos y ambientales) propician una priorización hidrológica reducida, sin embargo existen condiciones indispensables para su funcionamiento hidrológico superficial de estas microcuencas que es aprovechado por las zonas urbanas para su uso en las diferentes actividades domesticas lo que resulta importante conservar la estructura física de las zonas de cabecera ya que existe un riesgo latente para su deterioro debido a la presencia constante de la actividad antrópica.

Las propuestas de priorización hidrológica fueron implementadas de manera general para grupos de microcuencas con alguna clasificación de priorización hidrológica y no sobre áreas o zonas visiblemente seleccionadas dentro de las mismas ya que implicaría mayor detalle para la implementación de las propuestas de manejo del agua siendo posiblemente impulsadas y generadas en trabajos o estudios futuros.

La disponibilidad del agua dentro de las microcuencas que no presentan una clasificación de priorización aceptable en los dos enfoques de conservación y de aprovechamiento hidrológico se ve afectada posiblemente por la poca presencia de zonas funcionales de cabecera y donde existe mayor contaminación del recurso por los desechos residuales producto de las actividades urbanas, además de la implementación deficiente y disminuida de infraestructura para riego agrícola.

VIII. Literatura citada.

Bosque y García, 2000. El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial, Anales de Geografía de la Universidad Complutense, ISSN: 0211-9803, 19 Págs.

Campos A., 1987. Procesos del ciclo hidrológico, Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Vol. 1, t. 1/2. San Luís Potosí, México. Pp. 2-52

D. Carolina N. M., 2004, Propuesta de ordenación para la subcuenca Estero Llancahue, Comuna de Valdivia, X Región de los Lagos, Tesis, Universidad Católica de Temuco. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Escuela de Ciencias Forestales, 194 Págs.

Casillas J. A. En: Cotler, H. (Ed), 2004. La visión de SAGARPA para el desarrollo integral de microcuencas hidrográficas, El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, s. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT): 211-221.

Coelho, S. T. y Alegre, H., 1988, "Demand analysis in water supply and distribution system", LNEC, Lisboa

CNA-SARH. 1992. Presa Trigomil, General Ramón Corona Madrigal. Grupo Códice México. 27 págs.

CNA, 2007. Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua, México: 248 pp. Disponible en: www.cna.gob.mx.

Cotler y Priego, 2004, En: Cotler, H. (Ed).. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala, El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental,. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología México: 63-74.

Comisión de Cuenca Ayuquila Armería, Disponible en:
<http://www.ayuquila-armeria.col.gob.mx/>

CONAPO, 2005, Índices de Marginación por localidad.

Colegio de Posgraduados., 1991. Manual de Conservación del Suelo y del Agua, Escurrimientos Superficiales. Colegio de Posgraduados, Tercera Edición. Editorial núm. 306. SARH. Chapingo, México: 25-45.

Cuevas M. L., Garrido A., Cotler H., Pérez J. L., 2007. Regionalización de las Cuencas Hidrográficas de México escala 1:250000 para su análisis integrado, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México.

Díaz P. G., Sánchez C. I., Quiroz R., Garatuza P. J., Watts T. Ch., Cruz M. R., 2008, Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México, Agricultura Técnica en México. 34. 3:279-287.

Dourojeanni y Jouravlev, 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados a centros urbanos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 181 pp.

Dourojeanni A. y Acuña, 1998. Participación Municipal en Actividades de Gestión a nivel Cuencas: Documento para discusión, III Taller de Gerentes de Organismos de Cuencas de América Latina y el Caribe Documento de trabajo, Buenos Aires, Argentina, 16 al 20 de Noviembre de 1998: 41 págs.

Domínguez C. M. A., Carrera A. A., Chávez C., Martínez M., Ventura E., Pineda L. R., 2003, Priorización de Cuencas en el Estado de Querétaro México, Universidad Autónoma de Querétaro-Facultad de Ingeniería, Delegación Estatal de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México: 1-2.

Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, 2002. Propuesta para que se considere la cuenca del Río Ayuquila como zona hidrológica prioritaria ante la CONABIO. Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Documento inédito: 3 págs.

Estevez R., Venialgo F., Gutiérrez A. C., Ingaramo C. N., Briend O., 2004, Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el departamento 9 de Julio (Chaco). Cátedra de conservación y manejo de suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas: 4 págs.

FAO, 2007. La Nueva Generación de Programas y Proyectos de Gestión de Cuencas, Reconsideración de las cuencas hidrográficas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma: 15-32.

FAO, 2000, Los Principales Factores Ambientales y de Suelos que Influyen en la Productividad y Manejo. Manual on integrated soil management and conservation practices; Roma: 1-7.

FAO, 1996. Planificación y ordenación de cuencas hidrográficas con ayuda de computadoras. Técnicas para la Planificación Nacional. Guía FAO conservación 28/1: 1-13.

Fonseca, Rivera H., Rincón M., Gómez C., Domínguez E., Vargas O., Ojeda D., Latorre J. P., Llanos S. A., 2003. Criterios y Parámetros para la Clasificación y Priorización con fines de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, Colombia: 1-10.

Fleming, 2003. Volunteer watershed health monitoring by local stakeholders: New Mexico watershed watch. *Journal of Environmental Education*, 35(1):27-32.

Gándara C., 2004. Priorización de Cuencas y Subcuencas Hidrográficas para la Estimación de Recarga Hídrica Natural Guatemala, Serie de documentos Técnicos No. 12, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, IARN-URL, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, 36 págs.

Graf y Rosales, 1996. Análisis Socio demográfico de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán y su Región de Influencia, Autlán. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Dirección de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlan, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Reporte Técnico, México: 25

Heras R. R., 1976, Hidrología y recursos hídricos. Capítulo 1. Estadísticas aplicadas a la hidrología. Tema 5. Relación entre elementos hidrológicos y elementos físicos geográficos. Centro de estudios hidrográficos. Madrid. España. Pp. 65-98

Kirkby, M. J y R. P. Morgan. 1994. Erosión de Suelos. Limusa. México, 375 pp.

INE, 2003, Criterios y Parámetros para la clasificación y Priorización con fines de Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas, Instituto Nacional de Ecología, 10 págs.

INE-SEMARNAT, 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio, INE, México: 161 págs.

Disponible en:

http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_publicacion=434&id_tema=6&dir=Consultas.

INEGI, 2000,. XII. Censo General de población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática, INEGI, México.

INEGI, 2005, Base de datos iter2005, II Conteo de de Población y Vivienda, INEGI, México.

JIRA, 2007. Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila.

