



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Comportamiento hidrológico y gestión del agua para consumo humano en la
microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México**

por

Celestino Sandoval García

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

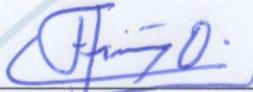
Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Turrialba, Costa Rica, 2010

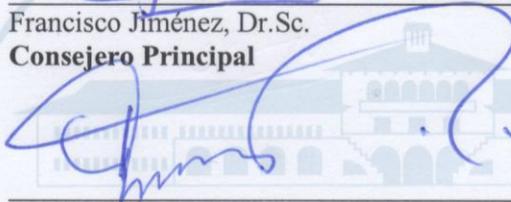
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

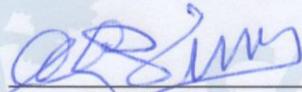
FIRMANTES:



Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Consejero Principal



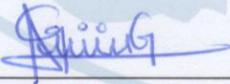
Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Cornelis Prins, M.A.
Miembro Comité Consejero

Jorge Chagoya, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Celestino Sandoval García
Candidato

DEDICATORIA

A mis abuelitas

Agustina Mendoza por el apoyo siempre.

A la memoria de mi abuela Sebastiana Pérez (q.e.d.p.+) quien se que comparte conmigo este triunfo, gracias abuelita.

A mis padres

A mi madre Feliciano García Pérez por todo su apoyo que siempre me ha brindado y a mi padre Isaías Sandoval Mendoza.

A mis hermanos

Rufino Sandoval García y Felipe Sandoval García por estar en todo momento conmigo.

A mis hermanas

Severiana, María y Carmela por sus apoyos en todo momento.

A mis primos

Tereso García Pérez por todo su apoyo brindado para poder continuar con mis estudios y por ser un ejemplo a seguir.

A Vicente García Rojas por todo el apoyo y las porras que me ha brindado, todas las primas y primos que han compartido conmigo bellos momentos.

A la nueva generación de jóvenes mixtecos, que la pobreza y aridez de nuestra tierra sean motivos de hambre y sed de conocimientos para ayudar a nuestra gente.

Hijo mío, está atento a mi sabiduría, y a mi inteligencia inclina tu oído, para que guardes consejo, y tus labios conserven la ciencia. **Proverbios 5.1-2**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y permitirme cumplir una más de mis metas, y llenar mi vida de muchas bendiciones.

A mi familia por creer, confiar y apoyarme en cada una de mis decisiones, y que ha sido la fortaleza para poder concluir con éxito mis estudios.

A mi profesor consejero, Dr. Francisco Jiménez por su apoyo, paciencia y dirección en todo momento para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Jorge Chagoya Fuentes por todo su apoyo y las facilidades proporcionadas para poder realizar la presente investigación.

Al M. Sc. Sergio Velásquez por todo el apoyo que me ha brindado para la realización de la presente investigación.

Al M. Sc. Cornelis Prins por su valioso apoyo en la elaboración de la presente investigación

A la fundación Ford y al Programa Internacional de Becas (IFP), por creer en mí y permitirme continuar con mi preparación profesional.

A Blanca Ceballos y Xóchitl Hernández del Instituto Internacional de la Educación (IIE) por su apoyo y acompañamiento durante todo este tiempo.

A la comunidad mexicana en CATIE por todos aquellos momentos de hermandad que nos caracteriza.

A todos y cada uno de mis compañeros y compañeras de la promoción 2009-2010, a mis amigos y amigas, en especial a Marjorie y Floriana.

A mis hermanos y hermanas por todos los momentos que compartimos y que esto sea un motivo de superación para ellos.

A mis tíos Severiano García Pérez y familia, Demetrio García Pérez y familia, Nicolás García Pérez, Alfonso Sandoval Mendoza y familia

A los comités de agua de la Comunidad el Humo, Tepetzintla, Tezital-Tepetzintla y Tezital-Chontla.

A los habitantes de las comunidades de El Humo Tepetzintla, Tezital-Tepetzintla y Tezital-Chontla por permitirme desarrollar la investigación.

A Don Loreto y familia por todo su apoyo en la fase de campo de la investigación.

A Liz por todo su amor, apoyo, comprensión y paciencia durante todo este tiempo para poder concluir con éxito mis estudios.

A la familia Martínez Guzmán por todo el apoyo que me han brindado.

BIOGRAFÍA

El autor nació en la comunidad de Ignacio Zaragoza, Magdalena Peñasco, Tlaxiaco, Oaxaca, México, el 2 de mayo de 1982. Se graduó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la carrera de ingeniería Forestal en 2005.

En el 2006 trabajó en una consultoría forestal prestando asesoría técnica a pequeños propietarios de la sierra sur del estado de Oaxaca, México.

Del 2007 a 2008 trabajó como profesor en el Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. Durante este mismo periodo participó en la elaboración de diagnósticos y planes de desarrollo municipal de Magdalena Peñasco y San Antonio Sinicahua, siendo los municipios con el menor índice de desarrollo humano en el estado de Oaxaca.

Ingreso en 2009 al programa de maestría en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE y obtuvo su título en el 2010.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.1.1 Objetivos específicos y preguntas de investigación	3
2. MARCO REFERENCIAL.....	6
2.2 Conceptos básicos	6
2.2.1 Cuencas hidrográficas.....	6
2.2.2 Manejo integral de cuencas hidrográficas	6
2.2.3 Gestión integral de cuencas hidrográficas	7
2.2.4 Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)	8
2.3 Gestión del agua en la cuenca como unidad de gestión territorial.....	9
2.4 Los sistemas de producción y su influencia en el recurso hídrico	13
2.4.1 Los bosques y el recurso hídrico	14
2.4.2 La ganadería y el recurso hídrico.....	16
2.5 Balance hídrico de cuencas y coberturas vegetales	16
2.5.1 Balance hídrico	16
2.5.2 Ecuación del balance hídrico	17
2.5.3 Precipitación	17
2.5.4 Intercepción de lluvia	18
2.5.5 Evapotranspiración	18
2.5.6 Escorrentía	18
2.5.7 El drenaje o percolación	19
2.5.8 Cambio en el volumen de humedad en el suelo	19
2.5.9 Estudios de balance hídrico	20
2.6 La gestión del recurso hídrico en México	21
2.6.1 Situación del recurso hídrico en México	23
2.7 Oferta y demanda de agua para consumo humano	24
2.7.1 Determinación de la demanda	25
2.7.2 Oferta y demanda del agua en México	27
2.8 Vulnerabilidad del sistema hídrico de agua para consumo humano	28
2.8.1 Estudios de vulnerabilidad.....	29
2.8.2 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario.....	31
2.8.3 Eficiencia de conducción de sistemas hídricos para consumo humano	31
3. METODOLOGÍA	33
3.1 Ubicación del área de estudio	33
3.2 Descripción del área de estudio	34
3.2.1 Sierra de Otontepec.....	34

3.2.2	Descripción biofísica	35
3.2.3	Hidrología	35
3.2.4	Descripción socioeconómica	36
3.3	Procedimiento metodológico	36
3.3.1	Objetivo 1. Determinar los usos de la tierra y la aplicación de buenas prácticas de manejo de cuencas en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.	38
3.3.2	Objetivo 2. Determinar el balance hídrico bajo usos de suelo forestal y pecuario en la microcuenca de San Juan Otontepec, Veracruz, México	39
3.3.3	Precipitación	41
3.3.4	Escorrentía	42
3.3.5	Infiltración	42
3.3.6	Descripción del perfil de suelo	44
3.3.7	Evapotranspiración	44
3.3.8	Percolación	44
3.3.9	Objetivo 3. Analizar la gestión del agua, principalmente para consumo humano, en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.	45
3.3.10	Objetivo 4. Determinar la oferta y la demanda actual y proyectada del agua para consumo humano de las comunidades que se abastecen de la microcuenca San Juan Otontepec.	47
3.3.11	Objetivo 5. Determinar la vulnerabilidad y la eficiencia en la conducción del agua para consumo humanos del acueducto que suministra a las poblaciones de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla, Veracruz, México.	49
3.3.12	Objetivo 6. Proponer estrategias y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.	51
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1	Objetivo 1. Determinar los usos de suelo y la aplicación de buenas prácticas de manejo de cuencas en la microcuenca San Juan Otontepec	52
4.1.1	Usos del suelo	52
4.1.2	Bosque ribereño	53
4.1.3	Bosque secundario	54
4.1.4	Pastizal	54
4.1.5	Cultivos anuales	55
4.1.6	Bosque de encino	55
4.1.7	Pastizal con arbusto	56
4.1.8	Arbustos con pasto	57
4.2	Capacidad de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec	58
4.3	Conflictos de usos de suelo en la microcuencas San Juan Otontepec	60
4.4	Análisis de los sistemas de producción en relación al manejo de la cuenca y protección del agua.	61
4.4.1	Prácticas de producción y conservación forestal	61
4.4.2	Prácticas de ganadería conservacionista	63
4.4.3	Prácticas de agricultura conservacionista	64
4.4.4	Prácticas de manejo y protección del agua en fincas dedicadas a la producción agrícola, pecuaria y forestal	66
4.5	Objetivo 2. Balance hídrico bajo cinco usos de suelo de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México	67

4.6	Elementos de gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.	85
4.6.1	Identificación y caracterización de los actores en la gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.	85
4.6.2	Percepciones de los usuarios y actores claves sobre la gestión del recurso hídrico de la microcuenca San Juan Otontepec.	89
4.7	Oferta y demanda actual y proyectada de agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.	97
4.7.1	Proyección del crecimiento de las poblaciones a tres periodos de tiempo que son a 10, 20 y 50 años.	100
4.7.2	Demanda proyectada del recurso hídrico a tres periodos de tiempo que son a 10, 20 y 50 años de las tres comunidades.	102
4.8	Vulnerabilidad del sistema y eficiencia en la conducción del agua en el acueducto que abastece a las poblaciones de El Humo, Tezitlal Tepetzintla y Tezitlal Chontla, Veracruz México.	104
4.8.1	Vulnerabilidad del sistema de la comunidad de Tezitlal, municipio de Chontla	106
4.8.2	Vulnerabilidad del sistema de la comunidad de El Humo, municipio de Tepetzintla.	108
4.8.3	Vulnerabilidad del sistema de la comunidad Tezitlal, municipio de Tepetzintla.	111
4.9	Medidas para reducir la vulnerabilidad del recurso hídrico.	114
4.10	Eficiencia de conducción de tres acueductos que suministran el agua para consumo humano.	116
4.10.1	Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de Tezitlal, Chontla.	116
4.10.2	Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de El Humo, Tepetzintla.	118
4.10.3	Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de Tezitlal, Tepetzintla.	119
4.11	Estrategias y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec.	121
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	123
5.1	Conclusiones.	123
5.2	Recomendaciones.	125
6.	LITERATURA CITADA.	128
7.	ANEXOS.	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Componentes del sistema para evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano.	50
Cuadro 2 Descripción de las capacidades de uso de suelo de la microcuenca	59
Cuadro 3. Intercepción de lluvia en los usos de la tierra bosque secundario y bosque de encino	67
Cuadro 4. Lluvia incidente en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010).	69
Cuadro 5. Lluvia neta en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010).....	70
Cuadro 6. Escorrentía en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010).....	72
Cuadro 7. Evapotranspiración en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición.....	74
Cuadro 8. Cambio de humedad de suelo en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición.....	76
Cuadro 9. Tasa de infiltración del agua en suelo (cm/h) bajo diferentes usos y profundidades	77
Cuadro 10. Percolación en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición	78
Cuadro 11. Balance hídrico resumido de los diferentes usos de la tierra para el periodo 2007-2010	81
Cuadro 12. Balance hídrico en los diferentes usos de la tierra promedio para el periodo 2007-2010.....	82
Cuadro 13. Actores claves en la gestión del agua para consumo humano en la microcuenca de San Juan Otontepec.	85
Cuadro 14. Calificación para la categorización de actores según la metodología del análisis CLIP.	86
Cuadro 15. Categorización de los actores según la metodología del análisis CLIP.	86
Cuadro 16. Relación de colaboración de los actores claves en la gestión del recurso hídrico de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz.....	88
Cuadro 17. Percepción de los actores claves en la gestión de recurso hídrico para consumo humano de la microcuenca San Juan Otontepec.	89
Cuadro 18. Oferta del caudal mínimo para las comunidades de El Humo, Tezital-Tepetzintla y la comunidad de Tezital-Chontla.	98
Cuadro 19. Oferta del caudal promedio para las comunidades de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla.....	98
Cuadro 20. Población proyectada a los años 2020,2030 y 2060 en las tres comunidades en estudio.	102
Cuadro 21. Demanda del recurso hídrico.....	102
Cuadro 22. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de El Humo Tepetzintla	103
Cuadro 23. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de Tezital- Tepetzintla.	103
Cuadro 24. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de Tezital- Chontla.	103
Cuadro 25. Peso relativo de cada componente en el escenario con ponderación de los componentes del sistema.	105

Cuadro 26. Vulnerabilidad del sistema de Tezital-Chontla sin ponderación.	106
Cuadro 27. Vulnerabilidad del sistema de Tezital-Chontla con ponderación.	107
Cuadro 28. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, municipio de Tepetzintla sin ponderación.	110
Cuadro 29. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, municipio de Tepetzintla con ponderación.....	110
Cuadro 30. Vulnerabilidad del sistema de Tezital, municipio de Tepetzintla sin ponderación.	112
Cuadro 31. Vulnerabilidad del sistema de Tezital, municipio de Tepetzintla con ponderación.	112
Cuadro 32. Medidas y frecuencias de mención para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de la comunidad el Humo.....	115
Cuadro 33. Medición de caudales del acueducto de Tezital, Chontla	117
Cuadro 34. Medición del caudal inicial del acueducto El Humo	118
Cuadro 35. Medición del caudal inicial del acueducto de Tezital, Tepetzintla	119
Cuadro 36. Propuesta de estrategias y acciones presentada por los actores locales de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La cuenca hidrográfica y los subsistemas (Jiménez 2009b).	11
Figura 2. Mapa de ubicación de área protegida “Sierra de Otontepec”.	33
Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México	34
Figura 4 Proceso metodológico de la investigación	37
Figura 5. Fotografías que ilustran los usos los tratamientos usados para la determinación del balance hídrico.	40
Figura 6. Pluviómetro y estación meteorológica	41
Figura 7. Parcela de escorrentía	42
Figura 8 Pruebas de infiltración a dos profundidades.	43
Figura 9. Descripción del perfil de suelo.	44
Figura 10. Sensores instalados a tres profundidades de suelo en el área de estudio.	45
Figura 11. Categoría de actores representados en el diagrama de Venn.	46
Figura 12 Aforo de caudales	48
Figura 13. Medición de eficiencia de conducción	51
Figura 14. Mapa de usos de suelo de la microcuenca San Juan Otontepec	52
Figura 15. Distribución de los usos de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec	53
Figura 16. Uso de la tierra correspondiente a bosque ribereño.	53
Figura 17. Uso de la tierra correspondiente a bosque secundario	54
Figura 18. Uso de la tierra correspondiente a Pastizal.	55
Figura 19. Uso de la tierra correspondiente a caña de azúcar.	55
Figura 20. Uso de la tierra correspondiente a bosque de encino	56
Figura 21. Uso de la tierra correspondiente a pastizal con arbustos	56
Figura 22. Uso de la tierra arbustos con pasto	57
Figura 23. Cambio de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec	57
Figura 24. Capacidad de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec.	59
Figura 25. Conflictos de uso del suelo en la microcuenca San Juan Otontepec	61
Figura 26. Nivel de cumplimiento de las prácticas conservacionistas forestales, agrícolas y ganaderas en la microcuenca San Juan Otontepec	66
Figura 27. Nivel de cumplimiento de las prácticas de manejo y protección del agua en la microcuenca San Juan Otontepec	66
Figura 28. Humedad de suelo a tres profundidades (15,45 y 75 cm) y lluvia en uso de la tierra bosque secundario	75
Figura 29. Lluvia neta (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.	83
Figura 30. Escorrentía (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.	83
Figura 31. Evapotranspiración real (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.	84
Figura 32. Percolación (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.	84
Figura 33. Actores claves de la microcuenca San Juan Otontepec	85
Figura 34 Caudal mensual captado para el periodo 2007-2010.	99
Figura 35 Sistemas de recurso hídrico evaluados en la microcuenca San Juan Otontepec.	105
Figura 36. Vulnerabilidad de los componentes del sistema de Tezital-Chontla.	106
Figura 37. Vulnerabilidades del sistema de Tezital, Chontla	108
Figura 38. Vulnerabilidad de los componentes del acueducto El Humo-Tepetzintla.	110

Figura 39. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, Tepetzintla.	111
Figura 40. Vulnerabilidad de los componentes del acueducto Tezitlal- Tepetzintla.....	112
Figura 41. Vulnerabilidad del sistema de Tezitla, Tepetzintla.	113
Figura 42. Medidas de adopción para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de Tezitlal- Chontal.....	114
Figura 43. Medidas de adopción para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de Tezitlal	115
Figura 44. Ganado en las fuentes de agua.....	116
Figura 45. Fugas de agua y arqueado de tubo.....	117
Figura 46. Línea de conducción de la comunidad El Humo, Tepetzintla.	119
Figura 47. Fugas de la línea de conducción de Tezitlal Tepetzintla	120

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AMUNIC: Asociación de Municipios de Nicaragua
ANP: Área Natural Protegida
ASF: Auditoría Superior de la Federación
BHID: Balance Hídrico Integrado y Dinámico
CAEV: Comisión del Agua del Estado de Veracruz
CNA: Comisión Nacional del Agua
CONAPO: Consejo Nacional de Población
CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
EM: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FAS: Factor de Amenaza Sísmica
GIRH: Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GWP: Global Water Partnership
IBD: Índice Básico de Daño
INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
IMN: Instituto Meteorológico Nacional
LAN: Ley de Aguas Nacionales
MIRH: Manejo Integrado del Recurso Hídrico
ONU: Organización de las Naciones Unidas
OMS: Organización Mundial de la Salud
OPS: Organización Panamericana de la Salud
PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SEDESMA: Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente
SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales
SMN: Servicio Hidrológico Nacional
SANAA: Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados

Sandoval García C. 2010. Comportamiento hidrológico y gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México. Tesis Mag. Sc., Turrialba, CR. CATIE, 177 p.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca san juan otontepec, así como la gestión del agua para consumo humano de las comunidades de el humo-tepetzintla, tezital-tepetzintla y tezital-chontla. mediante diferentes metodologías, se determinaron los usos del suelo, las prácticas de buen manejo de cuencas y protección del agua y el balance hídrico bajo usos de suelo. También se identificaron y caracterizaron los actores claves en la gestión del agua para consumo humano, se determinó la oferta y la demanda actual y proyectada del agua para consumo humano, la vulnerabilidad del acueducto, y la eficiencia de conducción del agua en el mismo. Finalmente el establecimiento de estrategias y acciones para la gestión sostenible del agua en la microcuenca.

El 95% de la microcuenca está bajo uso del suelo correcto, correspondiendo a bosque secundario, pastizal, bosque ribereño, bosque de encino y pasto con arbustos, mientras que el 5% se encuentra en sobre uso y es ocupado por pastizal con arbusto y cultivos anuales. La mayor parte de la microcuenca está dedicada a la actividad pecuaria y forestal, y en menor proporción a la actividad agrícola, sin embargo, solo el 50% de los usos se realizan con prácticas conservacionistas que contribuyan al buen manejo de la microcuenca. Según el balance hídrico, la escorrentía fue despreciable en todos los usos del suelo (menor de 1% de lluvia incidente), la evapotranspiración promedio fue de 32% variando entre 26% (pastizal con arbusto) y 43% (bosque de encino), la percolación promedio fue de 67% y varió entre 55% (bosque de encino) y 74% (pastizal con arbusto) de la precipitación neta.

El actor dominante en la gestión del agua para consumo humano es el comité del agua de cada comunidad. De acuerdo a la proyección de la demanda de recurso hídrico para consumo humano, las comunidades comenzarán a tener escasez del agua a partir del 2020, sin embargo, la comunidad de El Humo, a partir del 2010. El acueducto de las tres comunidades presentó muy alta vulnerabilidad el componente manejo de agua post-uso. La eficiencia de conducción del agua en los acueductos de las tres comunidades fue superior a 95%.

Palabras claves: usos de suelo, balance hídrico, actores claves, oferta, demanda, vulnerabilidad, eficiencia.

Sandoval García C. 2010. Hydrological and water management for human consumption in the San Juan watershed Otontepec, Veracruz Mexico. Mag. Sc. thesis, Turrialba, CR. CATIE, 182 p.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the hydrological behavior of the microbasin of San Juan Otontepec, and water management for human consumption of the Humo-Tepetzintla, Tezital-Tepetzintla and Tezital-Chontla communities. The methodology used for the research included: identification the land uses practices of good management and water conservation balance and water balance for different land uses identified. The identifications set and characterized of actors in the management of drinking water were determined by the current supply and demand, and estimated populations, the vulnerability and conduction efficiency of the aqueduct was assessed. Finally, action strategies were developed for the efficient and sustainable management of the water resources within the mentioned watershed context. 95% of the watershed was under right land use, corresponding to secondary forests, grasslands, riparian forests, oak forests and grass with shrubs, while 5% was in over-use, which is occupied by shrub grasslands and annual crops. Most of the watershed is devoted to livestock and forestry while to a less extent agricultural activity. However, only 50% of the human activities being carried in the area apply conservation practices that favour the sustainable management of the watershed's resources. According to the water balance analysis, water runoff was negligible in all land uses (less than 1% of incident rainfall), while average evapotranspiration rate was 32% ranging between 26% (shrub grasslands) and 43% (oak forest), average percolation rate was 67% which oscillated between 55% (in oak forest) and 74% (shrub grasslands). The community water committees were the dominate stakeholders in the management of water resources for human consumption. Based on the projected demand for drinking water, all communities will experience shortages in availability of water starting in 2020, however El Humo, since 2010. The aqueduct of the three communities, presented a very high vulnerability in the post-use water management component. Aqueduct conveyance efficiency in all communities exceeded 95%.

Keywords: land use, water balance, key actors, supply, demand, vulnerability and efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad y el uso de agua dulce, así como la conservación de los recursos acuáticos, son fundamentales para el bienestar humano. Los servicios de soporte vital de los ecosistemas entre los que se encuentra el recurso hídrico están en peligro, debido entre otros factores al impacto del crecimiento de la población, al éxodo de las poblaciones rurales hacia las ciudades, así como al cambio climático. Si la tendencia actual continúa, se estima que para el 2025, unos 1800 millones de personas estarán viviendo en países o regiones con una escasez de agua total y dos tercios de la población mundial podrían sufrir estrés hídrico (PNUMA 2007).

En los últimos 50 años los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápidos y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida sobre la Tierra (ONU 2005).

En la actualidad uno de los principales temas que preocupa a la sociedad es el agua, ello se evidencia en la gran cantidad de foros locales, nacionales e internacionales que se realizan, cada vez con mayor frecuencia, para abordar desde diferentes perspectivas y problemas como la escasez de agua y su contaminación. Uno de los grandes retos es lograr el equilibrio hídrico que requieren los cuerpos de agua superficiales y subterráneos de México para satisfacer la demanda de todos los usuarios, incluyendo a los ecosistemas (CNA 2008a).

Con base a las tendencias actuales de crecimiento poblacional, el uso y manejo del agua, se estima que para el 2030, la situación del agua en México se tornará más crítica su disponibilidad, es por ello que para hacer frente a esta situación, en el Programa Nacional Hídrico 2007- 2012 se han establecido los objetivos, con sus respectivas estrategias y metas que permitan revertir la situación actual, entre las siguientes: las ciudades y las comunidades rurales cuenten con servicios adecuados de agua potable y alcantarillado; las aguas residuales se traten y se rehúsen; el sector productivo, la agricultura y a la industria cuente con el agua que requiere; se utilice el agua de manera eficiente, se pague lo justo por su consumo, se preserven los ríos, lagos, acuíferos y humedales, para que exista en ellos agua limpia, a fin de garantizar el bienestar actual y futuro de los mexicanos, así como la conservación del ambiente (CNA 2008b).

En el Norte del estado de Veracruz, existe un macizo montañoso el cual proporciona un servicio ecosistémico hídrico a 120,000 habitantes (INEGI 2005) de los municipios de

Tepetzintla, Chontla, Tamalín, Chinampa de Gorostiza, Tantima, Ixcatepec, Citlaltepēt, Naranjos-Amatlan y Tancoco (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz 2005). Esta montaña, a pesar de su importancia hidrológica, presenta severos procesos de deforestación los cuales ponen en riesgo la generación de dicho servicio ecosistémico.

En el 2005, se decretó a la Sierra de Otontepec, Veracruz, México, como área natural protegida, considerando que la delimitación de la zona regulará los usos de suelo actuales y futuros, además de proteger los servicios ambientales que presta el área, como captación de agua, protección a la biodiversidad, captura de carbono, entre otros. Además de que forma parte de las cuencas hidrológicas de la Laguna de Tamiahua, Río Tuxpan y Río Pánuco; y de las subcuencas de Buenavista, Pantepec, La Puerta, La Potosina, Naranjos-Amatlán y parcialmente de Encarnación y Cerro Azul, reconociendo así la importancia hidrológica y ecológica, así como la generación de servicios ecosistémicos (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz 2005).

Los recursos de agua dulce están bajo presiones crecientes, dado al crecimiento de la población, el incremento en la actividad económica y la mejor calidad de vida que llevan a conflictos y a una creciente competencia por los recursos limitados de agua dulce. Así mismo, la combinación de inequidad social, marginalidad económica y una carencia de programas de superación de la pobreza, obligan a las personas que viven en la extrema pobreza a sobreexplotar las tierras y los recursos forestales, lo que habitualmente resulta en impactos negativos sobre los recursos hídricos (GWP 2000).

Ese es el caso del área natural protegida Sierra de Otontepec (ANP-Sierra de Otontepec) Veracruz, donde habitan comunidades que demandan agua para poder llevar a cabo diferentes actividades que les permitan sobrevivir; además, en los últimos años, estas han tenido problemas sociales como resultado de la escasez de agua, principalmente durante los meses de verano, en donde los consumidores sólo tienen acceso al agua dos días por semana y solamente durante algunas horas por día. Además, los municipios que rodean la montaña no tienen una estrategia sostenible de gestión de cuencas hidrográficas. De hecho, en los últimos años, la única estrategia para mejorar la oferta de las comunidades era tomar agua de otras fuentes en las tierras altas de la montaña (Chagoya 2009).

Actualmente el avance de la población urbana y sus actividades de subsistencia en la zona han traído como consecuencia un cambio en el uso original del suelo, ocasionando el reemplazo e introducción de diversas especies de vegetación, razón por la cual se debe delimitar la superficie del área, con la finalidad de regular el uso del suelo y promover las actividades más apropiadas

en la zona; de no ser así, se tiende a provocar un grave deterioro ecológico, con probabilidad de la degradación total del área y con ello los servicios ambientales que proporciona, principalmente la recarga de acuíferos, regulación climática y captura de carbono, además de refugio de fauna y flora silvestre (Gaceta Oficial del Estado de Veracruz 2005).

Dada la falta de investigación sobre la gestión del agua para consumo humano en la zona de estudio, es importante generar la misma, que permita a las poblaciones conocer la disponibilidad del recurso hídrico, así como disponer de elementos para la toma de decisiones para el uso, manejo y gestión del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, ya que durante el año 2001 y 2004, el municipio de Tepetzintla tuvo un enfrentamiento social debido a un conflicto entre dos comunidades aledañas, El Humo y Tierra Blanca, dado que el mismo manantial no podía abastecer a ambas poblaciones, generando una difícil situación política y social entre las comunidades. Con respecto a la infraestructura hidráulica que abastece al municipio, esta se construyó hace dos décadas por lo que actualmente presenta deficiencias en la conducción del agua (Chagoya 2009).

1.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca San Juan Otontepec y la gestión del recurso hídrico para consumo humano en las comunidades de El Humo, Tezital-Tepetzintla y Tezital-Chontla, Veracruz, México

1.1.1 Objetivos específicos y preguntas de investigación

1. Determinar los usos de la tierra y la aplicación de prácticas de buen manejo de cuencas en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.

- ¿Cuáles son los usos de la tierra que existen en la microcuenca de San Juan Otontepec, Veracruz?
- ¿Qué tipo de conflictos existen en el uso de la tierra en la microcuenca de San Juan Otontepec, Veracruz?
- ¿Las prácticas de producción agrosilvopecuarias en la microcuenca cumplen con criterios de buena gestión de cuencas?

2. Determinar el balance hídrico bajo usos del suelo forestal y pecuario en la microcuenca de San Juan Otontepec, Veracruz, México.

- ¿Cuál es el balance hídrico que existe en la microcuenca de Otontepec, de acuerdo a los diferentes tipos de usos de suelo?
- ¿Existen diferencias en el balance hídrico de acuerdo a las estaciones del año en la microcuenca de Otontepec?

3. Analizar la gestión del agua, principalmente para consumo humano, en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.

- ¿Cuáles son los principales actores que tiene relación directa, así como el grado de interacción entre ellos con el manejo del recurso hídrico en la microcuenca?
- ¿Cuál es la percepción de los usuarios sobre la gestión del agua en la subcuenca San Juan Otontepec?
- ¿Qué tipo de conflictos existen en el uso y manejo del recurso hídrico en la microcuenca San Juan de Otontepec, Veracruz?
- ¿Cómo se maneja los conflictos por el uso del agua, transferencia de derechos, poderes sobre el agua, derechos de propiedad; existen ejemplos?
- ¿Existen organizaciones locales, comunitarias, adicionales a los entes estatales y federales que velan por el uso, manejo y gestión del agua; qué función y respaldo legal tienen; como se estructuran y se organizan internamente?
- ¿Cuáles son los medios y formas de participación real de los usuarios del recurso hídrico, en la toma de decisiones sobre su uso, acceso, manejo y gestión del mismo?
- ¿Cuál es el grado de inversión pública anual en agua para consumo y saneamiento en la microcuenca (tratamiento de agua, infraestructura, fortalecimiento de capacidades, capacitación y educación, micromedicación, operación y mantenimiento, manejo y uso del agua, manejo de la cuenca); como se financia?
- ¿Qué vinculación existe entre la gestión administrativa del agua en la microcuenca alta y acciones de protección, manejo y conservación de las zonas aparentes de recarga hídrica; que acciones concretas existen?

4. Determinar la oferta y la demanda actual y proyectada de agua para consumo humano de las comunidades que se abastecen de la microcuenca San Juan Otontepec.

- ¿Cuál es la oferta actual del recurso hídrico de la microcuenca para consumo humano?
- ¿Cuál es la demanda actual y proyectada del agua para consumo humano en la microcuenca?

5. Determinar la vulnerabilidad y la eficiencia en la conducción del agua para consumo humanos del acueducto que suministra a las poblaciones de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla, Veracruz México.

- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad de los diferentes componentes del sistema hídrico para consumo humano de la microcuenca?
- ¿Qué medidas se pueden adoptar para reducir la vulnerabilidad del recurso hídrico?
- ¿Cuál es la eficiencia de conducción del agua para consumo humano de la toma en el sitio de captación hasta el sitio de almacenamiento previo a la distribución a los usuarios?

6. Proponer estrategias y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.

- ¿Qué estrategias y acciones se deben de implementar para lograr una gestión sostenible de agua en la microcuenca?

¿Quién o quiénes deben de implementar las estrategias y las acciones para lograr una la gestión sostenible del agua en la microcuenca

2. MARCO REFERENCIAL

2.2 Conceptos básicos

2.2.1 Cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica es definida como un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua, por lo que es considerada como una unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Está conformada por componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora y fauna) y humanas (socioeconómicos, culturales, institucionales), que guardan interrelación y equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno, se produce un desbalance poniendo en peligro a la cuenca como un sistema (Ramakrishna 1997).

La ley de aguas nacionales de México define cuenca hidrológica como la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente limitada por un parte aguas o divisoria de las aguas, aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad, en donde ocurre el agua en distintas formas, y esta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y el medio ambiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas (CNA 2009).

Bajo un enfoque integral e integrado, el concepto de cuenca hidrográfica es mucho más complejo y se refiere a la unidad de gestión territorial definida fundamentalmente por la red de drenaje superficial, en la cual interacciona biofísica y socioeconómicamente el ser humano, los recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente, con el agua como recurso que une e integra sistémicamente la cuenca (Jiménez 2009a).

2.2.2 Manejo integral de cuencas hidrográficas

Según Ramakrishna (1997), el objetivo de manejo de cuencas es el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, en especial el agua, el bosque y el suelo, en función de las necesidades del ser humano para que la población pueda alcanzar una adecuada calidad de vida

en armonía con el ambiente, teniendo en cuenta que las generaciones futuras tendrán la necesidad de esos mismo recursos, por lo que habrá que conservarlos en calidad y cantidad.

El manejo integral de cuencas hidrográficas es el conjunto de acciones que se realizan para proteger, conservar, utilizar, aprovechar, manejar y rehabilitar adecuadamente los recursos naturales en las cuencas hidrográficas de acuerdo al enfoque sistémico, socioambiental, integral, multi e interdisciplinario, multi e intersectorial y del agua como un recurso integrador de la cuenca. Además promueve y busca la sostenibilidad ecológica, social y económica de los recursos naturales y el ambiente en el contexto de la intervención humana, sus necesidades y responsabilidades y del riesgo y la ocurrencia de desastres, principalmente de origen (Jiménez 2009a).

El uso y manejo apropiado y sostenible de los recursos en las partes altas de la cuenca es vital para garantizar la provisión sana de servicios ambientales. La forma en que dicho manejo se da puede ser a través de obras de ingeniería como puentes, caminos y diques, o por medio de cambios en los patrones de uso del suelo que tengan efectos directos sobre la producción de sedimentos, infiltración, niveles de escorrentía, o niveles de evapotranspiración, entre otros. Estas medidas, no obstante, tienen costos económicos y sociales (Porras 2003).

2.2.3 Gestión integral de cuencas hidrográficas

La gestión integral de cuencas hidrográficas incluye el concepto de manejo integral de cuencas, pero además enfatiza en los procesos y acciones (gestión) necesarias para lograr los recursos humanos, económicos, logísticos y administrativos requeridos para lograr ese manejo integral o manejo de la cuenca. La gestión tiene como base un conjunto de procesos y acciones, denominado ciclo de la gestión de cuencas que incluye el reconocimiento de la cuenca, la identificación y análisis de los actores e informantes claves, el diagnóstico, el ordenamiento del territorio, el establecimiento de la línea base, la elaboración e implementación del plan de gestión de la cuenca, los mecanismos de gestión financiera y administrativa, el sistema de monitoreo y evaluación así como la sistematización y comunicación de las experiencias (Jiménez 2009a).

La gestión integrada de las cuencas hidrográficas del decenio de 1980 fue precursora del desarrollo rural sostenible, según se impulsó en la Cumbre de Río, en 1992. Ambos enfoques comparten una perspectiva sistémica de las interacciones biofísicas y sociales, interés en los efectos del cambio que se producen en el lugar y fuera de éste, a corto y a largo plazo, y la convicción fundamental de que una gestión social adecuada puede optimizar el funcionamiento

de los ecosistemas humanos. Ambas tienen como objetivo generar beneficios para la población y el medio ambiente. Este paradigma indica que es difícil distinguir entre el manejo integrado de las cuencas y el desarrollo sostenible en ellas. La pobreza y las estrategias de vida no sostenibles muchas veces contribuyen a la degradación de la cuenca hidrográfica y la planificación requiere tener en cuenta los numerosos nexos que hay entre la pobreza y el manejo de cuenca (FAO 2007).

Probablemente uno de los países latinoamericanos que más ha utilizado este enfoque de gestión de cuencas, en sus inicios ha sido México, país donde muchas actividades de desarrollo regional fueron realizadas por cuencas. Las razones que motivaron la creación de comisiones y corporaciones de cuencas fueron varias. Políticamente las comisiones o autoridades de cuencas con fines de desarrollo regional significaban una presencia directa del gobierno central en algunas regiones deprimidas. Daba la posibilidad de que desde el centro se interviniera en las regiones para realizar grandes obras en un período de gobierno con el consiguiente impacto político. Administrativamente también fue importante (Dourojeanni 1994) ya que:

- Fue una forma de controlar grandes inversiones desde el centro del país así como facilitar el control por parte de los bancos que hacían los préstamos.
- Es un medio para evitar gasto público creando entidades autónomas o semiautónomas con regímenes especiales de captación de fondos y gastos.
- Fue una forma de planear y coordinar el gasto público en cuencas compartidas por varias regiones evitando los conflictos de intereses que pudieran tener entre sí.
- Fue una manera de planificar el aprovechamiento del uso múltiple del agua generando economías de escala (esto es similar para los proyectos exclusivos de aprovechamiento hidráulico).

2.2.4 Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)

Existen varias definiciones de GIRH, pero posiblemente la más reconocida es la propuesta por la Asociación Mundial del Agua (GWP por sus siglas en inglés), misma que fue incorporada a la Ley de Aguas Nacionales (LAN). GWP define la GIRH como un proceso que promueve el manejo y el desarrollo coordinado del agua, las tierras y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP 2000, CNA 2009).

La definición de la gestión integrada de los recursos hídricos plantea en forma implícita un primer nivel de gestión que parte de la necesaria coordinación entre los distintos entes competentes en materia de agua, así como de otros recursos naturales. Sin embargo, en Centroamérica, la gestión institucional se caracteriza por la dispersión de competencias entre diferentes entidades que tienen muy poca coordinación entre sí (Ballesteros 2005).

Los cambios en la institucionalidad para la gestión del agua, hacia a una mejor gobernabilidad para una gestión integrada ha recibido impulso en México, uno de los países de la región con leyes de agua recientemente aprobadas, que reconocen la gestión del agua por cuencas como base esencial. Es un caso excepcional, puesto que, en un periodo extremadamente corto, superando muchos obstáculos de diversa índole, la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha realizado una tarea sin precedente, logrando la instalación en todo el país de 25 Consejos de Cuenca con sus órganos auxiliares que les dan operatividad y sustento social y técnico, aún cuando falta un largo período de consolidación para poder cumplir con las funciones que les corresponden (Dourojeanni et ál. 2002).

2.3 Gestión del agua en la cuenca como unidad de gestión territorial

¿Por qué se consideran las cuencas como unidades territoriales adecuadas para la gestión integrada del agua? Es simplemente porque son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones. Además de esta condición física y biológica básica, se mencionan las siguientes razones que explican este hecho. Las características físicas del agua generan un grado extremadamente alto, y en muchos casos imprevisible, de interrelación e interdependencia (externalidades o efectos externos) entre los usos y usuarios de agua en una cuenca. Las aguas superficiales y subterráneas, sobre todo ríos, lagos y fuentes subterráneas, así como las cuencas de captación, las zonas de recarga, los lugares de extracción de agua, las obras hidráulicas y los puntos de evacuación de aguas servidas, incluidas las franjas costeras, forman, con relación a una cuenca, un sistema integrado e interconectado (Dourojeanni et ál. 2002).

La segunda explicación es que las cuencas constituyen un área en donde interdependen e interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua con los sistemas físico (recursos naturales) y biótico (flora y fauna). Los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente la tierra, aguas arriba acarrearán una modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar. Es por esta razón que es en el

ámbito de una cuenca donde se puede lograr una mejor integración entre la gestión y el aprovechamiento del agua, por un lado, y las acciones de manejo, utilización y control de uso de otros recursos naturales que tienen repercusiones en el sistema hídrico, por el otro (Dourojeanni et ál. 2002).

En tercer lugar, una característica fundamental de las cuencas es que en sus territorios se producen las interrelaciones e interdependencias entre los sistemas físico y biótico, y el socioeconómico (formado por los usuarios de las cuencas, sean habitantes o interventores externos de la misma). En zonas de altas montañas, las cuencas son ejes naturales de comunicación y de integración comercial, a lo largo de sus ríos o de las cumbres que las separan. En cuencas con grandes descargas de agua y amplios valles relativamente planos, el eje de los ríos se constituye también en una zona de articulación de sus habitantes, sobre todo por el uso de los mismos para navegación, transporte y comunicación (Dourojeanni et ál. 2002).

La gestión integral del agua en la cuenca, de acuerdo con Ley de Aguas Nacionales (LAN), incluye todo lo referente al agua, desde la captación, la conducción, los acuerdos de distribución, y la calidad, así como el manejo del agua (LAN 2008). Sin embargo, el manejo sustentable de la cuenca se debe definir como la gestión de todo el espacio geográfico que la conforma, incluyendo el agua superficial y subterránea, el suelo y los ecosistemas terrestres y acuáticos con su biodiversidad (Landa y Carabias 2008).

Muchas cuencas se encuentran dentro del territorio de varias entidades federativas, y cada una vela por sus propios intereses y actúa en consecuencia, perdiendo la visión integral del espacio territorial natural de la cuenca. Los problemas que pueden resolverse con las estructuras orgánicas y los mecanismos de planeación y acción existentes a escala de cuenca son los relacionados con la gestión integral del recurso hídrico, ya que tanto los estados y municipios comprendidos en la cuenca, como la federación con sus distintos sectores, forman parte de estas estructuras orgánicas y mecanismos. Si estas instancias existen y los actores e instituciones adecuados están involucrados en ellas, y además está establecida la obligación legal de planear y actuar bajo los criterios de sustentabilidad a escala de cuenca, no tendría por qué haber obstáculos para la gestión integral del recurso hídrico (Landa y Carabias 2008).

El elemento más importante en definir a la cuenca como unidad de planificación, manejo y gestión de los recursos naturales es que la misma constituye un sistema. La cuenca hidrográfica concebida como un sistema está conformada por las interrelaciones dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas (Jiménez 2009b) (Figura 1):

- Social: demografía, organización, participación, calidad de vida, servicios públicos e infraestructura, conflictos, amenazas antrópicas y vulnerabilidad, etc.
- Económico: ingresos, rentabilidad, inversiones, mercados, pago y cobro de servicios ambientales, vulnerabilidad, externalidades económicas, etc.
- Político: políticas, gobernabilidad, toma de decisiones, municipios, etc.
- Institucional: local y gubernamental, presencia, función, coordinación, etc
- Cultural: costumbres, tradiciones, creencias, valores, etc.
- Legal: tenencia de la tierra, normas, reglamentos, leyes, ordenanzas, etc.
- Tecnológico: tipos y niveles, competitividad, etc.
- Productivo: uso de la tierra, actividades productivas, sistemas y medios, accesos a mercados, distribución de la tierra, etc.
- Físico: suelo, clima, geomorfología, cantidad, calidad y disponibilidad de recursos naturales, amenazas, naturales, vulnerabilidad, etc.
- Biológico: seres humanos, plantas, animales, etc.

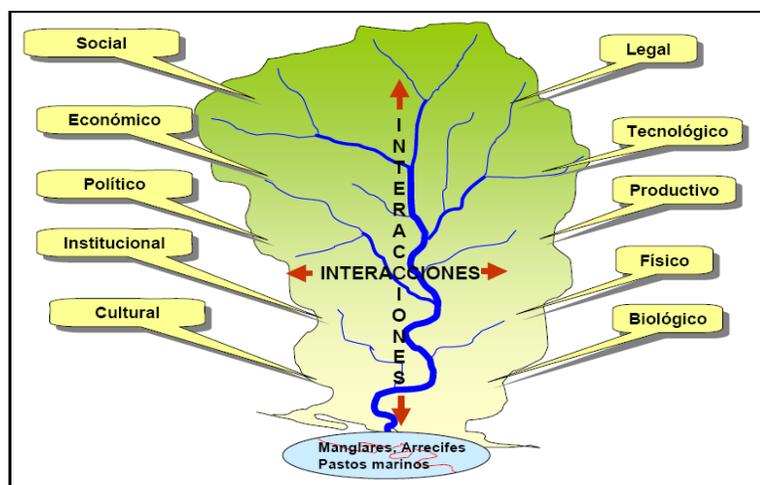


Figura 1. La cuenca hidrográfica y los subsistemas (Jiménez 2009b).

La visión de la cuenca como sistema, también supone el reconocimiento de los siguientes elementos (Jiménez 2009a):

- Interacción entre la parte alta, media y baja de la cuenca, y con la zona marino-costera, cuando corresponde
- El análisis integral de las causas, efectos y posibles soluciones de los problemas
- La identificación y uso racional de las potencialidades y oportunidades de la cuenca
- El papel del agua como recurso integrador de la cuenca

La visión integrada y sistémica de la gestión de cuencas conlleva dos grandes tipos de acciones: unas orientadas a aprovechar los recursos naturales (usarlos, transformarlos, consumirlos) existentes en la cuenca para fines de crecimiento económico (Dourojeanni 1994), y otro grupo orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos, protegerlos), con fin de asegurar la sostenibilidad ambiental (Jiménez 2009a).

El trabajar con enfoque de sistemas, en forma integral e integrada, implica relacionar todos los elementos, integrar acciones, buscando eficiencia y logrando efectos o resultados asociados, denominados externalidades, tales como los servicios ambientales. La cuenca como unidad geográfica constituye un ámbito biofísico y socioeconómico ideal para caracterizar, diagnosticar, planificar y evaluar el uso de los recursos, el ambiente y el impacto global de las prácticas de manejo, en tanto que las unidades de producción, las instituciones, las organizaciones, los marcos regulatorios, los tomadores de decisiones, los actores locales, la cuenca son las unidades de intervención para implementar el manejo de los recursos naturales y el ambiente, según la vocación de la cuenca y de acuerdo a los sistemas productivos en la dinámica de su entorno ecológico y socioeconómico. La integración de todas las unidades de producción e intervención bien manejadas permitirá lograr el manejo integral de la cuenca (Jiménez 2009a).

Así mismos la cuenca constituye también una unidad espacial ecogeográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos agua, suelos, vegetación y fauna. Por lo tanto, constituye un marco apropiado para la planificación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales producto del uso y manejo de los recursos naturales (Jiménez 2009d).

Si bien es cierto que la suma de las partes de la cuenca no logra la integralidad, también es un hecho que cada parte necesita su espacio propio, y deben construirse los espacios intersectoriales de planeación en donde cada sector aporte su potencial y capacidades y, en conjunto, se diseñen estrategias integrales del manejo de las cuencas, que incluyan, además del agua, al resto de los recursos naturales. No obstante, debe ser un espacio aparte y adicional a los existentes, donde se busque alcanzar los objetivos compartidos, resolver los conflictos y buscar sinergias (Landa y Carabias 2008).