Disponible en: <http://jira.org.mx/index.php>

Kaimowitz, 2004. Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forest and water in Central America. In. M. Bonell y L. A. Bruijnzeel, eds. Forests, waters and people in the humid tropics: past, present and future hydrological

research for integrated land and water management. Cambridge, University Press, Reino Unido.

L'vovich, G. F. White con la colaboración de A. V. Belyaev, J. Kindler, N. I. Koronkevic, T. R. Lee y G. V. Voropaev, 1995. "Use and Transformation of Terrestrial Water Systems", En: B. L. Turner II (ed.). *The Earth As Transformed by Human Action*, Cambridge University Press.

Llamas, 1993. *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Québec, Canadá: 2-20

Martínez R. L. M., Sandoval J. J. y Guevara R. D., 1991. *Agrociencias; agua-suelo y clima* 2. (4): 107-116

Martínez R. L. M., Carranza M. A., Aguirre G. A., Sandoval L. J., Olguín L. J. L. y Hueso G. E. J., 2002, *Manejo y Conservación de la Cuenca del Río Ayuquila*, Reportes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C., Primer Foro Ambiental del Departamento de Ingeniería Ambiental y Manejo de Recursos Naturales Renovables, 1, (1): 1-11.

Meza R. D., 2006, *Caracterización Hidrográfica de la cuenca Ayuquila-Armería mediante la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica*, Tesis Profesional, Departamento de Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara, México: 1-28.

Molero M., E., Grindlay M., Rodríguez A., J. J. (2007). "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus*, 7. 120-147.

Montico S. y Pouey N., 2008, Influencia de la aptitud hídrica de las tierras de una cuenca sobre su capacidad de producción primaria, La integración de la evaluación de las tierras y de los Sistemas de Información Geográfica es un recurso metodológico, Informe técnico, Primicias rurales: 8.

Navarro A. J. C., 2000, Glosario biodiversidad, Conservación y aprovechamiento, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_04_Biodiversidad/data_biodiversidad/GlosarioIII,4.htm

<http://www.semarnat.gob.mx/Pages/glosarioambiental-ori.aspx>

Olguín L. J.L., 2003, Descripción Física e Hidrográfica de la cuenca del Río Ayuquila, Jalisco, México, Tesis de Licenciatura, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Universidad de Guadalajara, Autlán de Navarro, Jalisco, México: 86 p.

Oñate V F, 2004, Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de los proyectos hidráulicos, Revista electrónica de la REDLACH. Numero 1, año 1, Universidad Técnica Particular de Loja Campus San Cayetano, Ecuador, 6 págs.

Palacios y López, 2004. En: Cotler, H. (Ed), La sobreexplotación de las cuencas Hidrológicas: El caso de la Cuenca del Rio Laja, Guanajuato, El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México: 120-131.

Postel, 1997. Last Oasis: Facing Water Scarcity, World-watch Institute y W. Norton.

Pozzobon y Gutiérrez, 2003. Utilización de un Sistema de Información Geográfica para la Selección y Priorización de Áreas a Reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida Venezuela, Revista Forestal. Venezolana. 42. (2): 61-72

Quesada, s/a. Priorización de Microcuencas como base para la Planeación Municipal en el Estado de Michoacán, Fideicomiso de Riesgo Compartido, Gerencia Estatal Michoacán

Rivera y Maseda, (2005). Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para los usos agroforestales, Geofocus. 5: 40-68.

Rivera H, 2001. Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la Asignación de Funciones al Territorio de la Reserva Nacional Valdivia, Subproyecto Plan de Ordenación Reserva Nacional Valdivia (CONAF/GTZ), 31 págs.

Rodríguez E. R., 2007, Resultados Talleres Sectoriales, Municipio de Loreto, Avances estudio técnico para el OET, Comité del Ordenamiento Ecológico Local, Loreto, B.C.S. 21págs.

Sánchez, Jiménez F., Velásquez S., Piedra M., Romero E, 2004. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí. Recursos Naturales y ambientes, Comunicación Técnica, 8 págs.

Sánchez V., 1987. Conceptos Elementales de Hidrología Forestal Agua, Cuenca y Vegetación. División de Ciencia Forestales, Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo, México: 57-97.

Santana, E. S. Navarro, L. M. Martínez, A. Aguirre, P. Figueroa, C. Aguilar, 1993. Contaminación, aprovechamiento y conservación de los recursos acuáticos del Río Ayuquila, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, *Tiempos de Ciencia* 30:29-38

INEGI.2000. XII. Censo General de población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática.

Toledo A., 2002. El agua en México y el Mundo, *Gaceta Ecológica*, Julio-Septiembre, (64): 9-18.

UAQ, 2003. Instituto Nayarita para el Desarrollo Sustentable, Estudio para la Identificación del Potencial de aprovechamiento y Conservación de la vida silvestre de los Municipios de Tepic, Xalisco, Compostela, Bahía de Banderas y San Blas, Nayarit, Universidad Autónoma de Querétaro, Documento principal: 402.

Valencia V, Díaz N. y Ibarrola R, 2004. En: Cotler, H. (Ed). *La gestión Integrada de los Recursos Hídricos en México: Nuevo Paradigma en el Manejo del Agua, El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*, , Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México: 201-211.

ANEXOS

FORMATOS DE ENCUESTAS PARA LA OBTENCIÓN DE CRITERIOS DE DECISIÓN

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

MAESTRIA EN GESTION INTEGRADA DE CUENCAS

La información proporcionada será confidencial y su uso será exclusivamente para la realización de una investigación de posgrado

I. ELABORACIÓN DE CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA PRIORIZACIÓN HIDROLOGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA.

Actualmente, la subcuenca del río Ayuquila presenta problemas relacionados con el recurso agua por el aumento de las diferentes actividades económicas (agricultura, industrial) principalmente en la parte media de la misma lo que ocasiona la reducción del caudal en el río y provoca problemas de contaminación del agua. Lo anterior es provocado por un manejo inadecuado de la subcuenca hidrológica que presenta problemas de deforestación y deterioro de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, erosión del suelo, escasa infiltración y aumento de las actividades industriales y urbanas.

Resulta importante el manejo integral del agua para ello se deben incluir en las decisiones a los procesos del ciclo hidrológico, la interdependencia del sistema humano y natural, relación entre la reducción de la calidad del agua y su disponibilidad para los usos humanos, la interacción de intereses entre usuarios agua arriba con los de aguas abajo y entre estados que comparten cuencas y la integración de variables sociales, económicas y ambientales.

Por lo tanto, nos dirigimos a usted en su carácter de informador especial y de experiencia, con el objetivo que contribuya a un proceso de planificación del recurso agua. En base a lo anterior le solicitamos conteste las siguientes preguntas.

1. *Cuál es la relación que tiene usted con el agua (marque con una X)?.*

- a) Gestión.
- b) Manejo.
- c) a, b.
- d) Otra Especifique_____

2. *A cuál de los siguientes factores de decisión del agua pertenece?.*

- a. Académico.
- b. Económico y social.
- c. Institucional.

3. *Cuál es la prioridad que usted le daría al agua dentro de una Cuenca?.*

- a) Aprovechamiento.
- b) Conservación.
- c) a, b.
- d) Otra. Especifique_____

Para el manejo integral del agua se requiere la intervención de los diferentes sectores de la población y la incorporación de las diferentes variables de manejo de agua (social, económico, institucional, físico, biótico, ambiental) con la finalidad de identificar criterios de decisión (evaluados, cartografiables, cuantificables) que permitan el logro de la prioridad seleccionada.

4. Cuales criterios (que sean medibles) considera que deben ser implementados para la priorización hidrológica?

| VARIABLES | CRITERIOS (puede ser un criterio o mas por variable) |
|---------------|--|
| Física | |
| Económica | |
| Social | |
| Institucional | |
| Ambiental | |
| Biótica | |

5. Con los criterios identificados en la pregunta anterior, cuales consideraría en orden de preferencia (jerarquizar)?

- | | |
|----------|----------|
| A. _____ | G. _____ |
| B. _____ | H. _____ |
| C. _____ | I. _____ |
| D. _____ | J. _____ |
| E. _____ | K. _____ |
| F. _____ | L. _____ |

6. Con escala del 1 al 9 evalúa la preferencia entre los criterios. Cuantas veces es tu preferencia del primer criterio contra el segundo, el segundo criterio contra el tercero,...?.

| Criterios | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | | | | | | | | | | | |
| B | | 1 | | | | | | | | | | |
| C | | | 1 | | | | | | | | | |
| D | | | | 1 | | | | | | | | |
| E | | | | | 1 | | | | | | | |
| F | | | | | | 1 | | | | | | |
| G | | | | | | | 1 | | | | | |
| H | | | | | | | | 1 | | | | |
| I | | | | | | | | | 1 | | | |
| J | | | | | | | | | | 1 | | |
| K | | | | | | | | | | | 1 | |
| L | | | | | | | | | | | | 1 |

I. REFERENCIAS

FECHA: ____ / ____ / 2009

Folio: _____

NOMBRE: _____

OCUPACIÓN: _____

POBLACIÓN: _____

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
MAESTRIA EN GESTION INTEGRADA DE CUENCAS

TEMA DE TESIS: MANEJO INTEGRAL DE AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA, JALISCO: PLANEACIÓN ATENCION-BASADA EN MICROCUENCAS

II. PONDERACIÓN (PESO) DE CRITERIOS DE DECISIÓN PARA LA PRIORIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AYUQUILA.

Dentro de la encuesta anterior solicitada que usted contesto de manera atinada y congruente se obtienen criterios de decisión para ser utilizados dentro del trabajo de priorización hidrológica con enfoque de conservación y aprovechamiento. Cabe mencionar la importancia significativa de darle un peso de importancia por los actores principales que tienen influencia en el estudio o manejo del agua.

Los criterios seleccionados dentro de la encuesta anterior fueron aquellos que se pudieran medir cartográficamente y donde existiera información para su desarrollo cartográfico. Por otro lado, algunos fueron agrupados dentro de índices para sintetizar la información y evitar la repetición de criterios.

Por lo tanto, nos dirigimos a usted nuevamente, con el objetivo de seleccionar criterios con enfoque de conservación y aprovechamiento además de su jerarquización para cada uno de ellos.

Los criterios que se obtuvieron dentro de la etapa anterior (primera encuesta) fueron los siguientes:

Tabla 1. Criterios obtenidos por actores clave.

| CRITERIOS | Conserva | Aprovecha |
|----------------------------|-----------------|------------------|
| Zonas funcionales | | |
| Áreas naturales protegidas | | |
| Disponibilidad de agua | | |
| Erosión | | |
| Balance hídrico | | |
| Densidad de población | | |
| Uso de suelo | | |
| Calidad de agua | | |

- 1) De los criterios anteriormente mencionados y obtenidos mediante encuesta, jerarquizar (seleccionar por orden de importancia) aquellos que cumplen con el enfoque de **conservación**.

Tabla 2. Criterios ordenados por orden de importancia.

| CRITERIOS (Conservación) | JERARQUIZAR |
|---------------------------------|--------------------|
| | 1 (A) |
| | 2 (B) |
| | 3 (C) |
| | 4 (D) |
| | 5 (E) |
| | 6 (F) |
| | 7 (G) |
| | 8 (H) |

- 2) Igualmente de los criterios obtenidos por encuesta (*tabla 1*), jerarquizar (seleccionar por orden de importancia) aquellos que cumplen con el enfoque de **aprovechamiento**.

Tabla 3. Criterios ordenados por orden de importancia.

| CRITERIOS (aprovechamiento) | JERARQUIZAR |
|--|--------------------|
| | 1 (A) |
| | 2 (B) |
| | 3 (C) |
| | 4 (D) |
| | 5 (E) |
| | 6 (F) |
| | 7 (G) |
| | 8 (H) |

¡MUCHAS GRACIAS!

Coberturas digitales obtenidas de la caracterización Morfométrica

Por otro lado, La estructura física de las diferentes microcuencas se muestra a continuación, primeramente se menciona la geología donde es de vital importancia conocer cómo influye el escurrimiento en las diferentes materiales geológicos presentes.