2.4 Los sistemas de producción y su influencia en el recurso hídrico

La parte alta de la cuenca presenta diferentes usos del suelo que tienen efectos directos (positivos y/o negativos) sobre los flujos hídricos. Estos usos son consecuencia directa de las estrategias de producción utilizadas por los habitantes para obtener su sustento, y aunque un uso inapropiado del suelo puede tener efectos directos en el sitio, por ejemplo en formar de disminución de la productividad del suelo, la mayoría de los efectos van a ser fuera de sitio y por lo tanto, no son percibidos directamente por el dueño de la propiedad y no existe un incentivo por cambiar dicho uso. Es posible encontrar una gran variedad de actores, desde pequeños grupos de indígenas y campesinos, pequeños propietarios, municipalidades, parques nacionales, reservas, etc. Aunque en la mayoría de los casos estos habitantes tienden a ser pobres o grupos marginados, es posible encontrar situaciones donde las partes altas de la cuenca se hayan convertido en zonas más exclusivas y de importantes niveles de riqueza. Cada situación va a ser especial y sumamente local (Porras 2003).

Es difícil formular declaraciones universales sobre los impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos por diferentes razones, ya que los impactos dependen de un conjunto de factores naturales y socioeconómicos. Los factores naturales incluyen el clima, la topografía y la estructura del suelo. Los factores socioeconómicos incluyen la capacidad económica y la sensibilización de los agricultores, las prácticas de manejo y el desarrollo de la infraestructura, por ejemplo, las carreteras. Además, los impactos del uso agrícola de la tierra podrían ser difíciles de distinguir de los impactos naturales o de los impactos de origen humano, como es el caso del impacto de la escorrentía agrícola comparada con los sistemas de saneamiento rurales sobre la degradación de las aguas superficiales y subterráneas (Kiersch 2000).

En un estudio realizado sobre el cambio de uso del suelo y el aumento poblacional en la microcuenca del río Ciruelas, ubicada en de la subcuenca del río Virilla, cuenca del río Grande de Tárcoles, vertiente Pacífica de Costa Rica, se encontró que la mayor tendencia en la dinámica del uso del suelo en la microcuenca para los períodos analizados es hacia la expansión de los asentamientos humanos; la densidad poblacional en los cantones de la microcuenca presentó un crecimiento continuo. Según la percepción local, los planes reguladores municipales son herramientas urgentes y necesarias para realizar gestiones eficientes con respecto a los recursos hídricos. La falta de un sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento para aguas residuales es un problema en la microcuenca por falta de coordinación institucional y limitaciones económicas.

En la microcuenca existe un alto grado de información e interés sobre la situación actual de los recursos hídricos, sin embargo no existe coordinación y comunicación entre los actores locales (Ureña 2004).

Las prácticas de uso de la tierra también pueden tener importantes impactos en la calidad del agua, que podrían tener efectos negativos o, en algunos casos, positivos sobre los usos del agua. Los impactos incluyen cambios en la carga de sedimentos y en las concentraciones de sales, metales y productos agroquímicos, los agentes patógenos y un cambio en el régimen térmico (Kiersch 2000).

Respecto al régimen hidrológico, Kiersch (2000) distingue entre los impactos sobre las aguas superficiales y las subterráneas. Los impactos de las prácticas de uso de la tierra sobre las aguas superficiales se pueden dividir en impactos sobre la disponibilidad de agua en general, o sobre la escorrentía media anual, e impactos en la distribución estacional del agua. En cuanto a las aguas subterráneas, se debe examinar el efecto del uso de la tierra en la recarga de acuíferos.

2.4.1 Los bosques y el recurso hídrico

La cobertura vegetal (plantas, árboles) y el suelo cumplen la función de retener la lluvia y la humedad del aire, acumulando el líquido para disponerlo por intermedio de la vegetación (evapotranspiración) al aire y/o alimentar cuerpos de agua (percolación) como los acuíferos, nacimientos, quebradas, lagos y ríos. Además la cobertura vegetal también tiene la tarea de filtrar las aguas para mantener su calidad, al actuar como una barrera física al movimiento de los sedimentos y al impacto de la lluvia en los suelos (Echavarría 1999).

Al moderar los impactos de las lluvias y la absorción de agua, los bosques brindan mayor estabilidad geofísica, reduciendo la erosión de los suelos y mejorando la calidad del agua. A partir de esto, se acepta comúnmente que la deforestación reduce la generación de las aguas y desestabiliza los flujos (Echavarría 1999).

El efecto de la cubierta forestal en la precipitación pluvial probablemente sólo sería marginal en comparación con otros factores. Si bien no se puede descartar por completo la posibilidad de que el cambio en el uso de las tierras modifique las pautas pluviales, los factores naturales (y posiblemente el cambio climático) repercuten mucho más en las lluvias que cualquier cambio en el uso de la tierra (FAO 2007).

Algunos estudios indican que en condiciones de humedad, las pérdidas por intercepción son mayores en los bosques que donde hay cultivos más bajos, sobre todo porque el transporte

atmosférico de vapor de agua aumenta debido a la superficie aerodinámicamente rugosa de los bosques. En condiciones de sequía, es probable que la transpiración de los bosques sea mayor debido a que las raíces de los árboles son más profundas por lo general que las de los cultivos más bajos, lo que da a los árboles mayor acceso al agua del suelo. En consecuencia, contrariamente a los mitos que muchos aceptan, el escurrimiento de las zonas forestales será menor (FAO 2007).

Según Calder (2005) los efectos de los bosques son en el caudal anual, pero no en los regímenes de los caudales temporales. Además intervienen en procesos específicos de cada sitio que a veces se contraponen, y la dirección y magnitud de cada efecto puede ser difícil de prever para un determinado lugar. Sin embargo, cabe prever que: 1) el aumento de la transpiración reduzca la humedad del suelo y los caudales de la estación seca; y 2) el aumento de la infiltración bajo el bosque natural aumente la reposición del agua del suelo y los caudales de la estación seca.

La tala del bosque y la degradación de la superficie del suelo puede alterar el almacenamiento de agua en el subsuelo y en algunas áreas puede disminuir el volumen de escorrentía. Sin embargo la eliminación de la cubierta vegetal está asociada a la disminución de las pérdidas de evapotranspiración, por lo tanto un incremento en el caudal esperado. En principio un área talada produce mayor agua, debido a que no hay intercepción, evaporación, transpiración ni infiltración. Debido a la compactación de los suelos y sin vegetación que proteja la superficie del suelo no habrá suficiente percolación y el agua “supuestamente incrementada” se pierde inmediatamente después de la lluvia y la cuenca puede llegar a secar (Muñoz 2007). La modificación de los caudales extremos está asociada con el cambio de la permeabilidad de las áreas, es decir disminución de la infiltración en la cuenca por cambio de cobertura vegetal (Muñoz 2007, FAO 2009).

Está demostrado que la eliminación parcial o completa de la cubierta arbórea acelera la descarga de agua e incrementa el riesgo de que se produzcan inundaciones durante la temporada de lluvias, y sequía en la estación seca. La contribución principal de los bosques al equilibrio hidrológico de los ecosistemas de las cuencas es mantener la buena calidad del agua, debido a que se minimiza la erosión local del suelo, se reducen los sedimentos en las masas de agua (humedales, estanques y lagos, arroyos y ríos) y se detienen o filtran otros contaminantes del agua en la hojarasca y el sotobosque. Una buena cubierta forestal es la más eficaz para el suelo a fin de lograr que el agua tenga la menor cantidad posible de sedimentos; es la mejor para las cuencas hidrográficas que suministran agua potable, porque las actividades forestales no utilizan

fertilizantes, plaguicidas ni combustibles fósiles, ni residuos de aguas negras o industriales (FAO 2009).

2.4.2 La ganadería y el recurso hídrico

La ganadería es una de las prácticas de uso del suelo que causan impactos sobre la calidad del recurso hídrico principalmente a nivel superficial, cuando existe un sobre pastoreo provoca impactos negativos como: la compactación del suelo y como consecuencia en la capacidad de infiltración, en las propiedades químico y físico a la calidad del agua, y en la bacteriológicas (Brooks et ál. 2003).

En un estudio realizado en Colombia para conocer sobre la calidad del agua y los hábitats de microcuencas se encontró claras diferencias sobre los impactos negativos de la forma como se realiza la ganadería intensiva sea para producción de carne o leche, ya que los mayores valores de DBO, Nitrógeno y coliformes en las zonas ganaderas se presenta presumiblemente debido al depósito de estiércol por el ganado directamente en los potreros, el cual mediante la escorrentía aporta estos elementos a las quebradas. Los sólidos totales y la turbiedad también pueden ser un efecto directo de la perturbación que hace el ganado que incrementa la erosión en las zonas de pastoreo y/o que destruye los taludes y remueve el fondo de las quebradas, pues en todas las microcuencas con ganado, éste tenía acceso directo al cauce (Murgueitio 2000).

Se encontró que el establecimiento de los sistemas ganaderos afecta la biodiversidad, modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación en un tiempo relativamente corto (menor que 2 ó 3 años), reduce el volumen de los espacios porosos, disminuye la velocidad del flujo del agua y propicia la erosión.

El sobrepastoreo afecta en la densidad del suelo, de tal forma que al ocurrir una lluvia o aplicar riego, la capacidad de infiltración y percolación del suelo es superada fácilmente, provocando el arrastre de nutrientes por efecto de la escorrentía y lixiviación a las fuentes de agua, así mismo la contaminación era más grave en la zona de mayor densidad de ganado y mayor frecuencias de aplicación (Vidal et ál. 2000).

2.5 Balance hídrico de cuencas y coberturas vegetales

2.5.1 Balance hídrico

El término balance hídrico fue definido por Thornthwaite en 1944 como la diferencia entre las entradas de agua a partir de la precipitación y deshielo y las salidas por evapotranspiración,

recarga a los acuíferos y escurrentía. El balance de agua se usa ampliamente para determinar las necesidades hídricas de cualquier región, bien sea para estudios hídricos, para calcular el estrés hídrico, tanto de cultivos como la vegetación natural, demandas de riego, flujo de agua hacia los lagos y cuencas cerradas, crecidas de ríos, variación del nivel piezométrico, e incluso para predecir el impacto humano sobre el ciclo hidrológico (Dunne y Leopold 1978).

Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad, tanto en cantidad como en calidad (SNET-SMN-BHID 2005).

2.5.2 Ecuación del balance hídrico

La ecuación del balance hídrico de una cuenca, se expresa generalmente con la siguiente fórmula (Rodríguez y Saborío 1983):

$$ESC = PPT - EVT_R + (S1 - S2)$$

Donde:

ESC = Volumen de escurrentía en el periodo

PPT = Precipitación media

EVT_R = Evapotranspiración real

$(S1 - S2)$ = Cambio en el volumen de agua almacenada en el suelo

Sin embargo, el cálculo del balance hídrico al nivel de sistemas de producción o parcelas bajo diferentes usos de la tierra o coberturas vegetales, requiere de mediciones y determinaciones más precisas, para lo cual se puede utilizar la ecuación propuesta por Jiménez (2007):

$$PRE = ET + DRE + ESC \pm \Delta H$$

Donde:

PRE = Precipitación

ET = Evapotranspiración real

DRE = Drenaje o percolación

ESC = Escurrentía superficial

ΔH = cambio de humedad en el suelo

2.5.3 Precipitación

La precipitación es toda clase de agua caída sobre la tierra, tanto de forma líquida, gaseosa (neblina) o sólida (nieve o granizo), que es factible de ser medida en pluviómetros. La lluvia se

origina en las nubes, las mismas que se forman por acumulación de partículas de agua o “gotas de condensación”, de diámetro comprendido de entre 0,01 y 0,03 mm, distanciadas entre sí en aire tranquilo, a 1 mm aproximadamente, con una velocidad de movimiento de 1 cm/s (Unda citado por Muñoz 2007).

2.5.4 Intercepción de lluvia

Es el proceso por el cual el follaje de la vegetación o el mantillo del suelo interrumpe el paso del agua (lluvia) hacia el suelo, esta agua interceptada se evapora hacia la atmósfera, por lo tanto no se incluye en el cálculo de la escorrentía, consecuentemente, mientras mayor sea la intercepción, menor será la escorrentía. Otra parte desciende por el tronco, y otra es absorbida por los tejidos de la planta, esta agua que no llega al suelo se llama “pérdida por intercepción”. Los vegetales que mejor y mayor agua interceptan son el bosque y el matorral, las ramas que se encuentran por debajo de los dos metros de altura, amortiguan e impiden el impacto de las gotas de lluvia hacia el suelo. La vegetación boscosa intercepta aproximadamente un 25% del agua de lluvia, misma que se regresa a la atmósfera y el resto, el 75%, pasa al suelo, que dependiendo de las condiciones estructurales y de contenido de materia orgánica, es almacenada, de lo contrario se escurre libremente (Muñoz 2007).

2.5.5 Evapotranspiración

De manera general la evaporación (E) de una superficie natural representa la cantidad de agua disipada en la atmósfera a partir de esa superficie mediante el proceso de vaporización. Cuando la superficie natural considerada es la vegetación, se prefiere hablar de evapotranspiración (ET), ya que en este caso la cantidad de agua perdida por la superficie es la suma de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas. La medición de la evapotranspiración real de sistemas heterogéneos y con presencia de árboles, como es el caso de los sistemas bosques y plantaciones forestales y agroforestales, no es simple (Jiménez 2007).

2.5.6 Escorrentía

La escorrentía se forma por el agua externa más el agua de percolación e infiltración que sale hacia los cauces un tiempo después de terminada la precipitación, más el agua de fondo o agua freática, que se encuentra en la profundidad y aflora en los manantiales. La formación de escorrentía, depende de la intervención de cuatro factores: propiedades físicas del suelo, uso y manejo del mismo, cubierta vegetal y tipo de lluvia (intensidad y duración) (Muñoz 2007).

2.5.7 El drenaje o percolación

Las partículas del suelo están rodeadas de poros de diferentes tamaños, donde se deposita el agua y el aire. Cuando se aplica suficiente agua a un suelo, ya sea por medio natural o artificial, todos los poros se llenan de agua; en ese momento existe el suelo diferentes tipos de agua: agua gravitacional o libre, agua disponible o capilar y agua higroscópica o no disponible (Jiménez 2007).

El agua gravitacional o percolación es aquella que drena libremente del suelo debido a la fuerza de la gravedad. Ocupa un límite por encima de la capacidad de campo, por lo que en presencia de suelos bien drenados, esta agua drena sin causar daño directo a las plantas. El límite superior corresponde al estado de saturación, en el cual el agua ocupa toda la porosidad. Esta agua es la principal causante de las pérdidas de nutrientes y otras sustancias por lixiviación. Además, tiene una influencia directa sobre la presencia y profundidad de la capa freática del suelo (Jiménez 2007).

Uno de los métodos más comunes para estimar la percolación es considerando la capacidad de retención o almacenamiento de agua del suelo. En efecto cuando la precipitación neta sumada a la reserva de agua existente en el suelo es mayor que la capacidad de retención, el exceso se pierde por percolación fuera del alcance de las raíces. En el caso que exista escurrimiento superficial, habrá que estimar primero ese término, restárselo a la precipitación neta luego efectuar los cálculos mencionados (Jiménez 2007).

2.5.8 Cambio en el volumen de humedad en el suelo

El movimiento, contenido y disponibilidad del agua en el suelo está determinado principalmente por sus propiedades físicas y químicas, es especial la textura, la estructura, porosidad, profundidad y contenido de materia orgánica. La capacidad de retención máxima de agua en el suelo está definida por el contenido de agua a capacidad de campo, puesto que cualquier exceso de agua va a drenar por efecto de la fuerza de gravedad. La capacidad de campo puede definirse como la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener o almacenar, bajo condiciones de humedecimiento total seguido de drenaje libre gravitacional (Jiménez 2007).

La medición del contenido de agua (el volumen de almacenamiento en un momento) dado, se puede realizar directamente en el campo, mediante sensores electrónicos de humedad, entre esos el TDR ("Time Domain Reflectometry"). Al nivel de cuencas o incluso de parcelas, resulta difícil la medición de esta variable; para periodos de tiempo largo, que presenten las condiciones

promedio, el cambio en el volumen de agua almacenado tiende a cero; lo mismo aplica para una parcela que inicia de una condición de capacidad de campo, sufre pérdida de agua (humedad) y luego regresa nuevamente a capacidad de campo, el cambio de humedad o agua almacenada en el suelo es de cero (Rodríguez y Saborío 1983).

2.5.9 Estudios de balance hídrico

En un estudio se midieron y evaluaron el balance hídrico, los caudales mensuales y anuales estimados en cuencas pareadas y la hidrografía unitaria de las microcuencas La Beta y La Cubero, localizadas en Piedras Blancas, municipio de Guarne, Antioquia. Para el análisis del balance hídrico se utilizaron los datos de precipitación y caudal recolectados durante dos años (1993 y 1994), los cuales presentaron los siguientes resultados. Para la quebrada La Beta se obtuvo una precipitación promedio para los años de estudio de 2.121 mm, un caudal total anual de 849 mm, o sea el 40% de la precipitación total y, una evapotranspiración de 1.271, lo que equivale al 60% de la precipitación total. Para la microcuenca La Cubero la precipitación promedio anual fue de 2.025 mm, el caudal total anual de 933 mm, es decir el 46% de la precipitación total, y la evapotranspiración de 1.092 mm, o sea el 54% de la precipitación total (Arroyave y Gonzaga 1997).

Rodríguez y Arellano (2004) realizaron un estudio de balance agrohidrológico en microcuencas cafetaleras de la finca Argovia, Chiapas, México, en donde los resultados indican que de un total de 2882 mm de lluvia, las pérdidas por escurrimiento superficial representan solo el 7% en todo el periodo de lluvias. La recarga del acuífero es bastante alto (61%). El área de estudio, desde el punto de vista hidrológico es de captación e infiltración donde la vegetación juega un papel determinante en su regulación. Las mediciones de la humedad en el suelo muestran que gran parte de la lluvia se infiltra y se percola verticalmente al subsuelo y hacia el acuífero, o bien fluyen lateralmente por el subsuelo alimentando a los arroyos receptores.

Chagoya (2009) realizó un estudio en la Sierra de Otontepec, Veracruz, México, sobre el balance hídrico encontrando los siguientes valores: para bosque de encino (*Quercus oleoides*) lluvia total 2301 mm, interceptación de la cobertura 180 mm, lluvia neta 2121 mm, escorrentía 6,5 mm, evapotranspiración 578 mm, cambio en la humedad del suelo: 563 mm, percolación: 974 mm, en donde los resultados de escorrentía están de acuerdo con la información presentada por McDonald et ál. (2002) en las Montañas Azules de Jamaica y Martínez et ál. (2001) en Oaxaca, México.

En un estudio realizado en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente, Honduras, sobre balance hídrico, durante los meses de junio a septiembre, se obtuvo un valor de -102 mm, lo que demostró que las entradas son menores que las salidas en este periodo, por lo que no hubo una recarga hídrica favorable al sistema y por el contrario se incurrió en pérdidas. Este dato negativo no corresponde a valores esperados durante épocas lluviosas, lo cual puede explicarse por el hecho de que Honduras está pasando por un año de sequía causado por el fenómeno. Se reportó una precipitación acumulada para el periodo 1 de junio al 6 de septiembre de 2009 de 470 mm. De este total, el 75% se perdió por evapotranspiración, el 44% como escorrentía y el 1% representan extracciones (Arrueta 2009).

Palma et ál. s/f. Realizaron un estudio para la estimación de la recarga del acuífero de la cuenca del río Texcoco, bajo diferentes usos de suelo, donde el balance hídrico estimado fue: 30 445 822 m³ de precipitación, 4 088 400 m³ (13,4%) de interceptación, 9 431 680 m³ (31%) por evapotranspiración, y 9 527 430 m³ (31,3%) por escurrimientos superficiales; la diferencia entre la precipitación y las demás variables, es la cantidad que se infiltra, misma que correspondió a 7 398 314 m³/año (24,3%).

En un estudio realizado para conocer el comportamiento hidrológico en una microcuenca de sistemas agroforestales de café en Costa Rica, se encontró que el 91% de la precipitación se infiltró, siendo un suelo Andisol altamente permeable y el 64% de la infiltración se midió como el caudal, el 25% de se midió como evapotranspiración. No hubo una variación importante en la existencias de agua estacional en el suelo y hubo una alta contribución al acuífero de caudal como flujo base, por lo que estas características son aptas para el esquema de pagos por servicios ambientales hídricos a escala de cuenca, siendo un resultado poco frecuente reportado para sistemas de café (Gómez et ál. 2010).

2.6 La gestión del recurso hídrico en México

En México las unidades hidrográficas (cuenca, subcuenca y microcuenca) condicionan su papel en la gestión, considerando desde la planeación hasta la implementación de las acciones. Dada la complejidad hidrográfica del país se requiere que el manejo de cuencas se convierta cada vez más en un instrumento flexible y adaptativo a las condiciones socio-ambientales (Cotler y Caire 2008).

Con la creación de la Comisión Nacional del Agua (CNA), en 1989, se inició el manejo subsectorial de los recursos hídricos y se le dio énfasis a la construcción de obras para el

incremento de la oferta de agua. Al formar parte del sector medio ambiente, y con la publicación de la Ley de Aguas Nacionales en 1992, la CNA comenzó a promover la descentralización de funciones, a propiciar la participación ciudadana y a fomentar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), al considerar, entre otros principios, a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la administración del agua (Valencia et al 2004, Vargas 2006).

La nueva legislación podría permitir avanzar en la construcción de un modelo de gestión más descentralizado, participativo y vinculante, que facilite la gestión integrada del agua y de las cuencas, aprovechando los avances ya logrados (Chávez 2004).

En México, para hacer posible y viable la gestión integrada del agua y de las cuencas es necesaria:

1. Depurar las reformas recién aprobadas a la Ley de Aguas Nacionales y reglamentarlas para darles consistencia con un modelo descentralizado y participativo.
2. Construir una gran red nacional de datos sobre el agua, las cuencas y el medio ambiente y sistemas nacionales, que permitan reunir la información necesaria para la gestión, transparentar las acciones de gobierno, dar sentido a la participación social, acumular y difundir el conocimiento de las cuencas.
3. Replantear los esquemas de planificaciones nacionales y sectoriales, para dar paso a un nuevo modelo que concentre la atención de las instituciones federales en lo verdaderamente estratégico, para la seguridad nacional y en aquellos aspectos intercuenas que son vitales para el desarrollo regional y que rebasan el ámbito local. Un modelo que facilite y promueva la definición de objetivos, estrategias y acciones en el ámbito de cuenca con la intervención de los gobiernos locales, los usuarios y la sociedad y que deje lo específico y operativo en los territorios de subcuenca, microcuencas y acuíferos, para los actores locales, incluidos los gobiernos estatales y municipales, las comunidades y los grupos sociales organizados, haciendo de los procesos de elaboración de planes y programas, verdaderos ejercicios de información, consulta, concertación y codecisión e incorporando las actividades de seguimiento y evaluación periódica para verificar los impactos que se van logrando en cada cuenca.
4. Para avanzar es indispensable reformar las instituciones del agua cumpliendo los propósitos largamente anunciados de descentralización, acción coordinada de los gobiernos locales y acción participativa de los usuarios y ciudadanos.
5. Es necesario diferenciar más claramente las responsabilidades y tareas que compete a los gobiernos federal, estatal y municipal, y procurar la complementariedad y coherencia de las leyes

estatales con la legislación federal, para evitar contradicciones y vacíos que dificultan la gestión integrada del agua y de las cuencas.