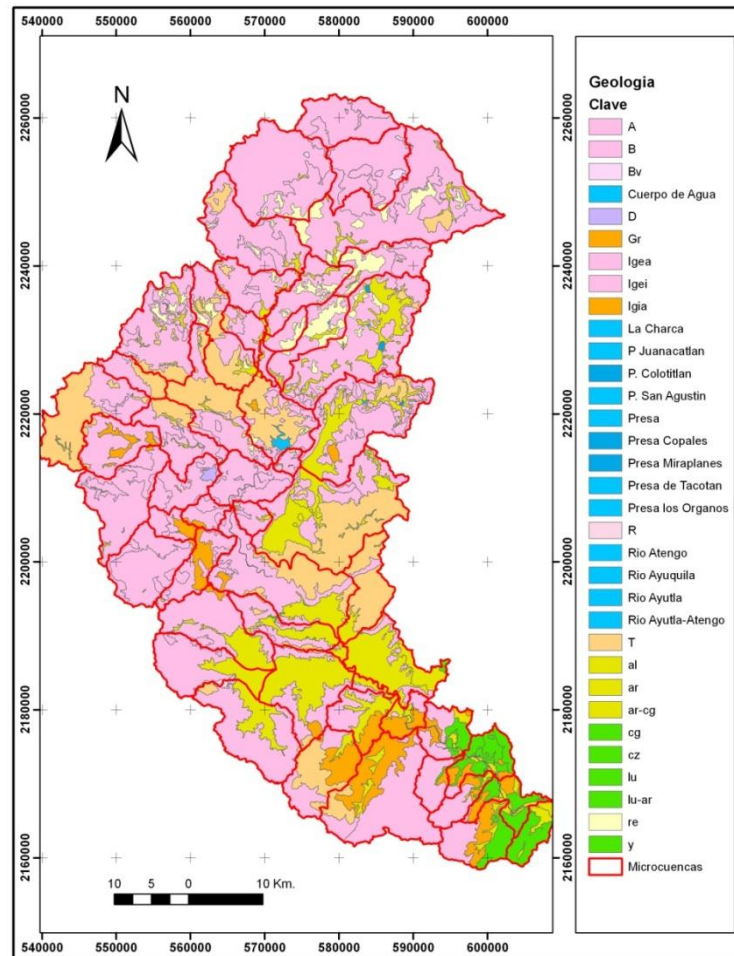


Figura 20. Material geológico presente en la Subcuenca del Río Ayuquila.

Según Freeze y Cherry (1979) las rocas ígneas y metamórficas no fracturadas presentan una porosidad del 2% y muchos de estos poros no están conectados entre si además la permeabilidad de este tipo de rocas están entre los valores de 10^{-3} - 10^{-8} milidarcy (unidad derivada de la ley de Darcy) indicando que estas rocas son prácticamente impermeables. En la figura anterior se manifiesta la presencia de la roca ígnea (intrusiva y extrusiva, andesita, basalto, granito, diorita, toba) prácticamente en la

mayoría de la subcuenca Ayuquila distribuida principalmente en las zonas montañosas lo que supone una resistencia a la infiltración del agua dependiendo de la vegetación y relieve, contrariamente puede aumentar el escurrimiento superficial provocando el aumento del proceso erosivo dentro de la subcuenca de manera general y prácticamente en toda el área de algunas microcuencas delimitadas como Santa Mónica, San Juan Cacoma, trigo de Alteñas y el Colomo por mencionar algunas. La subcuenca del río Ayuquila presenta suelos aluviales, areniscas que son productos de sedimentos ubicados en las partes bajas como lo es en el valle de las microcuencas Autlán, El Grullo, Palo Blanco, Mentidero y en valles de las microcuencas de Unión de Tula, Tenamaxtlan y San Clemente. En estas zonas es donde se manifiesta la mayor práctica agrícola dentro de la subcuenca. En cuanto a su capacidad de infiltración del escurrimiento presentan una porosidad de 25 – 50% y una permeabilidad de 1 – 10² miliydarcy lo que hace suponer una alta infiltración del agua ya que se determina como un suelo poco consolidado. La tendencia anterior también se muestra en la parte sur de la subcuenca con tipo de roca como conglomerados, lutitas y arenas así como yeso, estos materiales conforman las rocas de tipo sedimentario, se presentan dentro de las microcuencas de San Pedro Toxín, la Piedra, el Ocotillo, Camichín Zenzontla , Ventanas y el Rodeo.

Finalmente los suelos residuales que se ubican al norte de la subcuenca del río Ayuquila principalmente dentro de las microcuencas Soyotlán del Oro, Cofradía de Lepe, Juanacatlan y el trigo, este material es producto de la acumulación en el sitio que se van formando y no por transporte de material.

Por otro lado y con relación a las redes de drenaje (*Fig. 9*) que son un producto de la influencia de las rocas y los suelos por lo que se manifiesta en áreas de rocas ígneas generalmente (*Fig. 8*) un tipo de drenaje dendrítico que se presenta generalmente en materiales y formaciones con granulación fina, material homogéneo, permeabilidad relativamente baja, roca dura y resistente a la erosión. Otro tipo de drenaje que se presenta dentro de la subcuenca es el radial que ocurre exclusivamente en aquellas zonas donde los fenómenos geológicos han formado elevaciones cónicas como el caso de volcanes y extrusiones cónicas. El drenaje radial está presente dentro de las microcuencas de Cofradía de Lepe, Juanacatlan y Mesa de los Nuño. Para terminar el tipo de drenaje desordenado son sistemas no ordenados, resulta de formas de suelo relativamente jóvenes con topografías llanas o suaves y elevada capa freática. En las

depresiones existen zonas pantanosas, lagunas; pueden presentarse en llanuras jóvenes y en llanuras aluviales. Las microcuencas con este sistema de drenaje se presentan dentro de las microcuencas de San Clemente y Tenamaxtlan (Sánchez, 1987; Campos, 1987; CEOTMA, 1981; Guerra, 1980).

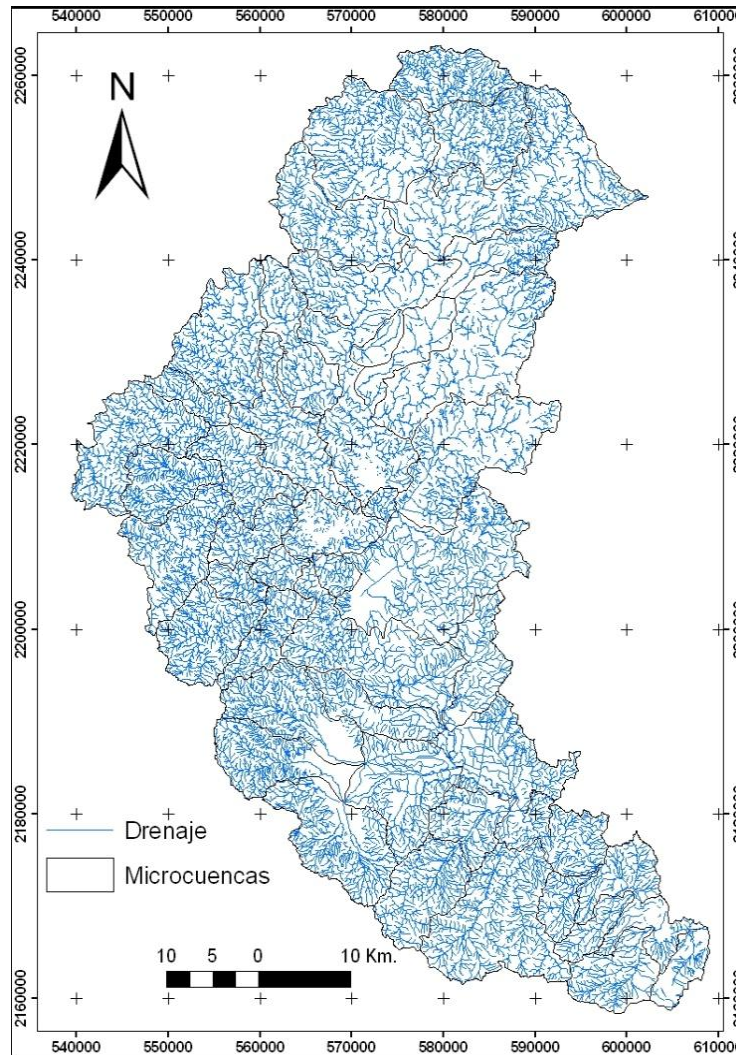


Figura 21. Sistema de drenaje de la Subcuenca del río Ayuquila

Dentro de la microcuenca de San Pedro Toxín se presenta áreas cársticas donde por sus propias condiciones, son espacios hidrológicamente complejos dado que buena parte de las aguas se infiltran y circulan de forma subterránea. La localización de las depresiones cerradas interrumpe los flujos superficiales y suelen presentar sumideros para las aguas superficiales. Estos sistemas subterráneos se inician en la parte alta de la

microcuenca aflorando el escurrimiento en la parte baja de la microcuenca cerca del poblado de San Pedro Toxín.

En cuanto a lo que se refiere a los tipos de suelo (*Tabla 16*) se observa la incorporación de Feozem en las partes bajas (*Fig. 10*) y donde se presentan los suelos arenosos en conjunto con los aluviales además, los suelos regosoles y litosoles se presentan dentro de las rocas ígneas, los cambisoles dentro de los suelos residuales y finalmente los tipos acrisoles y andosoles dentro de la toba volcánica en su mayoría (*Fig. 8*)

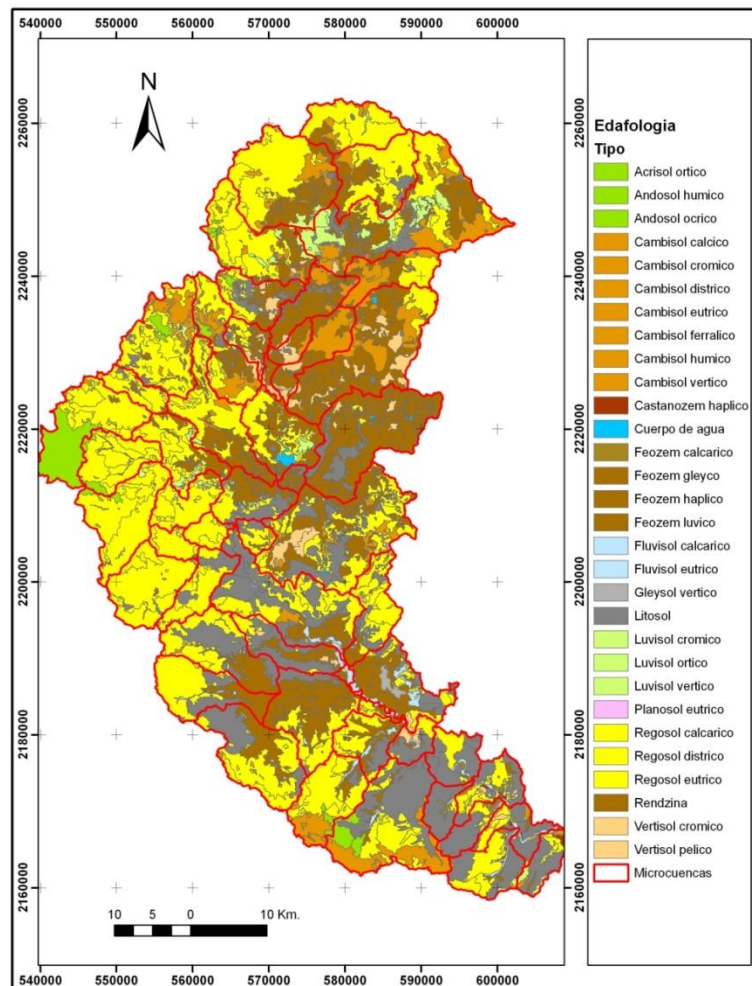


Figura 22. Tipos de suelo presente de la subcuenca del río Ayuquila.

Cuadro 31. Tipos de suelo dentro de la subcuenca del río Ayuquila

| Núm. | Tipo | Área (Km ²) | Hectáreas |
|------|--------------------|-------------------------|-----------|
| 1 | Acrisol ortico | 24.78 | 2478.00 |
| 2 | Andosol húmico | 56.09 | 5608.59 |
| 3 | Andosol ocrico | 3.61 | 361.42 |
| 4 | Cambisol cálcico | 1.81 | 181.42 |
| 5 | Cambisol cromico | 91.31 | 9131.46 |
| 6 | Cambisol districo | 5.28 | 528.46 |
| 7 | Cambisol eutrico | 57.78 | 5778.46 |
| 8 | Cambisol ferralico | 55.14 | 5514.25 |
| 9 | Cambisol húmico | 86.01 | 8601.15 |
| 10 | Cambisol vertico | 1.13 | 112.55 |
| 11 | Castanozem haplico | 2.61 | 260.65 |
| 12 | Cuerpo de agua | 5.23 | 522.96 |
| 13 | Feozem calcarico | 8.79 | 879.07 |
| 14 | Feozem gleyco | 39.63 | 3962.77 |
| 15 | Feozem haplico | 839.19 | 83919.29 |
| 16 | Feozem luvico | 59.93 | 5993.29 |
| 17 | Fluvisol calcarico | 0.09 | 9.37 |
| 18 | Fluvisol eutrico | 44.03 | 4402.82 |
| 19 | Gleysol vertico | 4.83 | 483.19 |
| 20 | Litosol | 564.49 | 56448.60 |
| 21 | Luvisol cromico | 58.17 | 5817.43 |
| 22 | Luvisol ortico | 2.96 | 296.34 |
| 23 | Luvisol vertico | 8.40 | 840.00 |
| 24 | Planosol eutrico | 0.91 | 90.67 |
| 25 | Regosol calcarico | 23.11 | 2310.65 |
| 26 | Regosol districo | 144.52 | 14451.87 |
| 27 | Regosol eutrico | 1377.94 | 137793.92 |
| 28 | Rendzina | 3.43 | 342.66 |
| 29 | Vertisol cromico | 7.99 | 798.55 |
| 30 | Vertisol pelico | 74.18 | 7418.25 |

Por otro lado, la clase textural indica el tamaño general de las partículas que forman el suelo donde la clase gruesa formada por suelos arenosos (con más de 65% de arena) con infiltración buena, permeable, pero con una menor capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas (CETENAL 1970). Distribuido en la parte media de la subcuenca dentro de las microcuencas Autlán de Navarro, Ahuacapán, Ayutita, Ayuquila y Unión de Tula principalmente (*Fig. 11*). La clase media está equilibrada

generalmente de arena, limo, arcilla, distribuida en su mayor parte dentro de la subcuenca y la clase fina presenta suelos arcillosos de textura fina (con más del 35% de arcilla) que tienen mal drenaje, escasa porosidad, son por lo general duros en secarse se inundan fácilmente y son menos favorables para el laboreo. Esta distribuida en su mayor parte en la zona norte de la subcuenca del río Ayuquila.