Para lograr nuevos avances en la gestión integrada del agua y de las cuencas, es necesario alejarse del concepto tradicional del *gobierno* centralizado y autoritario que lo sabe todo y lo puede todo, para acercarse al de *governabilidad*, en el que, las autoridades se relacionan cotidiana, sistemática y orgánicamente con los ciudadanos, para definir los planes y sus contenidos, para darles seguimiento y evaluar periódicamente sus resultados (Chávez 2004)

Así mismo al consolidar la política hídrica de sustentabilidad, requiere definir e implantar una agenda del agua de largo plazo en la que participe la población en general y los actores políticos, económicos y sociales, incluyendo a los tres Poderes de la Unión, a los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal), empresas, organizaciones, academia, comunidad educativa, medios de comunicación y familias (SEMARNAT 2010).

2.6.1 Situación del recurso hídrico en México

México cuenta con reservas de agua almacenadas principalmente en los acuíferos, pero también en los lagos naturales y artificiales del país, sin embargo, esta agua no se considera en los cálculos de disponibilidad natural media, ya que no es renovable, por lo tanto 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 m³/hab/año en el 2007 (CNA 2008a).

Anualmente México recibe aproximadamente 1488 mil millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72,5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25,4% escurre por los ríos o arroyos y el 2,1% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que anualmente el País cuenta con 458 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural media (CNA 2008a).

De acuerdo a las tendencias actuales de crecimiento poblacional, uso y manejo del agua, se estima que al año 2030, la situación del agua en México se tornará más crítica, es por eso, que para hacer frente a esta situación, en el Programa Nacional Hídrico 2007- 2012 se han establecido los objetivos, estrategias y metas que permitan revertir la situación actual (CNA 2008b).

El estado de Veracruz, situado en el Golfo de México, se divide en tres regiones: norte, centro y el sur. La región norte tiene una precipitación media de 1552 mm, con más del 70% de evaporación. Según la clasificación de la FAO, para determinar la presión sobre los recursos

hidrológicos, se consideran la cantidad de agua disponible, las condiciones climáticas y el tamaño de la población; esta región genera en promedio de 10-20% de presión sobre la disponibilidad de agua (Fundación Gonzalo Río Arronte y la Fundación Javier Barros Sierra 2004, CNA 2008a).

2.7 Oferta y demanda de agua para consumo humano

Dentro de los objetivos de Desarrollo del Milenio, descritos por Naciones Unidas (2005), uno de ellos hace referencia a “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, relacionado con el agua potable y el saneamiento y que plantea las siguientes metas para el 2015: reducir a la mitad el porcentaje de personas que carezcan de acceso al agua potable y reducir a la mitad el porcentaje de personas que carezcan de acceso al saneamiento. Dado que la expansión de la cobertura de servicios de agua significa que se aumentará el uso del agua y la descarga de aguas servidas, debe lograrse una mejor gestión de recursos hídricos y de cuencas, así como una mejora en la prestación de los servicios.

Con base a lo anterior el fenómeno relevante para el manejo de los recursos hídricos consiste en los desequilibrios entre oferta y demanda. La población y la producción tienden a concentrarse de manera muy desequilibrada en las áreas metropolitanas, además, la oferta natural de agua se encuentra distribuida en forma irregular, tanto en el espacio como en el tiempo, afectando su disponibilidad (Ballesteros et ál. 2005).

Por otra parte, el sobrepastoreo, la intensificación de la agricultura, el uso de tecnologías agrícolas inadecuadas, el uso de sistemas orientados a maximizar la producción a corto plazo, han reducido la disponibilidad de agua como efecto de la alteración del ciclo hidrológico, de la contaminación hídrica y de su creciente demanda. Esta situación provoca una fuerte competencia y conflicto de uso por este recurso (Ballesteros et ál. 2005).

Los componentes de la interacción entre oferta y demanda indican la forma en que se puede construir un estado de balance de agua para fines de planificación. La cantidad ofrecida está en función de la lluvia generada mediante el ciclo hidrológico, y la cantidad de agua sustraída se refiere a la cantidad (volumen) de agua demandada durante el año (Barrantes y Castro 1999).

El conocimiento de los volúmenes de oferta y demanda de agua en una economía, proporciona elementos importantes para el campo de la planificación al informar de aquellas limitaciones biofísicas en la disponibilidad y la posibilidad de reubicar actividades económicas que demandan gran cantidad, lo que generaría información útil para limitar el uso de acuerdo a la cantidad disponible. Esa interacción entre oferta y demanda es un indicador claro de que la

economía y la producción de servicios ambientales de la biodiversidad están totalmente ligados (Barrantes y Castro 1999).

La oferta hídrica superficial se define como la tasa de flujo o descarga de agua por unidad de tiempo (Ej. m³/s) a lo largo de un canal natural. Su representación básica tradicional lo constituye el hidrograma, el cual es una gráfica o tabla que muestra la tasa de flujo, como función del tiempo, en un lugar dado de la corriente, por lo que es “una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la escorrentía de una cuenca de drenaje particular” (Chow et ál. 1994). Se constituye entonces en el componente del ciclo hidrológico que transfiere el agua que originalmente precipita como lluvia o nieve sobre la cuenca o zona de captación desde las superficies terrestres a los océanos (Mosley y McKerchar 1993).

La demanda creciente para uso doméstico, municipal e industrial, es lo que agota las fuentes de agua cercanas a los grandes centros urbanos e impone la necesidad de aprovechar fuentes de agua cada vez más distantes y costosas, a menudo privando de este recurso a las zonas rurales próximas y causando graves efectos económicos, sociales, culturales y ambientales sobre las zonas desde las cuales el recurso se transfiere. Los costos cada vez más elevados para captar nuevas fuentes de agua como ejemplo los casos de la Ciudad de México y Lima, tienen importantes consecuencias para el desarrollo de la industria, la agricultura, los asentamientos humanos y el crecimiento económico. Un componente importante del desafío que plantea la demanda creciente del recurso en las grandes regiones metropolitanas es el uso múltiple y sucesivo cada vez más frecuente de sus recursos hídricos (Dourojeanni y Jouravlev 1999).

El sector doméstico comprende el consumo básico de la población, incluyendo actividades elementales como lavar y cocinar. Además, y debido a la dificultad en desagregar los datos disponibles, el sector servicios también está incluido dentro del sector doméstico. Esto se debe a que en muchos casos ambos sectores consumen agua de la misma fuente, que se da sobre todo en aquellos casos donde el abastecimiento es a través de acueductos compartidos (Rojas y Echavarría 2003).

2.7.1 Determinación de la demanda

La demanda de agua por el sector doméstico es influenciada por múltiples factores, incluyendo el nivel de ingreso, la tecnología, y hasta la disponibilidad de agua. En la actualidad,

las intensidades de consumo de agua doméstico reflejan grandes variaciones entre países (Rojas y Echavarría 2003).

La demanda del sector doméstico se calcula como:

$$\text{Demanda} = [\text{Población}] \times [\text{Consumo per cápita de agua}]$$

Con respecto al cálculo de la demanda de agua, el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA 2003) de Honduras recomienda hacerla en función a los datos de población. En el caso de no contar con un dato de población, se calcula la misma multiplicando la cantidad de viviendas por seis habitantes por casa. Considera como índice de crecimiento anual el 3%, el cual representa el promedio a nivel nacional, según datos recabados por la Dirección General de Censos y Estadísticas.

Conociendo entonces los factores que condicionaron el crecimiento de la comunidad, es posible estimar su población futura. Para hacer tal cálculo, el SANAA (2003) recomienda utilizar el método aritmético y con menos frecuencia, el método geométrico. Una tasa de crecimiento poblacional puede ser estimada suponiendo que este crecimiento sigue cierto patrón preestablecido.

Los análisis más utilizados en demografía parten del supuesto que la población sigue cierto modelo matemático y el procedimiento consiste en estimar la relación funcional que lo explica. Generalmente se consideran tres modelos básicos: modelo aritmético, geométrico y exponencial (Chaves 2004).

Modelo aritmético: es el más simple de todos, supone que la población tiene un comportamiento lineal y por ende, la razón de cambio se supone constante, es decir, se incrementa en la misma cantidad cada unidad de tiempo considerada (Chaves 2004).

$$P = P_i + (r * k) \quad r = \left[\frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \right]$$

Donde:

P = Población a estimar.

P_i = Población base.

r = Tasa de crecimiento entre dos censos.

K = Número de años a estimar.

2.7.2 Oferta y demanda del agua en México

De acuerdo con la CONAGUA, el 63% del total de agua disponible se encuentra en fuentes superficiales, es decir, en ríos, arroyos y lagos; el resto proviene de fuentes subterráneas. Debido a la desigual distribución territorial del agua en el país, en las zonas de mayor aridez el agua para consumo humano proviene fundamentalmente de la extracción que se realiza de los acuíferos subterráneos, los cuales se encuentran cada vez más en altos niveles de explotación y sobreexplotación. Así, el número de acuíferos sobreexplotados ha aumentado sustancialmente en los últimos años, pues de los 653 sistemas de acuíferos que existen en el país, CONAGUA reportó que, en 2007, 101 se encontraban sobreexplotados, pues de estos se extrae 58% del agua subterránea que se utiliza para el consumo humano (Fuentes 2009).

En su informe de la Cuenta Pública 2007, la Auditoría Superior de la Federación (AS F) señaló que en ese año había 125 acuíferos sobreexplotados, lo que se traduce en un déficit de cinco mil 515,5 millones de metros cúbicos de agua. Según los datos de la AS F, CONAGUA no cuenta con redes de medición en 61,4% de los acuíferos. Asimismo, carece de instrumentos y capacidad de medición en 82 de las 722 cuencas de aguas superficiales ubicadas en el territorio nacional. En el caso de las aguas superficiales, se reportó un déficit de 5385,9 millones de metros cúbicos en 53 cuencas (Fuentes 2009).

El abastecimiento de agua potable es un problema grave en México, por el aumento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población (de 25,8 millones de personas en 1950 a 103,4 millones en 2005), y el incremento en el ingreso per cápita (1,9% por año) (CNA 2008). Los conflictos políticos entre Tamaulipas, Nuevo León, Guanajuato y el Estado de Jalisco, originados por la distribución transfronteriza de agua de los ríos, son pruebas claras de que la escasez de agua es un grave problema. Además, la Comisión Nacional del Agua (CNA) predice que debido a la crecimiento de la población actual (1,02% periodo 2000-2005) y la gestión del agua, el problema de la escasez del agua será más crítica en los próximos años (CNA 2008).

El uso del agua aumentará en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas del país y desde luego de su crecimiento demográfico. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar políticas de manejo y prever estrategias institucionales para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajo presiones de sobreexplotación de fuentes y escasez recurrente del líquido (CNA 2008).

Las tendencias demográficas en México plantean fuertes retos de suministro y tratamiento de aguas. La población del país dentro de 22 años será de 141 millones de habitantes, de mantenerse

las tasas actuales de crecimiento demográfico (1,8%). Según estimaciones oficiales, bajo un escenario que mantenga un crecimiento económico del PIB de 3%; un desarrollo industrial que aporte el 22% del PIB nacional; incrementos poco considerables en la eficiencia de conducción, distribución y aplicación de agua en riego agrícola y baja productividad de los cultivos, se espera en el año 2020 que la demanda de agua para uso consuntivo sea de 100 km³ (3,181 m³/s) en lugar de los 73 km³ actuales (CESPEDES 1998).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006), considera que la cantidad mínima de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 litros/habitante/día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 litros/habitante/día.

Según la Secretaría del Medio Ambiente y Recurso Naturales (SEMARNAT 2005), en México se suministran 264 litros diarios por habitante en promedio, pero en algunos estados como Hidalgo y Puebla apenas sobrepasan los 150 litros diarios por habitante y en Oaxaca reciben apenas 100 litros diarios por habitante, en promedio.

Así mismo, de acuerdo a PNUMA (2010), la demanda de agua en América Latina y el Caribe se ha incrementado, y dependiendo de la fuente de información, el promedio de consumo de agua por habitante por día se podría aproximar a 150 l/hab./día.

2.8 Vulnerabilidad del sistema hídrico de agua para consumo humano

La vulnerabilidad es la incapacidad de una comunidad para absorber mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye que por razones expuestas, un riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del riesgo sobre la comunidad (Jiménez 2009b).

Los sistemas naturales y sociales de las diversas regiones tienen múltiples características, recursos e instituciones, y están sometidos a una diversidad de presiones que dan lugar a diferentes grados de vulnerabilidad y capacidad de adaptación (IPCC 2001).

De acuerdo con UNESCO-IHE (2004) citado por Ávila (2005), la vulnerabilidad del recurso hídrico es el proceso que conlleva a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento

de los ecosistemas. Para que haya daño debe ocurrir: a) un evento potencialmente adverso (un riesgo endógeno o exógeno); b) una incapacidad de respuesta frente a esa contingencia; y c) una inhabilidad para adaptarse al nuevo escenario generado por la materialización del riesgo.

En el caso de los sistemas hídricos, la probabilidad de una mayor vulnerabilidad se presenta en sistemas mal administrados y que actualmente están bajo tensión o cuya ordenación es deficiente e insostenible debido a políticas que desalientan al uso eficaz o la protección de la calidad del agua, o a causas como una ordenación inadecuada de las cuencas fluviales, a no administrar el suministro variable de aguas y su demanda, o a la inexistencia de orientación profesional bien fundada. En sistemas sin adecuada ordenación apenas hay estructuras establecidas para amortiguar los efectos de la variabilidad hidrológica en cuanto a la calidad del agua y su suministro (IPCC 2001).

El análisis de vulnerabilidad es un proceso para determinar y priorizar los componentes críticos, que incrementan la vulnerabilidad y así tomar las medidas de prevención, preparación y mitigación, a fin de procurar la reducción o eliminación de esa vulnerabilidad (AMUNIC 2004). Se aplica a diferentes fenómenos tales como: el impacto de fenómenos naturales graves como terremotos y huracanes, riesgo implícito de accidentes que afectan los servicios, como es el caso de contaminaciones, brotes epidémicos y daños en las tuberías (CEPIS/OPS/OMS 1996b).

La vulnerabilidad global está interpretada por diferentes vulnerabilidades, cada una de las vulnerabilidades constituye un eje y se deben analizar en su conjunto, de lo contrario, los resultados no reflejarían la realidad integral; estas vulnerabilidades son: natural, física, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, ecológica e institucional (Jiménez 2009b)

Los indicadores son herramientas potenciales que se utilizan para identificar y monitorear la vulnerabilidad a través del tiempo y el espacio, además, permiten desarrollar y priorizar estrategias para reducir la vulnerabilidad y para determinar la efectividad de éstas. La tarea importante en la valoración de la vulnerabilidad es la identificación de los indicadores más convenientes y la construcción de un índice de vulnerabilidad global (Rygel et ál. 2006).

2.8.1 Estudios de vulnerabilidad

Los estudios de vulnerabilidad y adaptación han sido realizados por diferentes organizaciones y/o especialistas, sin embargo, sobresalen los del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) relacionados principalmente con el cambio climático, Así mismo menciona que entre los sistemas humanos sensibles al cambio climático se incluyen muchos recursos hídricos,

agricultura y silvicultura, zonas costeras y sistemas marinos, asentamientos humanos, energía, industria, seguros y otros servicios financieros y salud humana. La vulnerabilidad de estos sistemas varía en función del lugar geográfico, del tiempo y de las condiciones sociales, económicas y ambientales (IPCC 2001).

De acuerdo con la UNESCO-IHE (2004) citado por Ávila (2005) el grado de vulnerabilidad del recurso hídrico depende la seguridad hídrica, es decir, la capacidad de la sociedad para garantizar:

- Una adecuada cantidad y calidad de agua para el funcionamiento de los ecosistemas
- La producción y autosuficiencia alimentaria
- La satisfacción de las necesidades básicas de la población
- La reducción y manejo adecuado de los conflictos y disputas por el agua

Ávila (2005) realizó un estudio en México, en el cual evaluó la vulnerabilidad del recurso hídrico y analizó las tendencias actuales que conducen a una situación de mayor vulnerabilidad y menor seguridad hídrica en el país, para así proyectar escenarios alternativos. Elaboró una propuesta metodológica que consistió en construir una serie de indicadores de tipo cualitativo y cuantitativo con el fin de evaluar la vulnerabilidad en un espacio y tiempo determinado. Los indicadores utilizados fueron los siguientes: vulnerabilidad ecológica, climática por sequías e inundaciones, por disponibilidad de agua, por presión hídrica, por explotación de acuíferos, por contaminación del agua, agrícola, urbana, por marginación social, económica y política

En Nicaragua se realizó la estimación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos a partir del índice de escasez (relación de la demanda de agua entre la oferta determinada tanto de aguas superficiales y subterráneas). Al potencial indicador se le restó un volumen definido por el deterioro de la calidad del agua (Picado 2003).

En Costa Rica a través del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se realizó el análisis de vulnerabilidad del sistema hídrico al cambio climático, proceso que se dio dentro del marco del Proyecto Regional Fomento de las Capacidades para la Etapa II Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Para realizar el análisis de vulnerabilidad se utilizaron indicadores socioeconómicos (población menor de 12 años, población mayor de 64 años, población discapacitada, población afectada por asma, dotación doméstica de agua, población analfabeta, casas con paredes de madera, casas sin cielo raso, casas con hacinamiento, casas con tanque séptico, población en pobreza) e indicadores biofísicos (área propensa a deslizamiento,

área propensa a inundaciones, área dedicada a actividades agrícolas, área con sobreuso de suelo) (IMN 2005).

Mendoza (2008) propone una metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano, el cual se basa en una serie de indicadores para cada uno de los componentes que integran el sistema, esos componentes son: zonas de recarga hídrica (microcuenca), fuente de abastecimiento de agua, toma de agua y obras de captación, línea de conducción, tanque de almacenamiento, red de distribución, tratamiento del agua, uso y manejo del agua en el hogar, manejo del agua post-uso y gestión administrativa.

2.8.2 Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario

El análisis de vulnerabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario se han realizado con la finalidad de elaborar planes de mitigación y emergencia. CEPIS/OPS/OMS (1996b) elaboraron una serie de guías para el análisis de vulnerabilidad ante diferentes amenazas (sismos, huracanes, inundaciones, erupciones volcánicas y accidentes que afectan el servicio). Para este tipo de análisis de la vulnerabilidad se contemplan tres tipos de vulnerabilidades: operativa (deficiencias en la prestación de los servicios, tales como cantidad, continuidad y calidad del agua suministrada y de la cantidad de agua residual evacuada), física (debilidades de los componentes físicos de los sistemas) y administrativa-organizativa (debilidades organizativas, capacidad institucional y empresarial de respuesta ante impactos) (CEPIS/OPS/OMS 1996a, García y Espadas 2004).

Existen metodologías para el análisis de vulnerabilidad de aspectos muy particulares, como es el caso de la vulnerabilidad de los sistemas de tuberías a las acciones sísmicas, este tipo de análisis se ha realizado a través del cálculo de número de fallas por kilómetro de longitud. Se realiza a través de Índices Básicos de Daño (IBD) y del factor de amenaza sísmica (FAS). Debido a que se contempla como base la tubería de hierro fundido para hacer los cálculos, es necesario emplear factores de corrección para cada tipo de material, estado de la tubería y diámetro de la misma (CEPIS/OPS/OMS 1996a).

2.8.3 Eficiencia de conducción de sistemas hídricos para consumo humano

Palacios (s/f) define como eficiencia en el uso del agua, a la relación entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento con ese mismo fin.

Expresado en forma funcional se tiene:

$$E_f = V_u/V_e$$

donde:

E_f =Eficiencia adimensional;

V_u = Volumen utilizado (m^3);

V_e =Volumen extraído de la fuente de abastecimiento (m^3).

Finalmente, la eficiencia de conducción, es la relación entre el volumen de agua que se llega al tanque de almacenamiento (V_p) y el volumen que entra en la toma de captación (V_d) (Palacios s/f):

$$E_c = V_p/V_d$$

Las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo a su origen en: a) por infiltración; b) por evaporación; c) por manejo del agua en la red de distribución.

En un estudio realizado en Colombia para determinar la eficiencia de conducción de un acueducto que se abastece de la quebrada Barro Blanco registró una pérdida de 75% en promedio, mientras que el acueducto que se abastece de la quebrada Bolillos registra en promedio un 41% de pérdidas (Tehelen 2006).

3. METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el norte de Veracruz, Golfo de México, en los municipios de Chontla y de Tepetzintla, en una microcuenca de captación de la Sierra de Otontepec (Figura 2), siendo una montaña volcánica aislada, que se encuentra geográficamente entre las coordenadas $97^{\circ} 58' 30''$ y $97^{\circ} 48' 00''$ longitud oeste, y $21^{\circ} 19' 19''$ y $21^{\circ} 09' 34''$ latitud norte (Gaceta oficial del Estado de Veracruz 2005). El área de estudio se encuentra dentro del Area Natural Protegida “Sierra de Otontepec” con una superficie de 15,154 hectáreas, la cual se encuentra en una altitud de 350 metros sobre el nivel del mar (msnm), a 1300 msnm.

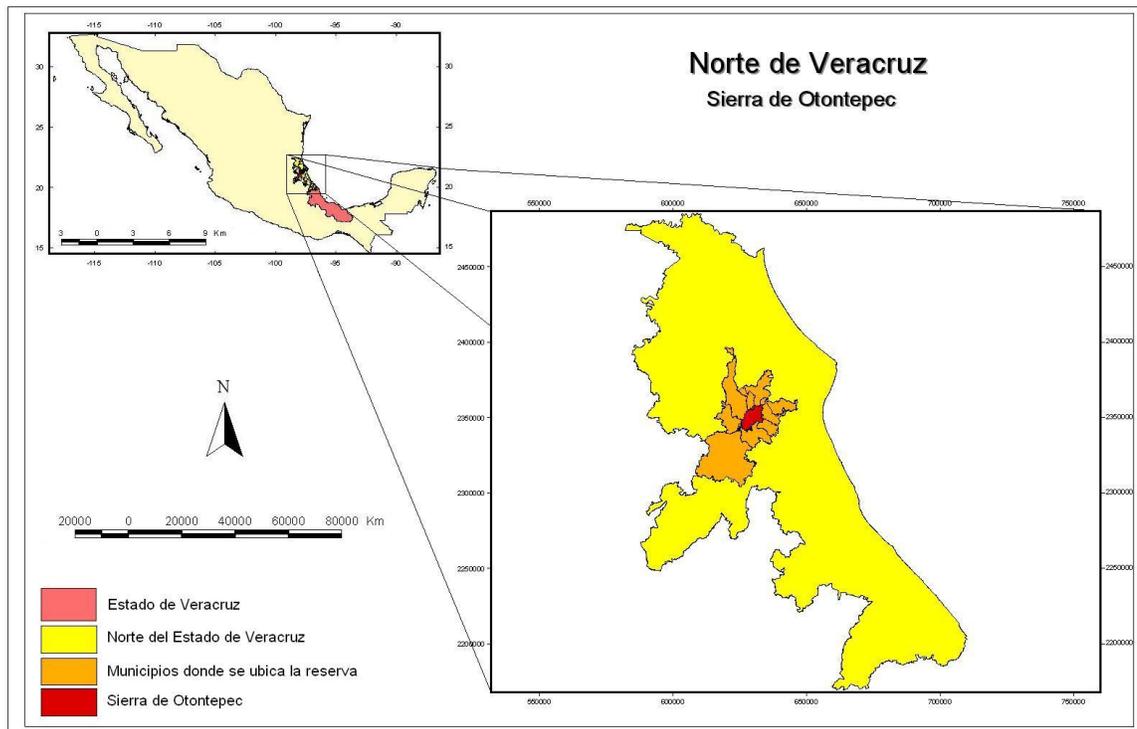


Figura 2. Mapa de ubicación de área protegida “Sierra de Otontepec”.
Fuente: SEDESMA 2006.