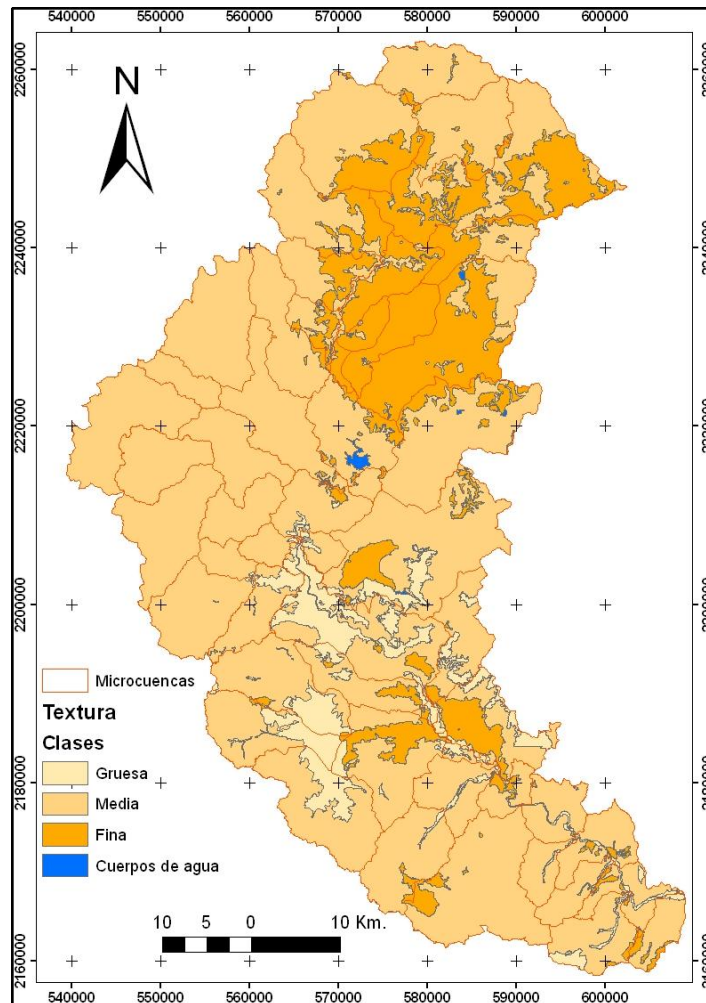


Figura 23. Distribución de las clases texturales dentro de la subcuenca del Río Ayuquila

Se puede mencionar que la distribución del agua tanto en cantidad como en calidad, es caprichosa por ejemplo la escasez del agua en zonas donde una cuenca hidrográfica está dividida entre límites políticos provoca conflictos. Entonces el estudio de los suelos - vegetación y su influencia sobre el escurrimiento se hace cada vez más determinante. En este apartado se presentan los usos de suelo y vegetación (*Fig. 24*)

dentro de la subcuenca del río Ayuquila. La interceptación se refiere al agua interceptada por una cubierta vegetal por lo que dentro de la subcuenca del río Ayuquila el incremento de las zonas agrícolas (principalmente en los valles con pendientes leves) va decreciendo la vegetación lo que se puede interpretar como una falta de interceptación, infiltración del escurrimiento lo que puede provocar aumentos de la escorrentía superficial principalmente para la parte media.

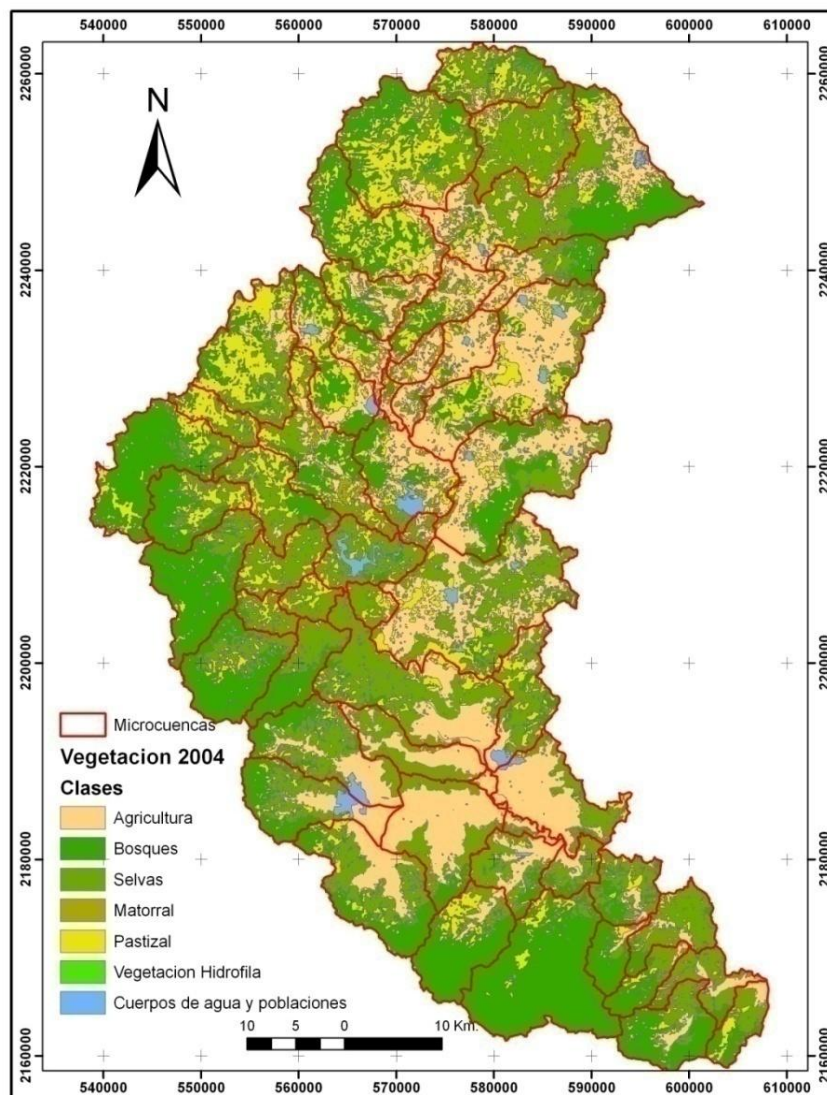


Figura 24. Uso del suelo y vegetación presente dentro de la subcuenca del río Ayuquila.

En consecuencia, dentro de la subcuenca el cambio de uso del suelo y vegetación, o en general el cambio de tipos de cobertura del terreno es en mayor medida, consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural. Dichos cambios indican el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, y permiten identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas. La identificación espacial y la cuantificación de los cambios contribuyen a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al establecimiento de políticas correctivas y a la formulación de planes de acción respectivos para el mejor manejo de los recursos. A continuación se muestra los diferentes usos y la vegetación (*Tabla 14*) con su área representativa en hectáreas como lo es la agricultura con un valor de 74768.77 has, bosques con un área en hectáreas de 97797.23, selvas con un área de 91568.32 has., matorrales con un valor de 28859.85 has., el área de los pastizales es de 68361.74 has. y finalmente la vegetación hidrófila con un valor en hectáreas de 83.27.

Cuadro 32. Valores en hectáreas de los diferentes tipos de vegetación.

| Tipo | Hectáreas | Tipo | Hectáreas |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Abies | 1141,87 | Pastizal - Huizachal | 3781,69 |
| Agricultura | 74768,78 | pino | 662,30 |
| Áreas urbanas | 2274,99 | pino - abierto | 100,35 |
| Bosque de Encino | 52243,08 | Pino - encino | 33968,03 |
| Bosque de Encino-abierto | 2228,88 | Pino - encino - abierto | 7452,73 |
| Cuerpos de agua | 1593,74 | Popal - Lirio | 83,28 |
| Matorral sub-tropical | 20339,70 | Selva baja | 91113,12 |
| Mezquital – huizachal | 8520,15 | Selva mediana | 455,20 |
| Pasto | 64580,06 | | |

Por otro lado, y siguiendo con la caracterización de la subcuenca del río Ayuquila, las áreas naturales protegidas (ANP) (*Fig. 13*) son áreas destinadas a la protección y conservación de valores biológicos, con fines de restauración y

conservación de los bienes y servicios ambientales, para propiciar mejores condiciones ecológicas del entorno y ambientes sanos para la población presente y futura (INESEMARNAT 2004)

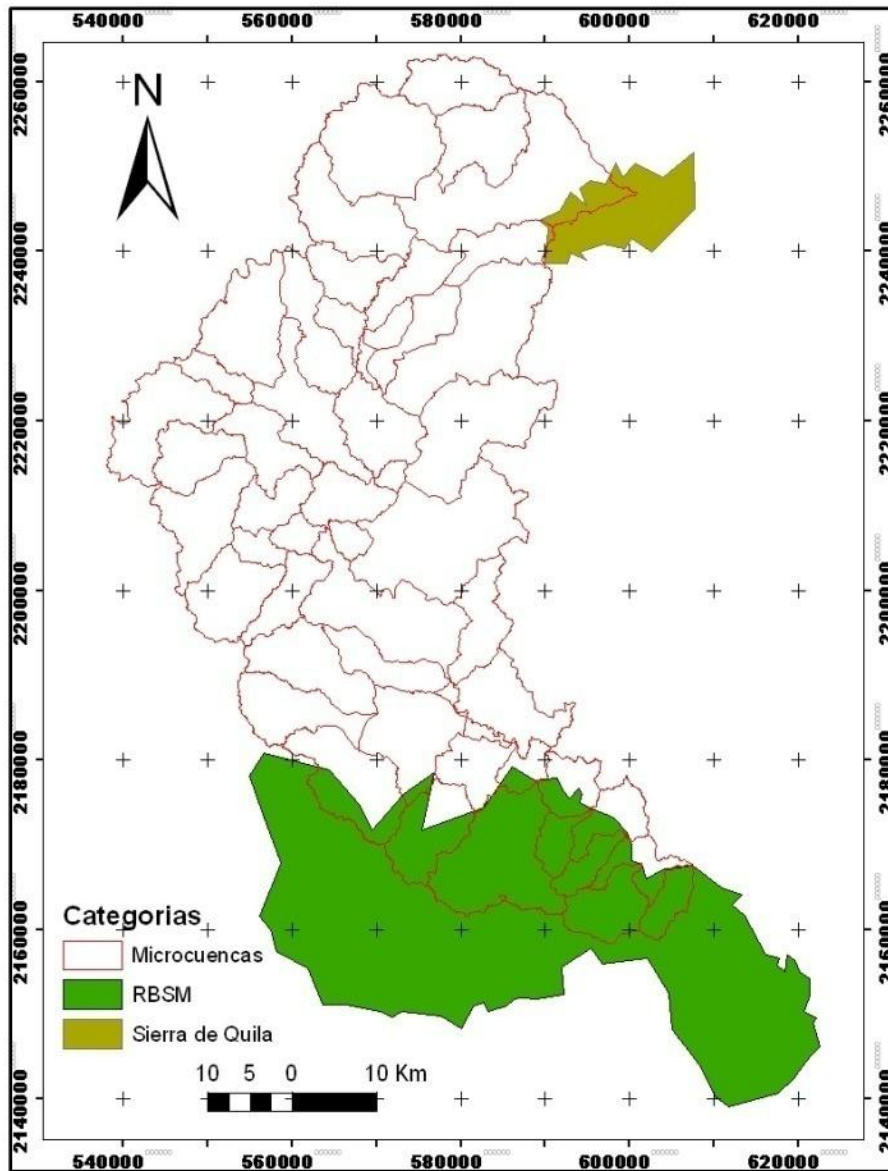


Figura 25. Áreas naturales protegidas ubicadas dentro de la subcuenca del Río Ayuquila.

La contaminación del agua dentro de la subcuenca del río Ayuquila se convierte en una preocupación constante ya que según análisis relacionados al respecto como el generado por la CNA con base a la demanda bioquímica de oxígeno llamado índice de calidad de agua (ICA), en relación a lo anterior dentro de la subcuenca se

observa que las microcuencas con una mayor deterioro a la contaminación el deterioro del agua se observa en el valle de Autlán el Grullo y Melchor Ocampo, Ayutita, Ahuacapán, el Mentidero, Palo Blanco, Mezquitan y Cuatro Caminos por lo que la relación con la aptitud de conservación del agua es baja.