3.2 Descripción del área de estudio

3.2.1 Sierra de Otontepec

La Sierra-Otontepec (náhuatl, cotontoc = cortar, tepetl = montaña), es una aislada montaña volcánica situada en la región norte del Golfo de México. Este macizo provee de agua dulce a nueve municipios (Tepetzintla, Chontla, Tancoco, Tamalín, Tantima, Ixcatepec, Chinampa de Gorostiza, Citlaltépetl y Tancoco).

La microcuenca San Juan Otontepec tiene una forma de tipo rectangular, con una superficie de 62 hectáreas, y se encuentra en una altitud de 700 a 950 msnm, misma que abastece de agua a las comunidades de Tezital, municipio de Chontla y a las comunidades de Tezital y El Humo pertenecientes al municipio de Tepetzintla (Figura 3).

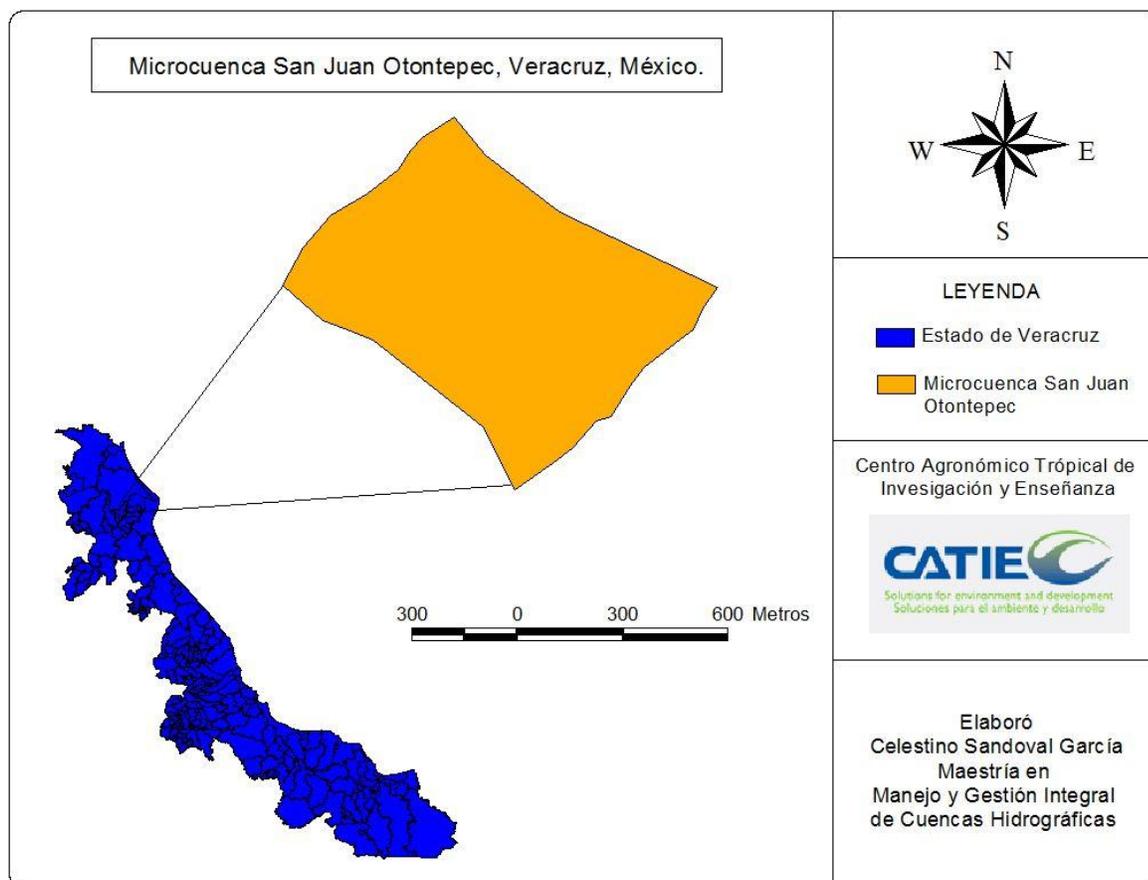


Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México

3.2.2 Descripción biofísica

El clima es A (w2) sub-tropical húmedo (clasificación de Köppen) y con una temporada de sequía de marzo a junio y una estación de lluvias de julio a febrero. El promedio la precipitación en la zona es de alrededor de 1552 mm (CNA 2008). La montaña tiene una altitud de 900 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). La geología de esta Sierra es roca ígnea extrusiva basáltica y rocas sedimentarias y volcánicas, procedentes del Mioceno (INEGI Mapa Geológica de Tamiahua F 14-9). La topografía es compleja con crestas filosas, hondonadas y procesos coluviales. Los suelos son Inceptisoles y Alfisoles.

La zona presenta un mosaico de vegetación caracterizado principalmente por cinco ecosistemas que de forma vertical se presentan iniciando de las partes más altas: bosque de encino, acahual de encino, selva mediana subperennifolia, acahual de selva mediana y zonas alteradas por las actividades agrícolas y ganaderas, son poco representativas las áreas con cítricos (INEGI Mapa de Vegetación de Tamiahua F 14-9, Gaceta oficial del Estado de Veracruz 2005). Entre la vegetación más representativa tenemos: en el bosque de encinos la especie predominante es *Quercus oleoides* a veces se puede encontrar asociado con *Q. sororia*, *Q. glaucescens*, *Q. peduncularis* y *Q. affinis*. Especies características de Selva Mediana Subperennifolia: *Brosimum alicastrum* (ramón), *Cedrela odorata* (cedro), *Manilkara zapota* (chicozapote) y *Bursera simaruba* (palo mulato).

Así mismo, la microcuenca San Juan Otontepec se encuentra en la zona alta de la Sierra de Otontepec y abarca una superficie de 62 hectáreas.

3.2.3 Hidrología

La Sierra de Otontepec se encuentra dentro de dos cuencas hidrológicas, pertenecientes a dos regiones hidrológicas distintas: río Pánuco (RH26A) y río Tuxpan (RH27D). La constitución orográfica de la Sierra funciona como un parteaguas, lo cual resulta de suma importancia ya que de esta Sierra se abastece directa o indirectamente de agua a los municipios de la zona (SEDESMA 2006).

En la sierra se forman una serie de corrientes de agua que bajan en distintas direcciones. Se forman múltiples arroyos, veneros, manantiales y eventualmente ríos como es el caso el río Topila que en unión de diversos tributarios forman el Estero de Cucharas, principal cuerpo de agua entre el río Panuco y el río Tuxpan, que desemboca en la laguna de Tamiahua. Se registran

otras corrientes como el río Buenavista al sur de la sierra y el Tancochín al sureste; este último desemboca en la Laguna de Tamiahua (SEDESMA 2006).

3.2.4 Descripción socioeconómica

La comunidad de El Humo, perteneciente al municipio de Tepetzintla fue fundada en 1927, con apenas cuatro familias. Estos primeros pobladores encontraron el lugar con mucha vegetación, principalmente árboles de humo (*Enterolobium sp*), de donde deriva el nombre de la comunidad. Actualmente cuenta con una población de 2070 habitantes, incluyendo a la comunidad de Tezital, del municipio de Tepetzintla. El Humo cuenta con los servicios básicos como son: electricidad, agua potable, teléfono, centro de cómputo comunitario, centros de educación preescolar, primaria, secundaria y bachiller, comercio. Entre las principales actividades que se dedica la población están: el comercio, jornaleo, ventas ambulantes y la agricultura de subsistencia. Algunos emigran al estado de Tamaulipas para emplearse en las fábricas (Pérez 2010).

La comunidad de Tezital (que deriva del vocablo náhuatl *te*= piedra y *citlal* = estrella, por lo que su significado literal es piedra en forma de estrella) en la parte que pertenece al municipio de Tepetzintla, tiene una población con 140 habitantes, cuenta con los servicios básicos como es la electricidad, agua potable y una escuela primaria, que actualmente está cerrada por falta de alumnos. La población se dedica al comercio, ganadería y a la agricultura de subsistencia, al jornal, entre otras actividades (Pérez 2010).

La comunidad de Tezital, en la parte que pertenece al municipio de Chontla, tiene un poco más de 50 años que fue fundada. Tiene un total de 256 habitantes, cuenta con una escuela preescolar y primaria. Fue hasta principios de 1990 cuando se empezaron a introducir los servicios básicos, como la energía eléctrica, agua potable. La población se dedica principalmente al comercio, el jornal y a la agricultura de temporal para el autoconsumo, y a la ganadería en pequeña escala (ASERPAC 2009).

3.3 Procedimiento metodológico

La estructura metodológica que se siguió en la presente investigación comprende tres fases como se observa en la (Figura 4), en donde se llevaron a cabo diferentes actividades:

1. En la primera fase se llevó a cabo la presentación del proyecto a las autoridades municipales y locales del área de trabajo. En esta fase se llevó a cabo la planificación de reunión y talleres de trabajo, además se definió el esquema de trabajo.

2. En la segunda etapa de la investigación se realizó de acuerdo a la metodología para cada uno de los objetivos, en donde se llevó a cabo diferentes actividades para responder a cada una de ellas, como reuniones, talleres y entrevistas semiestructuradas con los actores claves, recorridos de campo, determinación del balance hídrico y la entrega de los resultados obtenidos a las comunidades del área de estudio.
3. La tercera fase corresponde al análisis de la información, elaboración del documento, así como la presentación de los resultados obtenidos de la investigación mediante la defensa del seminario de tesis ante el comité evaluador de la Escuela de Posgrado.

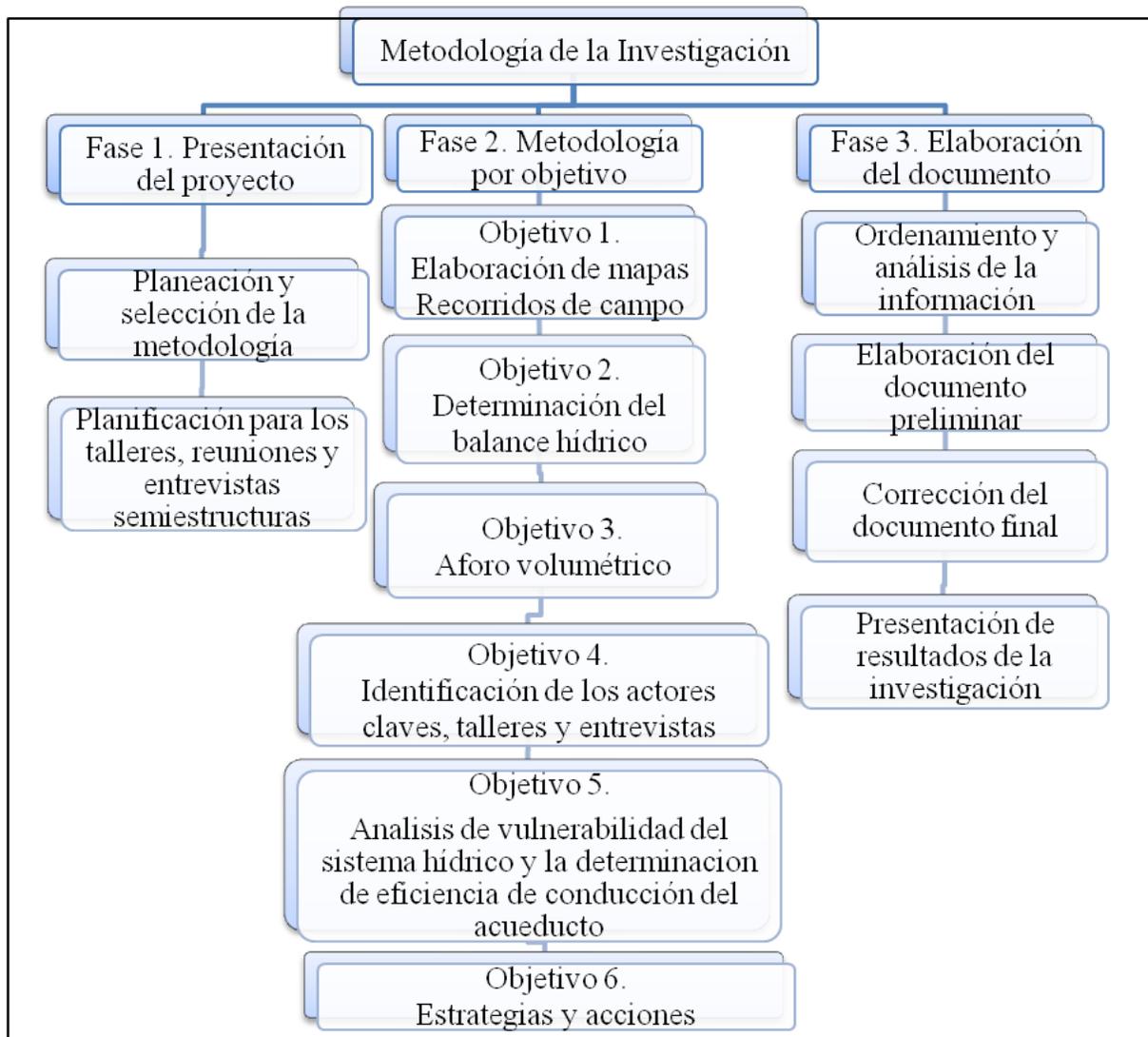


Figura 4 Proceso metodológico de la investigación

3.3.1 Objetivo 1. Determinar los usos de la tierra y la aplicación de buenas prácticas de manejo de cuencas en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México

a) Usos de la tierra

Haciendo uso de la herramienta ArcView 3.3, se realizó la digitalización de los usos del suelo de la microcuenca, con la ayuda de la imagen satelital IKONOS 0,6 x 0,6 m pixel, de diciembre 2006, proporcionada por la CONAFOR. Posterior a ello se realizó la verificación mediante recorridos de campo, para corroborar los usos del suelo.

Para la elaboración del mapa de capacidad de uso se aplicó la Clave de bolsillo para determinar capacidad de uso de la tierra, la cual considera ocho clases.

Así mismo para determinar la capacidad de uso del suelo de la microcuenca se realizó la sobreposición del uso actual de la tierra, así como la pedregosidad y la pendiente de la microcuenca.

Para generar el mapa de conflictos de uso de la tierra, se consideró la capacidad de uso del suelo por el uso actual.

Así mismo se realizó una reunión con los dueños de los terrenos para conocer el uso que había anteriormente en el área de estudio.

b) Buenas prácticas de manejo de cuencas

Se analizaron los sistemas de producción agrosilvopecuarias con base en la propuesta de protocolo, elaborada por Jiménez (2009c). Específicamente lo referente a la variable de patrones de producción contribuyentes a la gestión sostenible de las cuencas y el ambiente (Anexo 1).

Esta metodología considera indicadores de acuerdo a aquellas actividades productivas que contribuyen al buen manejo de la cuenca:

- a) Fincas con prácticas de agricultura conservacionista y de manejo y protección del agua.
- b) Fincas con prácticas de producción pecuaria conservacionista y de manejo y protección del agua.
- c) Fincas con prácticas de producción y conservación forestal, de utilización bioenergética y de manejo y protección del agua.

Cada indicador se compone de una serie de prácticas a evaluar y básicamente se determinó el nivel de cumplimiento de las prácticas conservacionistas de manejo y conservación del agua, lo cual estaría interfiriendo con una gestión adecuada de los recursos naturales en la microcuenca.

La evaluación se realizó mediante el recorrido en campo en el cual se aplicó la metodología para las prácticas de agricultura, forestal y ganadería con base al protocolo, realizando una evaluación de manera visual.

Para el análisis de las prácticas se agruparon en cuatro clases de acuerdo a su nivel de cumplimiento en la microcuenca y que fueron: 0= no se cumple, 1= se cumple a medias, 2= si se cumple y 3= no aplica.

El procesamiento de la información fue mediante una base de datos en Excel en donde se obtuvieron los porcentajes de los niveles de las prácticas en la microcuenca.

3.3.2 Objetivo 2. Determinar el balance hídrico bajo usos de suelo forestal y pecuario en la microcuenca de San Juan Otontepec, Veracruz, México

Para determinar el balance hídrico se consideró la metodología utilizada y el sitio experimental iniciado por Chagoya (2009). El sitio experimental fue establecido en el año 2007 para determinar el balance hídrico de varios usos de suelo en una zona de recarga de la “Sierra de Otontepec”, se realizaron mediciones a partir del mes de agosto del 2009 el cual se seleccionaron cinco usos de suelo diferentes y que sirvieron de base para la realización de la presente investigación.

Los tratamientos específicos se muestran en (figura 5):

- a) Bosque secundario
- b) Pastizal nativo
- c) Pastizal con arbustos
- d) Pastizal de estrella africana
- e) Bosque de encino



Bosque secundario



Bosque de encino



Pastizal con arbustos



Pastizal nativo



Pastizal de estrella africana

Figura 5. Fotografías que ilustran los usos los tratamientos usados para la determinación del balance hídrico.

Las variables que se evaluaron fueron: precipitación, evapotranspiración, interceptación del dosel, percolación, escorrentía superficial y cambio de humedad del suelo, durante el periodo de agosto 2009 a julio 2010.

El balance hídrico para cada uso de suelo fue estimado mediante la fórmula siguiente (Adaptado de Pilbeam et ál. 1995):

$$P = ET + I + P + E + \Delta S$$

Donde:

P = Precipitación (mm)

ET = Evapotranspiración (mm)

I = Interceptación de la copa¹ (mm)

P = Percolación (mm)

E = Escorrentía (mm)

ΔS = Cambio en el almacenamiento del agua en el perfil del suelo (mm)

3.3.3 Precipitación

Existen tres pluviómetros rústicos y un pluviómetro estándar, ubicados en el sitio experimental, en los siguientes usos de suelo: pasto nativo, pasto de estrella africana y en el bosque de encino. Además se cuenta con una estación meteorológica automática Vantage-Pro. Plus, la cual se encuentra en la comunidad de San Juan Otontepec, al ser la más cercana al área de estudio (Figura 6).



Pluviómetro rustico



Estación meteorológica automática

Figura 6. Pluviómetro y estación meteorológica

¹ En bosques secundario y de *Quercus oleoides*

La precipitación fue medida cada que había lluvia utilizando una probeta se midió la precipitación que se había presentado en cada uno de los tratamientos durante el periodo de agosto 2009 a julio de 2010 misma que fue procesada en una base de datos en Excel, para calcular la precipitación durante este periodo de tiempo y poder realizar el balance hídrico.

3.3.4 Escorrentía

Existe una parcela de escorrentía establecida en la mitad de la pendiente de cada tratamiento. La parcela de escurrimiento es de 10 x 20 m (cuesta abajo) (McDonald et ál. 2002) (Figura 7).



Figura 7. Parcela de escorrentía

En cada parcela se vacía a una esquina donde hay 10 cm de diámetro de desagüe. El desagüe se conecta a una serie de bidones de plástico, los cuales están adaptados y calibrados para medir hasta 100 mm de escorrentía. Los bidones de plástico están cubiertos para evitar la entrada directa de la lluvia (adaptado de Acharya et ál. 2007). La medición se realizó cada vez que había escorrentía, utilizando una probeta se media el agua que había en los bidones, durante el periodo de agosto 2009 a julio 2010.

Para el procesamiento de la información, fue mediante una base de datos en Excel, que permitió calcular la conocer la escorrentía en mm.

3.3.5 Infiltración

Las tasas de infiltración se midieron utilizando el método del doble anillo (Anderson e Ingram 1993, Ward y Elliot 1995), a dos profundidades del suelo (0-5 cm y 45-50 cm), cuando el suelo estaba húmedo, y se realizó la segunda prueba a una profundidad 50 cm ya que se

termina la primera capa u horizonte que se distinguió cuando el suelo estaba completamente húmedo (Figura 8).

Las pruebas de infiltración se realizaron en la parte media de la pendiente de cada uno de los tratamientos, a dos profundidades, primero se realizó a nivel de suelo y posteriormente una profundidad de 50 cm en el mismo tratamiento (Figura 8), para ello primeramente se agregó agua a los dos anillos hasta la altura de lectura inicial o tiempo cero (7.5 cm); posteriormente se tomó la altura del agua inicial con la regla y se inicio inmediatamente el conteo del tiempo y se registró las lectura en una hoja (Anexo 2), y para realizar los cálculos y determinar la tasa de infiltración de cada uno de los tratamientos se utilizó la ecuación de Kostyakov (Henríquez y cabalceta 1999), y para el procesamiento de la información fue mediante una base de datos de Excel.

Ecuación de Kostyakov:

$$I = at^b$$

Donde:

I= Infiltración acumulada (cm)

t= tiempo acumulado (minutos)

a= intercepto

b= pendiente



Prueba de infiltración de doble anillo a 5 cm.



Prueba de infiltración a 50 cm de profundidad

Figura 8 Pruebas de infiltración a dos profundidades.

3.3.6 Descripción del perfil de suelo

Se realizó la descripción del perfil de los suelos de cada tratamiento y para ello se realizaron calicatas de 1 metro de profundidad y se describió el perfil de acuerdo a la metodología de la (FAO 2009b) (Figura 9).



Descripción del perfil de suelo

Figura 9. Descripción del perfil de suelo.

3.3.7 Evapotranspiración

Para la evapotranspiración existen sensores de humedad instalados horizontalmente en la pared de un pequeño agujero a tres profundidades: 15, 45 y 75 cm, respectivamente, instalados en la parte media de cada uno de los tratamientos. La humedad del suelo fue registrada cada dos horas durante las 24 horas del día de agosto 2009 a julio 2010 y la información se almacenó en un registrador de datos (ECH₂O Decagon ©) (figura 10)

En días sin lluvia, la evapotranspiración se calculó con base en los cambios en el contenido de humedad de cada uno de los tres horizontes del perfil del suelo analizados. Para los días con lluvia se estimó como el promedio de evapotranspiración de los días sin lluvia del mes correspondiente.

3.3.8 Percolación

La percolación se calculó a partir de la ecuación del balance hídrico, dado que se conocían los valores de precipitación neta, evapotranspiración, escorrentía superficial y el cambio de la humedad en el suelo.



Sensores a tres profundidades de suelo



ECH2O Decágon

Figura 10. Sensores instalados a tres profundidades de suelo en el área de estudio.

3.3.9 Objetivo 3. Analizar la gestión del agua, principalmente para consumo humano, en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.

Para poder responder a las preguntas planteadas para el objetivo 4 se realizó la caracterización e identificación de los actores claves en la gestión del agua para consumo humano, en donde inicialmente se realizó una identificación nominal de actores por parte de informantes claves, listas de verificación y selección propia (Jiménez 2009d).

Posteriormente con la información obtenida se empleó la metodología propuesta por Chevalier (2006), conocida también como análisis social CLIP, ayuda a crear los perfiles de los actores involucrados en un problema central o acción, este análisis ayuda a examinar la forma en que los factores de: 1) Colaboración (o conflicto), 2) Legitimidad, 3) Intereses y 4) Poder, moldean la estructura de los actores en una cierta situación y las posibles estrategias para hacerse cargo de los problemas o acciones sociales. Con esta metodología se empleó el Diagrama de Venn (Figura 11).

Los principios del análisis social CLIP son los siguientes (Chevalier 2006):

- Los actores son las partes cuyos intereses pueden resultar afectados por un problema o acción. También se incluye a aquellos que pueden incidir en el problema o acción utilizando los

medios que estén a su disposición, tales como poder, legitimidad y los vínculos existentes de colaboración y conflicto.

- Los intereses son las pérdidas y ganancias que el individuo experimentará con base a los resultados de las acciones existentes o propuestas. Estas pérdidas y ganancias influyen en su acceso al poder, la legitimidad y las relaciones sociales.

- El poder es su habilidad para utilizar los recursos que controla para lograr sus objetivos. Estos recursos incluyen la riqueza económica, la autoridad política, la habilidad para utilizar la fuerza o amenazar con utilizarla, el acceso a la información (conocimiento y habilidades) y los medios para comunicarse.

- La legitimidad es cuando otros actores reconocen, por ley o mediante las costumbres locales, sus derechos y responsabilidades y la determinación que se muestra cuando los ejerce.

- Las relaciones sociales abarcan los vínculos existentes de colaboración y conflicto que le afectan en una situación determinada y que puede utilizar para incidir en un problema o acción.

- La forma en que el poder, los intereses, la legitimidad y las relaciones sociales se distribuyen en cada situación determina la estructura de los actores y las posibles estrategias a utilizar para manejar los problemas sociales.

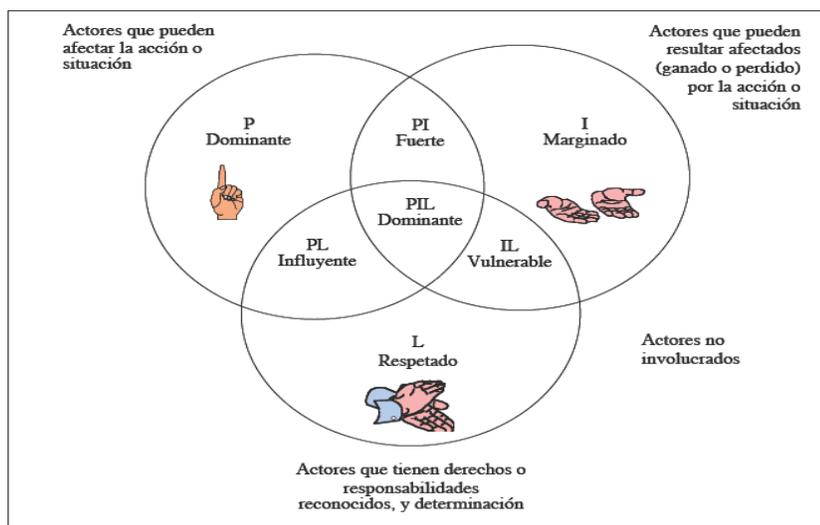


Figura 11. Categoría de actores representados en el diagrama de Venn.
Fuente: Documento de análisis social CLIP 2006.

Para conocer la opinión de los usuarios de las comunidades que se abastecen de la microcuenca San Juan Otontepec sobre la gestión del agua se realizaron entrevistas

semiestructuradas (Karremans 1994) (Anexo 3) y utilizando la siguiente fórmula se determinó el tamaño de muestra para cada una de las comunidades.

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{\beta^2}{4} + \sigma^2}$$

Donde:

N= tamaño de la población

σ^2 = varianza máxima de una proporción (0,25)

β = error de estimación en las respuestas aportadas (10%)

4= coeficiente correspondiente a un nivel de confianza del 95%

Para cada una de las comunidades se determinó el tamaño de la muestra de número de entrevistas, resultando la siguiente distribución:

- Comunidad de El Humo-Tepetzintla: 85 entrevistas.
- Comunidad de Tezital-Tepetzintla: 25 entrevistas.
- Comunidad de Tezital-Chontla: 35 entrevistas.

3.3.10 Objetivo 4. Determinar la oferta y la demanda actual y proyectada del agua para consumo humano de las comunidades que se abastecen de la microcuenca San Juan Otontepec.

Dadas las características de las fuentes de la microcuenca se consideró el método de aforo volumétrico, para determinar la oferta del agua para consumo humano, mismo que consistió en hacer llegar a la corriente, un depósito o recipiente de volumen (V) conocido, y medir el tiempo (T), requerido para llenar el depósito (Villón 2002).

Para calcular el caudal se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = caudal, en l/s ó m³/s

V = volumen del depósito, en l ó m³

T = tiempo en que se llena el depósito, en s

Este método es el más efectivo, para el caso de caudales pequeños. Se realizó el aforo para conocer caudal real y el potencial de la microcuenca (Figura 12).



Aforo de caudal potencial



Aforo de caudal real

Figura 12 Aforo de caudales

Para el aforo se realizó tres repeticiones en cada una de las tomas de agua de acuerdo a (Villón 2002).

Para determinar la oferta se realizó el aforo mensual durante un periodo de un año a partir de agosto de 2009 a julio de 2010, con la finalidad de conocer el comportamiento del caudal durante este periodo, es decir conocer caudal en temporada seca y temporada de lluvia.

Para ello se realizó mediciones de caudal del acueducto que son: caudal total y caudal aprovechado. El primero se refiere a la cantidad total que tiene el manantial, mientras el segundo a la cantidad que es aprovechada por las poblaciones.

Con respecto al cálculo de la demanda de agua, se consideró en función a la tasa de crecimiento poblacional de acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y del diagnóstico situacional y de salud, El Humo, Tepetzintla, Veracruz.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad mínima de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 litros/habitante/día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 litros/habitante/día.

Así mismo, de acuerdo a PNUMA (2010), la demanda de agua en América Latina y el Caribe se ha incrementado, y dependiendo de la fuente de información, el promedio de consumo de agua por habitante por día se podría aproximar a 150 l/hab./día

Una vez obtenida la información se determinó la oferta y demanda actual y proyectada para 10, 20 y 50 años del recurso hídrico para las comunidades que se abastecen de la microcuenca San Juan Otontepec, considerando la tasa de crecimiento de las poblaciones, utilizando el modelo aritmético para la estimación de la población (Jain 2001).

Ecuación del método aritmético:

$$P = P_2 + \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} (t - t_2)$$

P=Población futura

P1= Población penúltimo censo considerado.

P2= Población último censo considerado.

t= Año para el que se busca la población.

t1= Año del penúltimo censo considerado.

t2. Año del último censo considerado.

3.3.11 Objetivo 5. Determinar la vulnerabilidad y la eficiencia en la conducción del agua para consumo humanos del acueducto que suministra a las poblaciones de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla, Veracruz, México.

a) Vulnerabilidad del acueducto

Para el análisis de vulnerabilidad del acueducto se utilizó la metodología propuesta por (Mendoza 2008), en donde se basa en una serie de indicadores para cada uno de los componentes que integran el sistema (Cuadro 2). A partir de esta propuesta se evalúa, de forma participativa, la vulnerabilidad del sistema.

Para cada componente se definen sus respectivos indicadores, el número de indicadores varía desde tres hasta catorce para cada componente. El índice para el análisis de vulnerabilidad consta de 10 componentes y 63 indicadores. Cada indicador se caracteriza para facilitar la evaluación en cinco categorías (0 al 4). Posteriormente son evaluados para otorgarles un valor de importancia en escala del 1 al 5 (1 menos importante y 5 más importante (Mendoza 2008).

Cuadro 1. Componentes del sistema para evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano.

COMPONENTE DEL SISTEMA
Zona de recarga hídrica (microcuenca)
Fuente de abastecimiento de agua
Toma de agua y obra de captación
Línea de conducción
Tanque de almacenamiento
Red de distribución
Tratamiento del agua
Uso y manejo del agua en el hogar
Manejo de aguas post-uso
Gestión administrativa

- * **Zona de recarga hídrica.** Es la zona donde se da el proceso de recarga de los acuíferos y manantiales mediante la infiltración del agua de lluvia.
- * **Fuente de abastecimiento de agua.** Son los cuerpos de agua que abastecen a las poblaciones (ríos, embalses, lagos, manantiales, acuíferos, nevados, mar).
- * **Toma de agua y obra de captación.** Son las obras necesarias para captar el agua de la fuente a utilizar y poder aprovecharla durante todo el año.
- * **Línea de conducción.** Es el conjunto de estructuras y elementos que sirven para transportar el agua desde la obra toma o sistema de captación hasta al reservorio o planta de tratamiento.
- * **Tanque de almacenamiento.** Es un elemento cuya función principal es la de suministrar reservas de agua, que cubran las variaciones horarias del consumo de la comunidad y las necesidades de esta, cuando requiera efectuar reparaciones en la obra de toma o la línea de conducción.
- * **Red de distribución.** Es la tubería que une al tanque de almacenamiento con la red de distribución, tiene la función de entregar el agua a los usuarios en la entrada de sus viviendas.
- * **Tratamiento del agua.** Es el método o procedimiento que se sigue para que se logre la calidad del agua necesaria para que sea potable o lo más potable posible.
- * **Uso y manejo del agua en el hogar.** Es la forma en que se utiliza el agua dentro de la vivienda, se refiere a la distribución de la cantidad para cada una de las actividades, los elementos que se toman en cuenta para conservar la calidad y las medidas para el ahorro de la misma.
- * **Manejo de agua post-uso.** Es el tratamiento que se da a las aguas residuales después de su utilización en el hogar o el sitio de habitación.
- * **Gestión administrativa.** Es el proceso que consiste en las actividades de planeación, organización, ejecución y control desempeñados para el manejo del recurso hídrico para consumo humano.

b) Eficiencia de conducción del agua en el acueducto

Para poder determinar la eficiencia en la conducción del acueducto que suministra el agua para consumo humano a las comunidades de El Humo-Tepetzintla, Tezital-Tepetzintla y Tezital-Chontla, se realizó la medición del caudal en la toma y el caudal en el tanque de almacenamiento (Figura 13), aplicando la siguiente fórmula.

$$EC = \frac{CF}{CI} * 100$$

Donde:

EC= Eficiencia de conducción

CF= Caudal final (agua que llega al tanque de almacenamiento)

CI= Caudal inicial (agua que entra en la toma)



Medición del caudal inicial



Medición del caudal final

Figura 13. Medición de eficiencia de conducción

3.3.12 Objetivo 6. Proponer estrategias y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México.

Con base a los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos se realizó un taller de acuerdo a Rodríguez y Camacho (1997), para establecer las estrategias y acciones que permitan lograr una buena gestión del recurso hídrico de la microcuenca, con los actores claves, usuarios del agua, comités del agua y dueños de los terrenos de la microcuenca San Juan Otontepec.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Objetivo 1. Determinar los usos de suelo y la aplicación de buenas prácticas de manejo de cuencas en la microcuenca San Juan Otontepec

4.1.1 Usos del suelo

En la microcuenca San Juan Otontepec se determinaron siete usos de suelo, cuya ubicación espacial se presenta en la figura 14 y la magnitud de los mismos en la figura 15. Las características de cada uso de la tierra se describen a continuación.

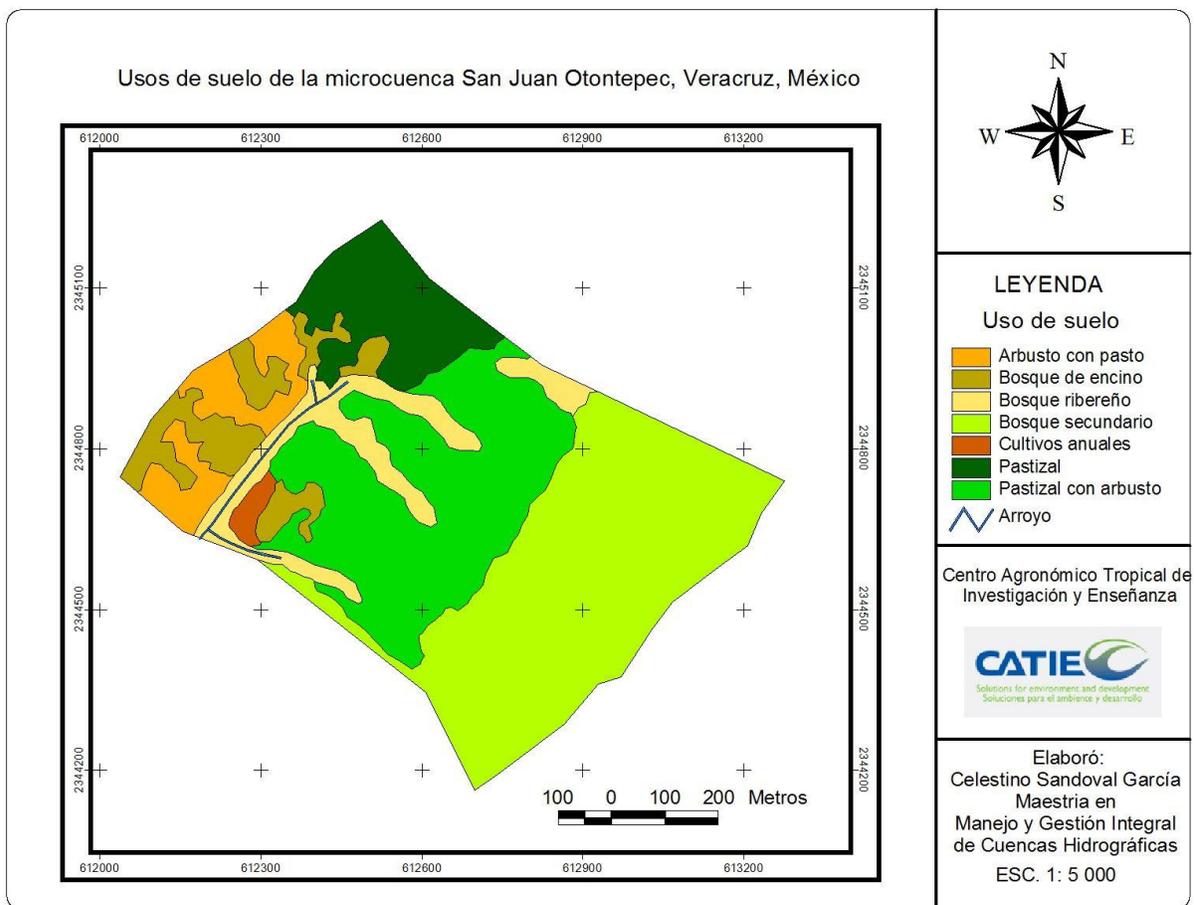


Figura 14. Mapa de usos de suelo de la microcuenca San Juan Otontepec

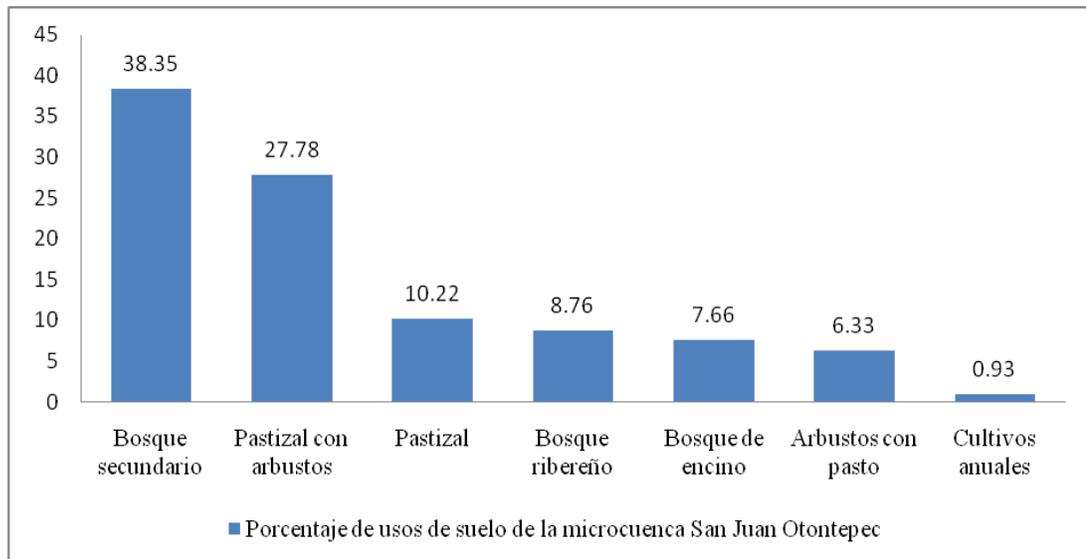


Figura 15. Distribución de los usos de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec

4.1.2 Bosque ribereño

En este tipo de vegetación se encontraron principalmente especies como el encino (*Quercus oleodes*), palo de agua (*Alnus sp*), sangregado (*Croton drago*), guasima (*Guazuma ulmifolia*) y cedro (*Cedrela sp*) (Figura 16). Dada las condiciones que presenta el bosque ribereño, existe una mezcla de las especies antes mencionada por la alteración que ha sufrido el mismo, principalmente por el cambio de uso del suelo. Este uso ocupa una superficie de 5,4 hectáreas, representando el 8,8% del área.



Figura 16. Uso de la tierra correspondiente a bosque ribereño

4.1.3 Bosque secundario

La vegetación de bosque secundario está constituida por especie que lograron establecerse después de la roza, tumba y quema realizada por los campesinos de la zona para realizar el cultivo de maíz y otras hortalizas por la década de los 80 (Chagoya 2009), mismo que fue abandonado debido a que la fauna silvestre del lugar se comía los cultivos y la humedad de la zona no permitía el desarrollo de los mismos. Este uso ocupa una superficie de 23 hectáreas, representando el 38,3% del área.

Las especies de árboles dominantes en este tipo de vegetación son *Nectandra sp.*, *Persea sp.*, *Hoffmania excelsa*, *Psychotria lundellii* y *Viburum ciliatum*, *Quercus sp.*, así como el helecho arborescente (*Nephelea mexicana*) (Figura 17) (SEDESMA 2006).

Como vegetación introducida se encontraron: cultivo de café (*Coffea arabica*) de manera aislada, árboles de mandarina (*Citrus reticulata*), naranjo de cucho (*Citrus aurantium*) y plantaciones de papatla (*Heliconia schiedeana*) establecida por los propietarios de esta área, así como el cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum*), este ultimo de manera temporal.



Figura 17. Uso de la tierra correspondiente a bosque secundario

4.1.4 Pastizal

Este tipo de vegetación predomina principalmente mediante el pasto estrella africana *Cynodon nlemfluensis*, especie introducida por el propietario para el ganado vacuno, así como el pasto nativo *Paspalum notatum*. El área total del pastizal abarca una superficie de 6,3 hectáreas, aunque cabe mencionar que hay especies arbustivas, de manera muy aislada, en este tipo de vegetación (Figura 18).



Figura 18.

Uso de la tierra

correspondiente a Pastizal

4.1.5 Cultivos anuales

El cultivo anual representa la siembra de los propietarios dentro de la zona de estudio, y es principalmente la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Figura 19) y el cilantro (*Coriandrum sativum*) en temporada de lluvia, además del cultivo de la hoja papatla (*Heliconia schiedeana*) de manera aislada dentro de la microcuenca, con una superficie de 0,57 hectáreas que representa el 0,93% del área total de la microcuenca.



Figura 19. Uso de la tierra correspondiente a caña de azúcar

4.1.6 Bosque de encino

La especie predominante que se encuentran dentro del bosque de encino es el *Quercus oleoides* (Chagoya 2009), mismo que ha sufrido disturbios con el paso del tiempo por el hombre y por fenómenos naturales, principalmente de huracanes, abarcando una superficie de 4,7 hectáreas dentro de la microcuenca y que representa el 7,6% del área total de la microcuenca.

En la Sierra de Otontepec es posible encontrar bosques de encinos conformados principalmente por la especie *Quercus oleoides*, la cual se ubica en lomeríos sobre suelos rojos o amarillos arcillosos y frecuentemente se asocia a otras especies del mismo género (por ejemplo: *Q. sororia*, *Q. glaucescens*, *Q. peduncularis* y *Q. affinis*). Este tipo de comunidades no son muy altas (por lo general hasta 20 m), ni muy densas y se restringen a pequeñas áreas limitantes con el bosque tropical perennifolio (Figura 20) (SEDESMA 2006).



Figura 20. Uso de la tierra correspondiente a bosque de encino

4.1.7 Pastizal con arbusto

La especie que existe dentro de este tipo de vegetación es principalmente pasto estrella africana con arbustos de la especie *Conestegia xalapensis*, abarcando una superficie de 17,2 hectáreas (Figura 21) y representa el 27,7% del área total de la microcuenca.



Figura 21. Uso de la tierra correspondiente a pastizal con arbustos

4.1.8 Arbustos con pasto

Las especies que se encuentran dentro de este tipo de vegetación son el arbusto (Figura 22) el pasto nativo del género *Paspalum* y pasto estrella africana, abarcando una superficie de 3,9 hectáreas que representa el 6,3% del área total de la microcuenca.



Figura 22. Uso de la tierra arbustos con pasto

Los usos de suelo que presenta la microcuenca permiten que haya una cobertura que protege al suelo, sin embargo para el pastizal y pastizal con arbustos se tiene el riesgo de que al no realizar un buen manejo de los pastizales y si se incrementa la carga animal habrá impacto para el suelo pudiendo haber más escorrentía de la microcuenca al haber una compactación, así mismo el bosque secundario presenta pequeños cambios en la cobertura al realizarse en pequeñas áreas la siembra de cilantro en donde se tienen que cortar los arboles para abrir espacios siendo una parte vulnerable al cambio de uso. Al igual para la vegetación de arbustos con pasto durante el periodo de estudio se pudo ver que el propietario realiza el cambio por pasto mejorado cada cierto periodo de tiempo (Figura 23).



Figura 23. Cambio de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec

A pesar que la microcuenca está dentro de la zona núcleo del área natural protegida Sierra de Otontepec en cual contempla realizar solo labores de conservación y protección de los bosques, sin embargo los propietarios hasta el momento no han recibido ningún tipo capacitación o apoyo para la conservación y protección de la misma.

4.2 Capacidad de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec

En la microcuenca San Juan Otontepec se determinaron siete clases de capacidad de uso de suelo (Figura 24) los cuales se indican a continuación y se describen con mayor detalle en el cuadro 3.