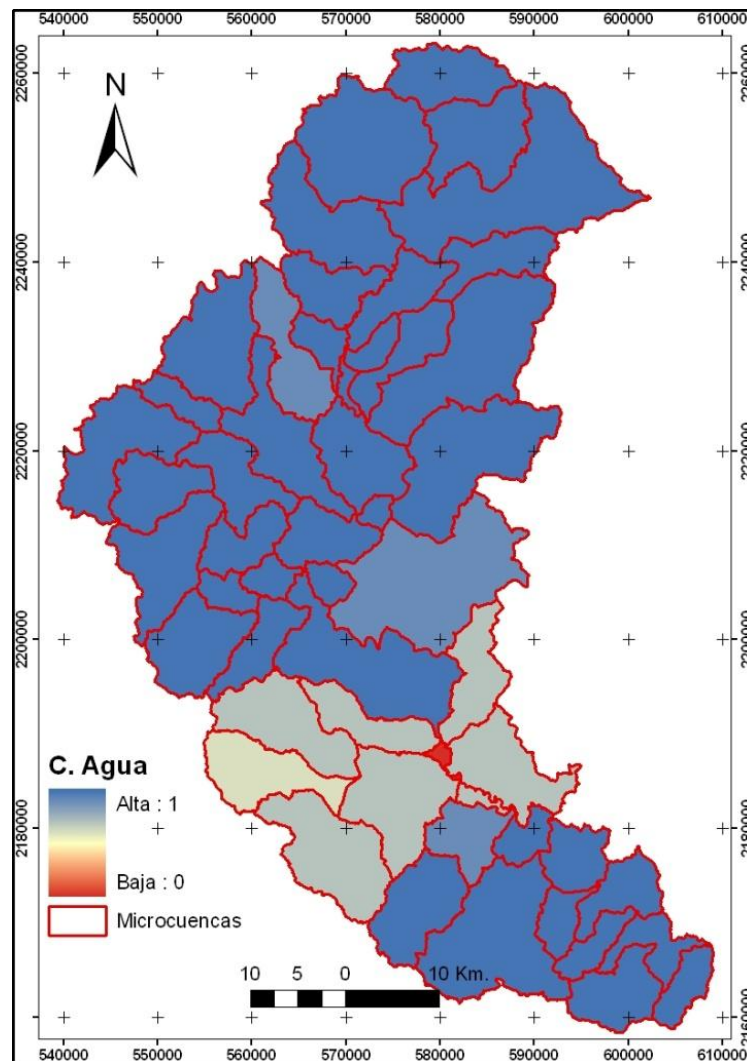


Figura 26. Mapa representativo de la calidad de agua (ICA).

Los puntos de contaminación aumentan con las actividades antrópicas (Fig. 27) y se relaciona con la cobertura anterior (Fig. 26) ya que a medida que exista mayor contaminación mayor será la generación de puntos de contaminación además, la generación de puntos de contaminación también se concentra en la parte media de la subcuenca del río Ayuquila por lo que las microcuencas con mayor tendencia a generar

contaminación son Autlán, El Grullo y Unión de Tula y en menor proporción Tenamaxtlan y Ayutla.

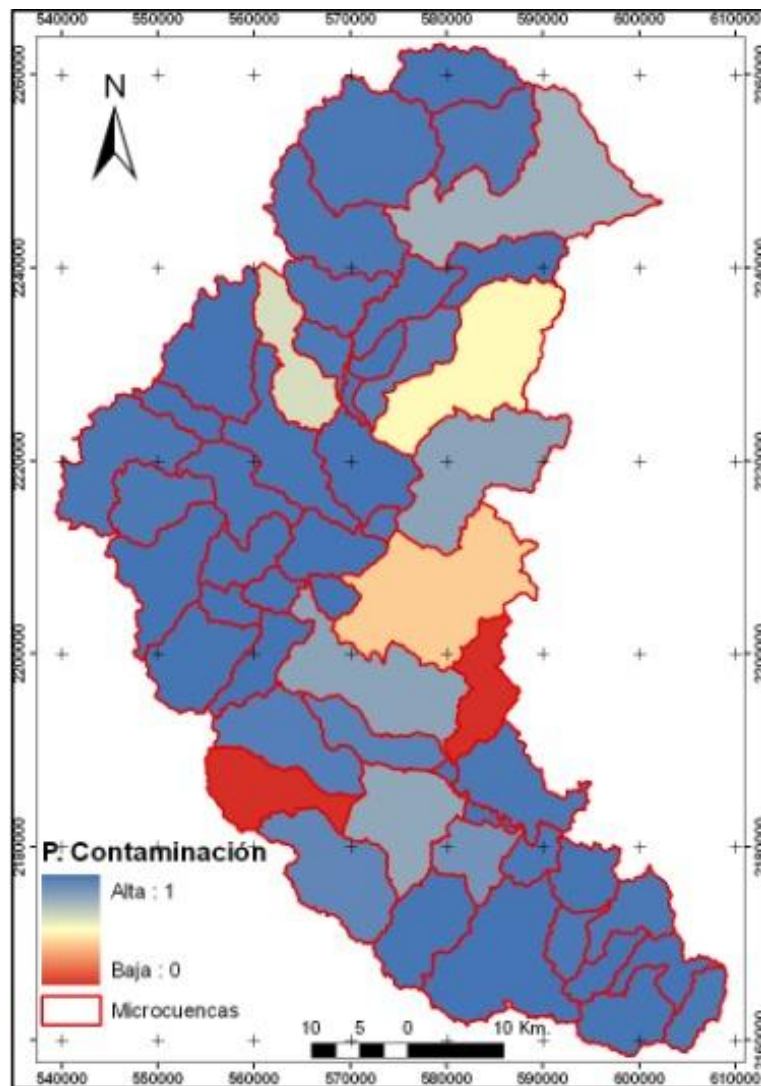


Figura 27. Mapa representativo de los puntos de contaminación dentro de las microcuencas.

Finalmente cabe mencionar que el éxito de un proyecto para el aprovechamiento de recursos hídricos, depende en gran medida de los planes de manejo a implementarse con miras a asegurar, hasta cierto punto, la disponibilidad de agua y la reducción del volumen de sedimentos hasta rangos aceptables. En el caso del manejo de sedimentos es necesario contar con metodologías que permitan la evaluación de zonas vulnerables a la erosión hídrica, la que predominantemente origina la pérdida de suelo y la consecuente producción de sedimentos.