La capacidad de uso de suelo que predomina es la clase VIe1, con una superficie de 30,10 hectáreas que representa el 48,55% de la microcuenca el cual se caracteriza por ser tener cobertura forestal así como arbustiva en la mayor parte y por presentar cierta pendiente que no permite otro uso; el 26,61% corresponde a la clase Vs3, con una superficie de 16,50 hectáreas y que se caracteriza por tener bosque secundario, así como arbusto con pastizal y presenta limitaciones de pedregosidad; el 14,51% corresponde a la clase VIIe1, con una superficie de 8,99 hectáreas y presenta bosque secundario con limitaciones de pendiente; el 4% corresponde a la clase IIe1, con una superficie de 2,48 hectáreas y corresponde a un pastizal con leves limitaciones. El 3,45% corresponde a la clase IIIe1, con una superficie de 2,14 hectáreas y se caracteriza por presentar pastizal y para desarrollar los cultivos anuales se requieren practicas de manejo y conservación del agua; el 2,38% corresponde a la clase IVe1, con una superficie de 1,47 hectáreas y el tipo de vegetación que presenta es el pastizal y bosque ribereño, con fuertes limitaciones solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente; el 0,50% corresponde a la clase IIs3, con una superficie de 0,30 hectáreas y que presenta pastizal, con leves limitaciones, con presencia de pedregosidad. La terminación e1 corresponde a que la capacidad de uso fue determinada por la pendiente, mientras que la terminación s3 fue por la pedregosidad.

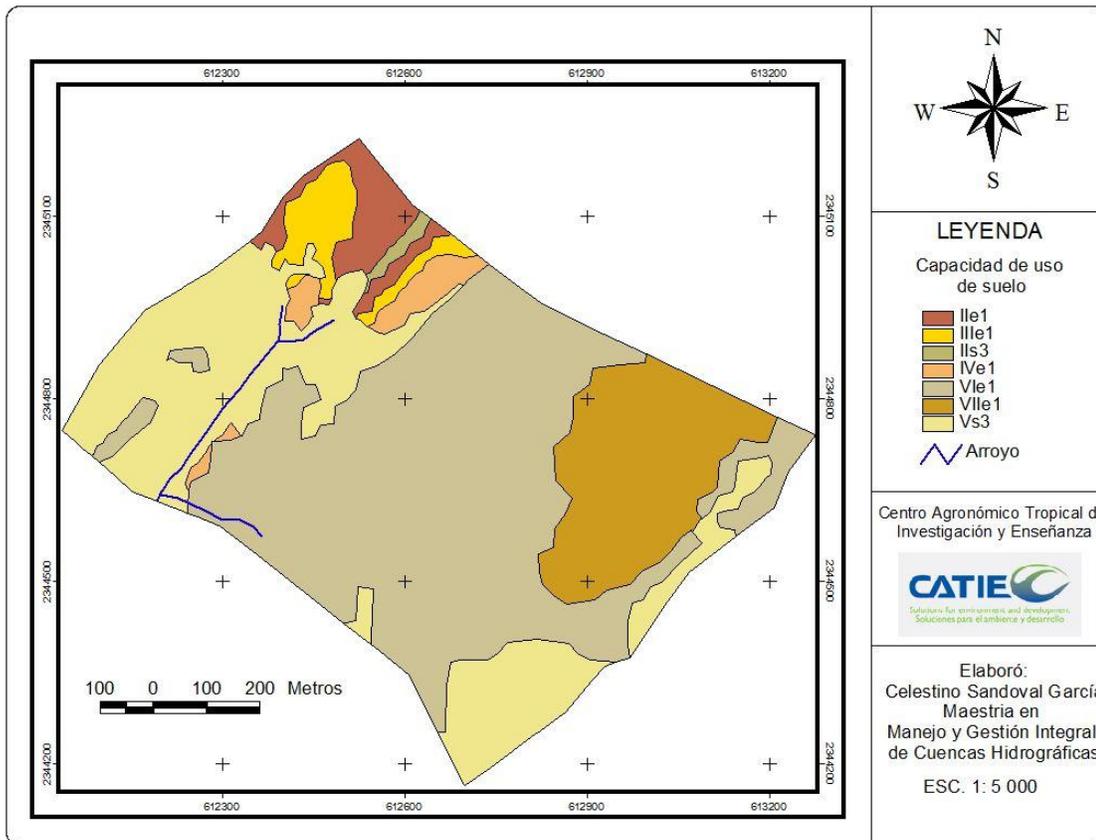


Figura 24. Capacidad de uso de suelo en la microcuenca San Juan Otontepec.

Cuadro 2 Descripción de las capacidades de uso de suelo de la microcuenca

Capacidad de uso de suelo	Descripción
Ile1	Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos, y para este caso domina la pendiente.
IIIe1	Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas, solas o combinadas, que restringen la elección de los cultivos. Para desarrollar los cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.
IIs3	Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos, y para este caso domina la pedregosidad.
IVe1	Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones, solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelo y agua.
Vle1	Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción

	forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.
VIIe1	Las tierras de esta clase tienen severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa. En aquellos casos en que el uso actual del suelo sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal natural.
Vs3	Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes o bosque, por lo cual su uso se restringe al pastoreo o manejo de bosque natural.

Fuente: Cubero 2001.

4.3 Conflictos de usos de suelo en la microcuencas San Juan Otontepec

El análisis de conflictos de uso del suelo (Figura 25) indican que el 95% de la microcuencas tiene un uso correcto, con una superficie de 58,96 hectáreas, en donde hay vegetación de bosque secundario, pastizal, bosque de encino, arbusto con pasto y bosque ribereño y el sobre uso corresponde a 5% de la microcuencas, con una superficie de 3 hectáreas, que es ocupado por cultivos anuales y por pasto con arbustos.

Como se puede observar en la microcuencas la mayor parte presenta un uso correcto, debido seguramente a que la pendiente y la pedregosidad no favorecen otros usos de suelo, más que el pecuario y forestal. Las áreas en sobreuso corresponden a actividades pecuarias en zonas con alto grado de pendiente y cerca de los márgenes de bosques ribereños.

Sin embargo como se pudo observar durante los recorridos de campo en las zonas de bosque secundario a pesar de presentar un uso correcto se observó pequeños cambios en el uso del suelo, ya que los dueños de los terrenos de esta parte de la microcuencas tienen la necesidad de sembrar cultivos como la papatla (*Heliconia schiedeana*) y el cilantro (*Coriandrum sativum*) por lo que tienen que desmontar pequeñas áreas.

Así mismo es necesario realizar un buen manejo de los pastizales manteniendo una carga animal adecuado, ya que de lo contrario se estará realizando un sobre uso de la microcuencas, teniendo como consecuencia una compactación en el suelo, así como un incremento en la escorrentía, mismo que repercutirá en la recarga del acuífero y a las poblaciones que se abastecen del agua que produce esta microcuencas, la importancia de la capacitación de los dueños de las tierras de la zona de recarga sobre el uso y manejo de los recursos naturales y de la ganadería conservacionista, al igual que de la implementación de buenas prácticas de manejo de cuencas.

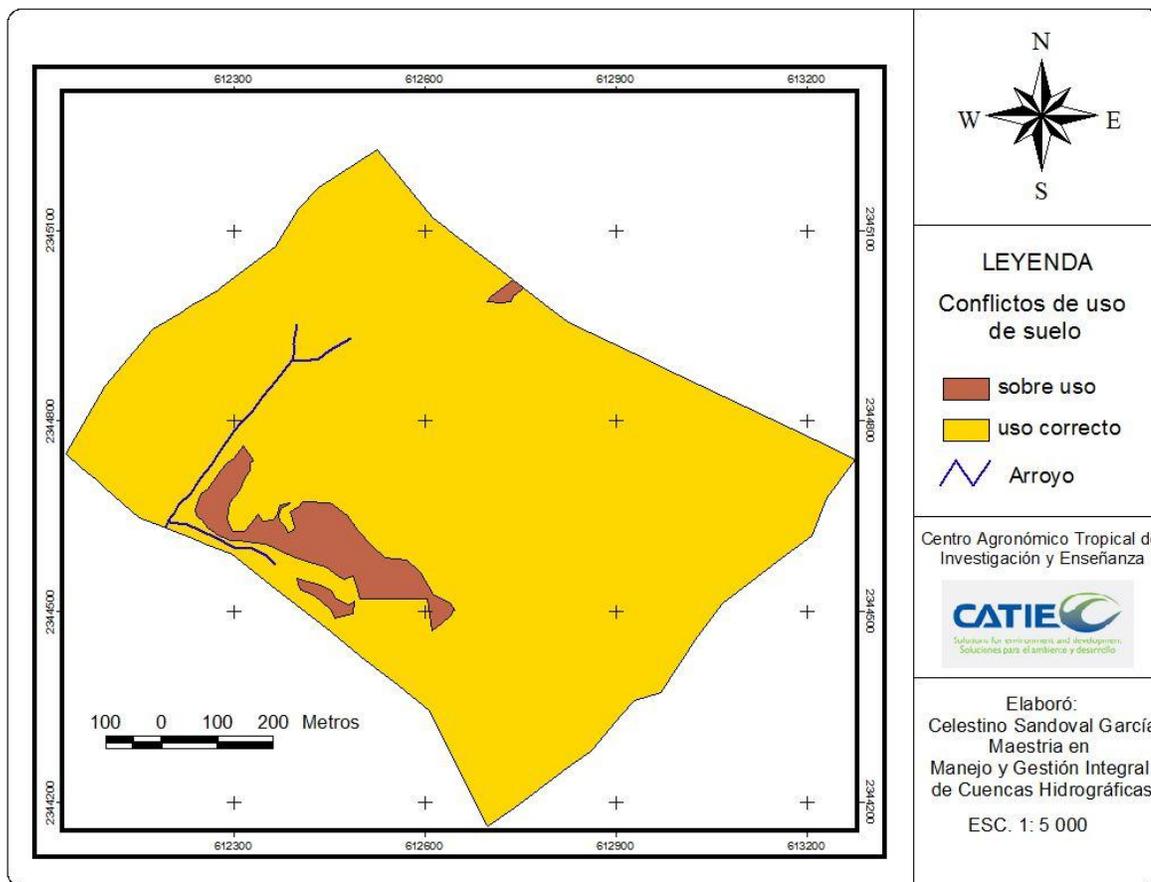


Figura 25. Conflictos de uso del suelo en la microcuenca San Juan Otontepec

4.4 Análisis de los sistemas de producción en relación al manejo de la cuenca y protección del agua.

Para la evaluación de la aplicación de buenas prácticas de manejo de cuencas, se realizó un recorrido en la microcuenca, así como un taller con los dueños de los terrenos de la zona de recarga hídrica. Las prácticas se clasificaron en cuatro clases de acuerdo al nivel de cumplimiento en la microcuenca: 0= no se cumple, 1= se cumple a medias, 2 =sí se cumple y 3= no aplica.

4.4.1 Prácticas de producción y conservación forestal

Actualmente en la microcuenca no hay ningún tipo de aprovechamiento forestal con fines comerciales. Así mismo, el tipo de vegetación que existe solo puede ser usada para uso doméstico (leña y postes para cercado) y de autoconsumo local. También es utilizada para mejoramiento de las viviendas.

Al no realizarse ningún tipo de aprovechamiento con fines comerciales, determina el nivel de cumplimiento de las prácticas evaluadas, y otras que no son aplicadas (Figura 26).

Prácticas que no se cumplen

El 15% de las prácticas no se cumplen, de acuerdo a las prácticas de producción y conservación forestal, ya que a pesar de que existen programas de promoción y ejecución de reforestación y de reducir la deforestación, no se han realizado con los propietarios como mencionan en el taller realizado con ellos, solo uno comentó que ha intentado realizar la reforestación, pero que no han pegado los árboles, ya que por esta área existe mucho viento.

Los productores no han recibido capacitación sobre silvicultura conservacionista, manejo de bosques y de los recursos naturales, a pesar de que existen campañas de promoción de este tipo de silvicultura.

Cabe mencionar que toda la microcuenca San Juan Otontepec se encuentra dentro de la zona núcleo de acuerdo al programa de manejo del Área Natural Protegida, en donde considera que solo se debe de realizar la protección y conservación del área, algo que no se respeta, por no existir acciones concretas que motiven a los propietarios y la ausencia de alternativas para la conservación del área.

Con base a la evaluación realizada, mediante el recorrido de campo, se pudo observar que el bosque secundario sigue sufriendo de la tala de árboles, ya que los campesinos requieren de espacios para poder realizar la siembra de cultivos, que les permita obtener algún ingreso económico, ya que hasta el momento no existe una política definida para poder apoyar a los propietarios de esta zona.

Prácticas que se cumplen a medias

En la microcuenca los propietarios no tienen como actividad productiva importante la venta de leña o carbón, sin embargo si existe la extracción de la misma para el consumo doméstico local, principalmente de leña.

Prácticas que sí se cumplen

El 31% de las prácticas que se cumplen está que en las pendientes aproximadamente mayores al 70% y no están dedicadas a plantaciones forestales, sino que tienen cobertura de bosque secundario.

Además los productores no viven en la misma y no tienen como actividad productiva importante la venta de leña o carbón. Así mismo existe control de incendios forestales,

evidenciado por la ausencia de los mismos y no existe una actividad importante en la microcuenca de extracción sin control de productos no maderables del bosque (por ejemplo plantas medicinales, animales, etc.).

Prácticas que no aplican

Entre las prácticas que se mencionan en el protocolo y que no se aplican están: no existe el monocultivo de plantaciones forestales con especies exóticas, principalmente en las áreas de la finca con pendientes mayores del 10%; predominan plantaciones mixtas de especies nativas latifoliadas. Si bien no existe servicio de energía eléctrica, y se usa leña como combustible, la mayoría de las viviendas cuentan con cocinas ahorradas de leña y con áreas en su finca para su producción, lo cual contribuye a reducir la deforestación y la presión sobre el componente arbóreo en la cuenca. Se debe recordar que no hay población dentro de la microcuenca, sin embargo si existe la demanda de la leña para la comunidad que habita cerca de la microcuenca.

4.4.2 Prácticas de ganadería conservacionista

La actividad ganadera es desarrollada por un productor que posee la mayor cantidad de terreno y cuenta con alrededor de 100 cabezas de ganado vacuno, considerando burros y caballos.

Para la evaluación de las prácticas de ganadería conservacionista se recorrió el área dedicada a esta actividad en el cual se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 26).

Prácticas que no se cumplen

Entre las prácticas que no se cumplen se encuentra los siguientes: en las divisiones y los linderos de las áreas ganaderas no existen cercas vivas con especies arbóreas y/o arbustivas, solo se existe alambre con corriente que no permite que el ganado pase de una división a la otra. Así mismo el productor no ha recibido capacitación sobre ganadería conservacionista y manejo de los recursos naturales; además no existen campañas de promoción de este tipo de ganadería.

Prácticas que se cumplen a medias

Dentro de las áreas dedicadas a las pasturas para la ganadería existen menos 20 árboles dispersos por hectárea. Así mismo existe un establo para la ordeña de las vacas a menos de 100 m de distancia del manantial y cauce del arroyo principal. Los manantiales no cuentan con una protección adecuada que evite que el ganado entre a beber a las mismas, y en el último mes de la evaluación del área de estudio se pudo observar una pileta en donde el ganado va a tomar el agua.

Prácticas que sí se cumplen

Entre las prácticas que se cumplen están que el productor tiene una variedad mejorada de pastos de estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y hace la rotación de pasturas, al existir divisiones en el terreno. No utiliza la quema de las pasturas y la vegetación para limpiar el terreno y control de malezas, como se puede observar durante el recorrido de campo. Así mismo, durante el recorrido no se observó áreas que presentara indicios de algún tipo de erosión.

Prácticas que no aplican

En la microcuenca no existe población viviendo en la misma, ya que las comunidades que aprovechan el agua viven en la parte baja de la misma, por lo que no existe ningún otro tipo de ganado (solo vacas) en el área, sin embargo hay fauna silvestre, como lo es el venado cola blanca, el jabalí y otros pequeños mamíferos.

4.4.3 Prácticas de agricultura conservacionista

Dentro de las prácticas conservacionistas que se aplican en la microcuenca, con base al desarrollo de los cultivos anuales que existen en la microcuenca, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 26).

Prácticas que no se cumplen

El 10% de las prácticas no se cumplen, ya que con base a las observaciones realizadas en campo se pudo determinar que los productores no tienen un centro o lugar para acopiar los envases de los agroquímicos (insecticidas, fungicidas, herbicidas, etc.) que utilizan, ni cuentan con equipo adecuado y normas de seguridad para su manejo y aplicación; así mismo, con base a la información obtenida en el taller con los agricultores, ellos mencionan que no han recibido ningún tipo de capacitación sobre prácticas de agricultura conservacionista y manejo de los recursos naturales; además no existen campañas de promoción de este tipo de agricultura en la zona y región.

Prácticas que se cumplen a medias

El 10% de las prácticas se cumplen a medias, estas son: la rotación de cultivos pertenecientes a diferentes familias botánicas en las parcelas, al menos cada dos años y la existencia de barreras rompevientos de manera natural que el productor deja en su parcela, ya que las siembras se realizan en superficies pequeñas dentro de la microcuenca, tanto en la parte baja como en la parte alta de la misma y son cultivos básicos como es el cilantro (*Coriandrum sativum*), y la papatla

(*Heliconia schiedeana*) (que se aprovecha la hoja para los tamales y el zacahuil), comida típica de la región.

Prácticas que sí se cumplen

El 65% de las prácticas se cumplen; estas son: el asocio de los cultivos como lo es el cilantro y la papatla, así como el cultivo de caña en superficies menores a media hectárea aproximadamente. Los sistemas de cultivo que tiene el productor permiten que haya una cobertura permanente del suelo, principalmente durante la época de lluvias, ya sea con cobertura viva o muerta, incluyendo residuos de cosecha. La siembra o plantación de cultivos se realiza bajo el sistema de labranza mínima o cero labranzas del suelo, en donde el productor lo realiza de manera manual ya que por la topografía del terreno no puede entrar alguna maquinaria como el tractor agrícola. También existe la práctica de barbechos mejorados con la caña de azúcar, ya que el residuo es incorporado al suelo y el bagazo se abandona y después se incorpora al área de producción.

Prácticas que no aplican

El 15% de las prácticas que no se aplica en la microcuenca; esto se debe a que dentro de la misma no hay población habitando, por lo tanto no hay huertos caseros, así mismo no se aplican las siguientes prácticas de cultivo (como poda, raleo, deshoja, deshija, control de densidades, aporca, drenajes, eliminación de residuos de cosecha, eliminación de plantas hospederas, etc.); b) control biológico de plagas mediante enemigos naturales de las plagas (depredadores, parásitos y patógenos); c) uso de variedades tolerantes y/o resistentes a las plagas y enfermedades; d) control de plagas mediante el uso de trampas con feromonas, uso de atrayentes y repelentes o la liberación masiva de insectos estériles o poblaciones genéticamente degradadas.

Los cultivos perennes como café, plátano y mandarinas existen de manera aislada, en algunas parcelas de agricultores en la microcuenca.

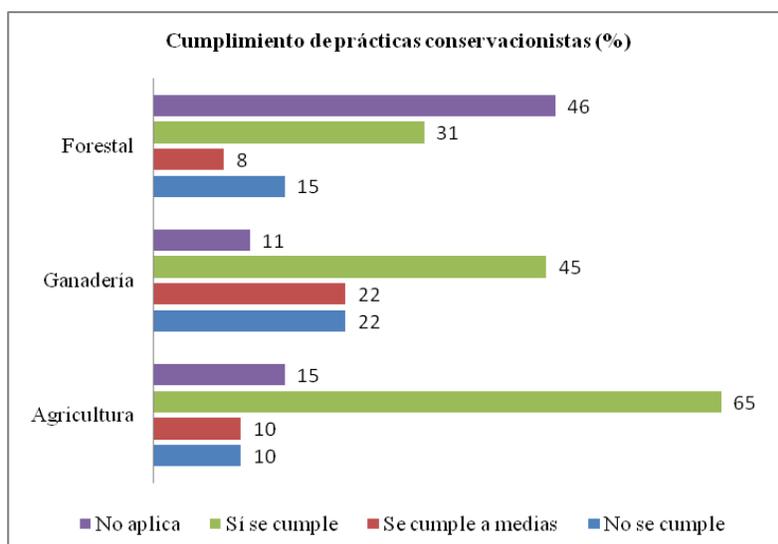


Figura 26. Nivel de cumplimiento de las prácticas conservacionistas forestales, agrícolas y ganaderas en la microcuenca San Juan Otontepec

4.4.4 Prácticas de manejo y protección del agua en fincas dedicadas a la producción agrícola, pecuaria y forestal

La figura 27 presenta los resultados de aplicación de buenas prácticas de manejo y protección del agua en las fincas de la microcuenca. Un alto porcentaje corresponde a la categoría no se aplica, ya que no hay población viviendo dentro de la microcuenca. Las prácticas que se cumplen oscilan entre 10 y 44% y las que no se cumplen entre 10 y 22%.

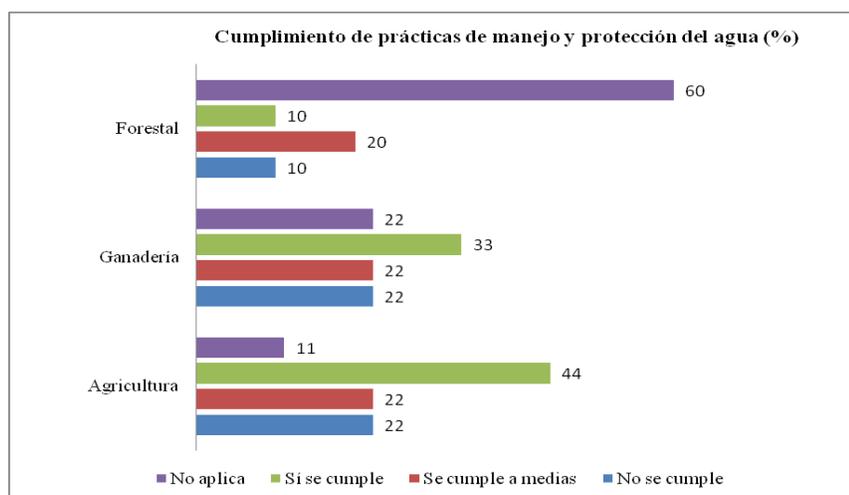


Figura 27. Nivel de cumplimiento de las prácticas de manejo y protección del agua en la microcuenca San Juan Otontepec

4.5 Objetivo 2. Balance hídrico bajo cinco usos de suelo de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México

Los resultados se presentan para un periodo de tres años; los datos de los dos primeros años provienen del estudio de Chagoya (2009), y los del último año de la continuación de la investigación por el autor de la presente investigación.

Intercepción

Los resultados se presentan para un periodo de tres años; los datos de los dos primeros años provienen del estudio de Chagoya (2009), y los del último año de la continuación de la investigación por el autor de la presente investigación. Los datos se presentan para cada componente del balance hídrico y luego de manera integrada.

Los datos de intercepción se midieron solamente para dos tratamientos: bosque de encino y bosque secundario; para los otros tratamientos, debido al bajo índice de área foliar y dosel y a la dificultad de medir la intercepción en coberturas muy bajas, se consideró despreciable.

La intercepción promedio en los tres años, en bosque de encino y bosque secundario, fue muy similar (9,0% y 10,4%, respectivamente, de la lluvia incidente) (Cuadro 3). Para el bosque de encino se observó una tendencia a aumentar la intercepción con el paso del tiempo, desde el 2007 al 2010, mientras que para el bosque secundario la tendencia fue a reducirse, de manera más importante, pasando de 16,5% en el 2007-2008 a 5,9% en el 2009-2010. Posiblemente esto se deba a un aumento en el dosel de la cobertura de encino y una disminución en el bosque secundario.

Cuadro 3. Intercepción de lluvia en los usos de la tierra bosque secundario y bosque de encino

Variable	Bosque de encino				Bosque secundario			
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	Promedio	2007 2008	2008 2009	2009 2010	Promedio
Lluvia total (mm)	2301	1126	2161	1862	2433	1193	2249	1958
Lluvia neta (mm)	2121	1027	1934	1694	2019	1087	2117	1741
Intercepción (mm)	180	99	227	168	403	106	132	213
Intercepción %	7,8	8,8	10,50	9,0	16,56	8,9	5,87	10,44

Los valores de intercepción, en ambos tratamientos, son bastante bajos, en comparación a lo reportado en la literatura, para coberturas boscosas. En Sao Paulo, Brasil, Fujieda et ál. (2997)

reportan 18% para un bosque tropical. Zambrana (1975) en un bosque en Costa Rica reporta 16%, Santiago (2007) en un bosque de encino en México reporta 16,9%. Los porcentajes de intercepción bajos se deben, posiblemente, a que la densidad de la cobertura en ambos tratamientos (bosque de encino y bosque secundario) es baja, por lo que existe poco dosel aéreo para retener la lluvia.

Lluvia incidente

La precipitación anual varió desde 1126 mm en el 2008-2009, en el tratamiento de encino, hasta 2422 en el 2007-2008 en el bosque secundario (Cuadro 4). La lluvia fue un poco menor en el bosque de encino y pastizal nativo, lo que puede deber a la ubicación espacial, ya que los mismos se encuentran en la parte baja de la microcuenca, mientras que el bosque secundario, el pastizal con arbusto y el pastizal de estrella africana que se encuentra en la parte media y alta de la microcuenca.

Los meses que registraron una mayor precipitación fueron a partir de junio a octubre de cada año, considerada la época lluviosa y el principal periodo durante el cual ocurre la recarga de los acuíferos; en los otros meses la lluvia disminuye de manera importante, pero sin llegar a ser completamente secos. Un dato atípico fue la lluvia de julio del 2010 (862 mm), el cual estuvo asociado a la ocurrencia de un huracán que afectó la zona donde se encuentra el sitio experimental.

Como se verá luego, la precipitación incidente promedio anual, supera la evapotranspiración de las coberturas de los diferentes tratamientos, por lo que, en general, solo se presentan déficits hídricos para periodos cortos, lo cual es una condición favorable para mantener caudales bastante permanentes en los manantiales.

Lluvia neta

La lluvia neta se obtuvo de restar a la precipitación incidente, la intercepción por el dosel. Esto para los tratamientos bosque de encino y el bosque secundario, que como se indicó anteriormente, fue para los que se midió la intercepción.

Consecuente con lo mencionado en el párrafo anterior, los tratamientos que recibieron mayor lluvia neta fueron: pastizal de estrella africana, pastizal con arbusto y pastizal nativo (y en fue igual a la lluvia incidente), mientras que en bosque de encino y bosque secundario, la lluvia neta fue menor, 1694 y 1741 mm por año, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 4. Lluvia incidente en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010).

Meses	Bosque secundario			Prom *	Bosque de encino			Prom *	Pastizal con arbusto			Prom *	Pastizal nativo			Prom *	Pastizal de estrella africana			Prom *
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
agosto	586	107	159	284	562	137	162	287	586	107	159	284	570	111	152	278	586	107	159	284
septiembre	527	404	387	439	460	351	371	394	526	404	387	439	509	366	402	426	526	404	387	439
octubre	277	240	228	248	251	230	215	232	277	240	228	248	267	240	215	241	277	240	228	248
noviembre	111	41	67	73	88	32	38	53	106	41	67	71	95	42	43	60	106	41	67	71
diciembre	47	10	107	55	64	8	98	57	47	10	107	55	49	11	108	56	47	10	107	55
enero	72	85	116	91	69	75	103	83	72	85	116	91	84	82	107	91	72	85	116	91
febrero	43	52	140	78	36	43	115	65	43	52	140	78	43	64	119	75	43	52	140	78
marzo	55	26	20	34	46	24	17	29	55	26	20	34	61	22	16	33	55	26	20	34
abril	41	25	65	44	36	22	58	39	41	25	65	44	43	26	55	41	41	25	65	44
mayo	40	29	15	28	42	26	27	31	40	29	15	28	46	31	13	30	39	29	15	28
junio	392	81	82	185	414	84	83	194	392	81	82	185	400	78	77	185	392	81	82	185
julio	231	94	862	396	233	95	872	400	231	94	862	396	221	91	854	389	231	94	862	396
Total	2422	1193	2249	1955	2301	1126	2161	1863	2417	1193	2249	1953	2388	1165	2161	1905	2416	1193	2249	1953
Promedio	202	99	187	163	192	94	180	155	201	99	187	163	199	97	180	159	201	99	187	163
Desviación estándar	201	114	235	183	190	102	239	177	201	114	235	183	195	105	237	179	201	114	235	183
Coefficiente variación (%)	100	115	126	113	99	109	133	114	100	115	126	113	98	108	132	113	100	115	126	113

Prom * = Promedio

Cuadro 5. Lluvia neta en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010)

Meses	Bosque secundario			Prom*	Bosque de encino			Prom*	Pastizal con arbusto			Prom*	Pastizal nativo			Prom*	Pastizal de estrella africana			Prom*
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
agosto	484	93	149	242	528	108	137	258	586	107	159	284	570	111	152	278	586	107	159	284
septiembre	380	379	386	382	426	328	358	371	526	404	387	439	509	366	402	426	526	404	387	439
octubre	209	221	201	210	236	224	202	221	277	240	228	248	267	240	215	241	277	240	228	248
noviembre	85	32	59	59	78	25	32	45	106	41	54	67	95	42	43	60	106	41	54	67
diciembre	32	8	95	45	43	8	89	47	47	10	100	52	49	11	108	56	47	10	100	52
enero	59	82	109	83	73	70	84	76	72	85	116	91	84	82	107	91	72	85	116	91
febrero	34	49	119	67	37	44	104	62	43	52	140	78	43	64	119	75	43	52	140	78
marzo	56	23	16	32	54	23	11	29	55	26	20	34	61	22	16	33	55	26	20	34
abril	37	25	52	38	31	17	45	31	41	25	65	43	43	26	55	41	41	25	65	43
mayo	36	23	12	24	33	23	23	26	40	29	15	28	46	31	13	30	39	29	15	28
junio	367	74	79	173	374	73	69	172	392	81	82	185	400	78	77	185	392	81	82	185
julio	240	77	841	386	207	86	781	358	231	94	862	396	221	91	854	389	231	94	862	396
Total	2019	1087	2117	1741	2121	1027	1935	1694	2417	1193	2228	1946	2388	1165	2161	1905	2416	1193	2228	1946
Promedio	168	91	176	145	177	86	161	141	201	99	186	162	199	97	180	159	201	99	186	162
Desviación estándar	163	107	232	168	177	97	217	164	201	114	236	184	195	105	237	179	201	114	236,3	184
Coefficiente variación (%)	97	118	132	116	100	113	135	116	100	115	127	100	98	108	132	113	100	115	127	113

Prom*=Promedio

Escorrentía

La escorrentía superficial fue prácticamente despreciable en todos los tratamientos (Cuadro 6), aún con lluvias hasta de 872 mm por mes, como ocurrió en julio del 2010 y concentrada en pocos días. El tratamiento pastizal de estrella africana tuvo, relativamente, escorrentía algo superior a los otros tratamientos, debido posiblemente a que el suelo está ligeramente más compactado, que en los otros tratamientos.

Los valores tan bajos de escorrentía están asociados principalmente a las características físicas del suelo, y en menor grado el tipo de uso, cobertura vegetal actual y al manejo poco intensivo a que está sometido. La escorrentía superficial tiene una relación inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del suelo en los primeros centímetros de profundidad, de manera, que los factores que limitan la infiltración, como por ejemplo la porosidad reducida por la compactación, el predominio de microporosidad (frecuentemente asociada a suelos muy arcillosos), la pérdida de rugosidad de la superficie del suelo, aumentan la escorrentía superficial. Los suelos del área experimental tienen, en general, una tasa de infiltración muy elevada en los primeros centímetros del suelo (ver acápite sobre percolación más adelante), con densidad aparente baja, existencia de piedras, que limitan la escorrentía, al menos la superficial, y con ello también la erosión hídrica del suelo.

Los valores de escorrentía registrados aquí fueron menores que los reportados en diferentes investigaciones, con diferentes usos de la tierra (Gómez et ál. 2010, Ríos et ál. 2006, Rodríguez y Arellano 2004, Martínez et ál. 2001, McDonald et ál. 2002).

La baja escorrentía registrada en el presente estudio, sugiere la importancia y necesidad de investigaciones más profundas, para analizar el movimiento del agua en el suelo, para determinar si existe y si fuese así, la magnitud de la escorrentía subsuperficial, así como la recarga de agua del suelo y de los acuíferos. En todo caso, pareciera que, al menos superficialmente, los usos del suelo actuales en la microcuenca, representados en los tratamientos del estudio, asociados a las características del suelo, son favorables para la recarga de agua en el suelo y los acuíferos y para evitar la erosión del mismo, debido a la baja escorrentía.

Cuadro 6. Escorrentía en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición (2007-2010).

Meses	Bosque secundario			Prom*	Bosque de encino			Prom*	Pastizal con arbusto			Prom*	Pastizal nativo			Prom*	Pastizal de estrella africana			Prom*
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
agosto	11	0	0	4	4	0	0	1	9	0	0	3	1	0	0	0	8	0	0	3
septiembre	10	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	20	10	0	3
octubre	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	14	0	0	5
noviembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
julio	0	0	3	1	0	0	12	4	0	0	3	1	1	0	10	4	0	0	12	4
Total	21	0	5	9	6	0	12	6	9	0	3	4	8	0	10	5	41	10	12	21
Promedio	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3	1	1	2
Desviación estándar	4	0	1	2	1	0	3	1	3	0	1	1	1	0	3	1	7	3	3	3
Coefficiente variación (%)	231	0	234	207	252	0	346	241	345	0	346	275	134	0	346	200	195	346	346	176

Prom*=Promedio

Evapotranspiración

El tratamiento que presentó la mayor evapotranspiración, promedio durante los tres años, fue el bosque de encino con 727 mm por año, seguido del tratamiento pastizal nativo (657 mm por año), mientras que fue menor en el tratamiento pastizal con arbusto, con 505 mm por año (Cuadro 7).

A pesar de que los meses de noviembre a mayo hay menos precipitación (meses más secos), no se observa una tendencia a aumentar la evapotranspiración en dichos meses. Esto se puede deber a que por una parte, en general, la evapotranspiración es baja (varía entre 1,4 y 2,0 mm por día según el uso de la tierra (tratamiento), y en esos meses, si bien disminuye la lluvia, la cantidad que precipita compensa, al menos parcialmente, la demanda de evapotranspiración de las coberturas. Por otra parte, si bien sería de esperar que al ocurrir menos lluvia, haya más radiación solar y por lo tanto, mayor energía para la evapotranspiración en el periodo de noviembre a mayo, dicho periodo incluye el invierno del hemisferio norte, cuando los rayos solares están muy inclinados y la densidad energética es menor. También la evapotranspiración depende de otros factores adicionales a la radiación, como son la temperatura, el déficit de saturación del aire y la velocidad del viento, la cobertura y el suelo.

La mayor evapotranspiración de los tratamientos bosques de encino y pastizal nativo, podría explicarse, al menos en parte, por su ubicación en la microcuenca, ya que están en la parte más baja de la misma y por su exposición, ya que reciben mayor radiación solar que los otros tratamientos.

Desde el punto de vista estrictamente de de rendimiento hídrico de una microcuenca, aquellos usos de la tierra que tengan menor evapotranspiración (en este estudio: pastizal con arbusto, pastizal de estrella) serían más recomendables como cobertura permanente, ya que “gastan” menos agua, sin embargo, la decisión del tipo que cobertura que es más recomendable, debe tomar en cuenta muchos otros factores de socioeconómicos, biofísicos y ecológicos, puesto el análisis debe ser integral y sistémico, considerando los beneficios y funciones que pueden aportar otras coberturas.

Cuadro 7. Evapotranspiración en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición

Meses	Bosque secundario			Prom*	Bosque de encino			Prom*	Pastizal con arbusto			Prom*	Pastizal nativo			Prom*	Pastizal de estrella africana			Prom*
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
Agosto	73	49	48	57	103	93	45	80	22	46	47	38	92	72	98	87	45	39	72	52
septiembre	57	41	76	58	33	75	35	48	45	61	59	55	15	56	63	45	22	34	45	34
Octubre	57	50	84	64	47	71	61	60	42	44	60	49	37	42	59	46	31	28	50	36
noviembre	32	30	34	32	32	55	48	45	29	40	44	38	46	23	26	32	24	25	29	26
Diciembre	65	41	46	51	45	43	52	47	19	17	53	30	31	25	40	32	20	42	44	35
Enero	25	47	35	36	38	64	65	56	20	22	47	30	19	39	43	34	15	28	52	32
Febrero	58	32	30	40	62	76	45	61	21	23	57	34	41	37	39	39	26	27	14	22
Marzo	52	49	22	41	48	73	65	62	38	34	29	34	95	84	62	80	40	46	31	39
Abril	49	44	29	41	60	38	78	59	48	44	51	48	83	72	87	81	57	77	58	64
Mayo	27	17	34	26	81	25	37	48	66	24	50	47	89	26	74	63	126	37	110	91
Junio	37	30	51	39	70	79	38	61	67	43	41	50	67	55	34	52	59	37	30	42
Julio	22	109	68	66	68	155	81	101	44	72	46	54	41	94	64	66	26	90	58	58
Total	554	539	557	550	687	847	647	727	461	470	584	505	656	625	689	657	491	510	593	531
Promedio	46	45	46	46	57	71	54	61	38	39	49	42	55	52	57	55	41	43	49	44
Desviación estándar	17	23	20	20	21	33	16	23	17	16	9	14	29	24	22	25	30	20	25	25
Coficiente variación (%)	37	50	43	43	37	47	30	39	44	42	18	33	53	46	38	46	74	48	50	57

Prom*=Promedio

Cambio de humedad en el suelo

Los cambios de humedad (Cuadro 8) están expresados como la ganancia o pérdida de agua en el suelo para una profundidad de 0 a 90 cm, que su vez integra los cambios de humedad de 0 a 30, de 30 a 60 y de 60 a 90 cm. Los valores negativos indican una pérdida neta de agua en suelo, mientras que los valores positivos indican ganancia de humedad.

Los cambios de humedad en el suelo a cada profundidad están determinados, principalmente, por el ingreso de agua desde la lluvia, los flujos de entrada ascendentes y laterales, así como las pérdidas de agua debido a la evaporación desde el mismo suelo, la transpiración de la cobertura vegetal, los flujos descendentes (percolación) y los flujos laterales (que pueden incluir escorrentía subsuperficial).

El cambio de humedad del suelo es un proceso dinámico, variable en el tiempo y el espacio, estrechamente relacionado e interdependiente del movimiento de agua en el suelo y de la demanda evapotranspirativa del ambiente y de las plantas. Esto significa que la pérdida o ganancia de humedad no es homogénea a través del perfil del suelo, sino por el contrario, muy variable: generalmente el horizonte o capa de suelo más superficial tiene cambios más pronunciados de humedad, debido a que ahí están concentradas la mayorías de raíces de la plantas y está más cerca de la superficie de evaporación o liberación de moléculas de agua al aire, pero también luego de una lluvia, rápidamente el agua que se está infiltrando impacta sobre el contenido de humedad del horizonte de suelo más superficial, como se muestra a nivel de ejemplo en la figura 28.

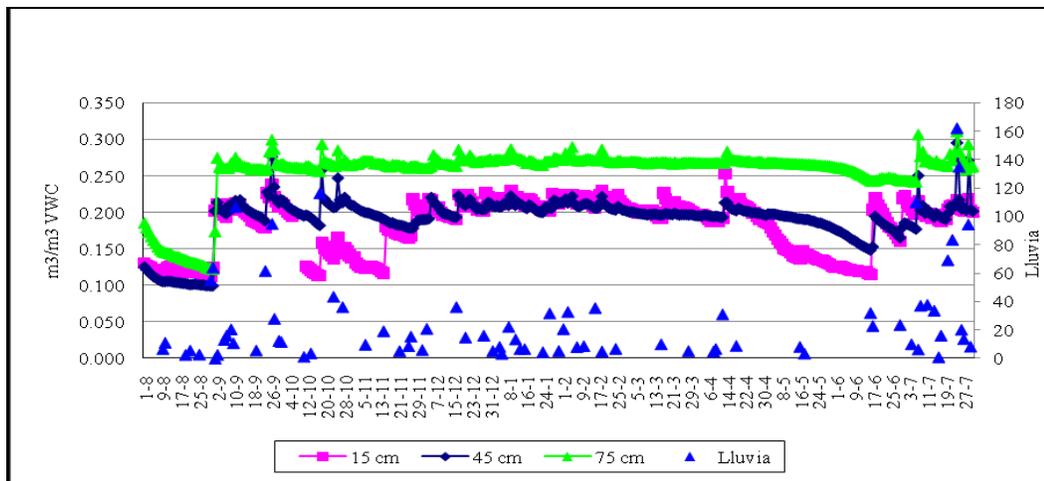


Figura 28. Humedad de suelo a tres profundidades (15,45 y 75 cm) y lluvia en uso de la tierra bosque secundario

Cuadro 8. Cambio de humedad de suelo en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición

Meses	Bosque secundario			Prom *	Bosque de encino			Prom *	Pastizal con arbusto			Prom *	Pastizal nativo			Prom *	Pastizal de estrella africana			Prom *
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
octubre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
noviembre	0	0	0	0	0	-30	-16	-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
diciembre	-33	-33	0	-22	-2	-35	16	-7	0	-7	0	-2	0	-29	0	-10	0	-15	0	-5
enero	33	33	0	22	0	6	0	2	0	7	0	2	0	29	0	10	0	15	0	5
febrero	-24	0	0	-8	-25	-32	0	-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
marzo	4	-26	-6	-9	6	-50	-54	-33	0	-8	-9	-6	-34	-40	-46	-40	0	-58	-11	-23
abril	-12	-19	6	-8	-29	-21	-33	-28	-7	-19	9	-6	-40	-32	-32	-35	-16	-47	7	-19
mayo	9	6	-22	-2	-48	-2	-14	-21	-26	5	-35	-19	-43	-61	-61	-55	-87	3	-95	-60
junio	23	39	22	28	98	-6	33	42	33	22	35	30	117	44	43	68	103	26	52	60
julio	0	-32	0	-11	0	-69	68	0	0	0	0	0	0	27	96	41	0	-76	47	-10
Total	0	-32	0	-11	0	-239	0	-80	0	0	0	0	0	-62	0	-21	0	-152	0	-51
Promedio	0	-3	0	-1	0	-20	0	-7	0	0	0	0	0	-5	0	-2	0	-13	0	-4
Desviación estándar	18	23	10	14	35	24	31	19	13	10	15	0	41	31	40	33	41	31	36	30

Prom*=Promedio

Percolación

El uso de la tierra que presentó la mayor percolación promedio en la presente investigación fue el pastizal con arbusto (1437 mm por año), seguido de la pastizal de estrella africana (1307 mm por año) y pastizal nativo (1245 mm por año), mientras que el bosque de encino tuvo la menor percolación con 1041 mm por año (Cuadro 9). Estos resultados se deben a la mayor evapotranspiración e intercepción de lluvia por el bosque de encino, lo que deja menos agua disponible para infiltrarse en el suelo.

La percolación registrada mensualmente fue variable en los cinco tratamientos evaluados, presentándose principalmente en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, que corresponde con el periodo más lluvioso.

En general, los valores de percolación fueron muy altos, debido a varios factores que interactúan como son: baja intercepción, baja evapotranspiración, escorrentía casi nula y una alta tasa de infiltración, principalmente en el horizonte más superficial (Cuadro 10), así como las características propias del suelo (Anexo 4). Por ejemplo Ríos et ál. (2006) reportan tasas de infiltración en pastizales de 0,23 cm/hora y en bosques secundario de 3,24 cm/hora.

Cuadro 9. Tasa de infiltración del agua en suelo (cm/h) bajo diferentes usos y profundidades

Uso de suelo	Profundidad (cm)	
	5	50
Bosque secundario	5,99	2,64
Bosque de encino	5,32	4,86
Pastizal con arbusto	1,25	0,29
Pastizal nativo	2,33	0,29
Pastizal de estrella africana	1,21	0,09

La menor infiltración en los usos del suelo con pastizales se debe a una mayor compactación del suelo, por el pisoteo del ganado. En el bosque de encino y bosque secundario, además de no sufrir el impacto de pastoreo, tienen sistemas radiculares más profundos que los pastos, lo que también favorece la infiltración del agua en el suelo.

La alta percolación parece evidenciar que la zona de estudio tiene alto potencial de recarga de los acuíferos, aunque es necesario estudios con mayor profundidad para determinar si existe tasas elevadas de escorrentía subsuperficial.

Cuadro 10. Percolación en los diferentes usos de la tierra y durante los tres años de medición

Meses	Bosque secundario			Prom*	Bosque de encino			Prom*	Pastizal con arbusto			Prom*	Pastizal nativo			Prom*	Pastizal de estrella africana			Prom*
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2010
agosto	400	44	101	182	421	15	92	176	555	61	112	243	477	13	54	181	533	35	87	218
septiembre	313	338	308	320	393	253	323	323	481	343	328	384	491	303	339	378	484	348	331	388
octubre	151	171	117	146	187	153	141	160	235	196	168	200	229	181	156	189	232	18	186	145
noviembre	53	2	25	27	46	0	0	15	77	1	3	27	49	16	17	27	82	0	31	38
diciembre	0	0	49	16	0	0	21	7	28	0	54	27	17	0	68	28	27	31	75	44
enero	1	2	74	26	35	0	19	18	52	56	69	59	65	10	64	46	57	15	77	50
febrero	0	17	89	35	0	0	59	20	22	29	83	45	2	25	80	36	17	0	103	40
marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	6	0	0	0	0	15	0	0	5
abril	0	0	17	6	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
junio	307	5	6	106	205	0	1	69	292	16	6	105	216	0	0	72	230	0	0	77
julio	218	0	770	329	139	0	620	253	187	22	814	341	180	0	684	288	205	0	701	302
Total	1443	579	1556	1193	1426	421	1276	1041	1946	724	1642	1437	1726	548	1462	1245	1883	447	1591	1307
Promedio	120	48	130	99	119	35	106	87	162	60	137	120	144	46	122	104	157	37	133	109
Desviación estándar	151	103	219	121	154	81	187	113	193	105	234	138	181	96	202	126	187	99	203	128
Coefficiente variación (%)	79	47	59	82	77	43	57	77	84	58	59	87	80	48	60	82	84	38	65	85

Prom*=Promedio

Balance hídrico

El cuadro 11 presenta el balance hídrico de los cinco tratamientos para los periodos 2007-2008, 2009-2009 y 2009-2010, respectivamente, y de manera detallada (Anexo 3,4, y 5), mientras que el cuadro 12 presenta el balance hídrico integrado, promedio de los tres años.

La escorrentía superficial, como se mencionó anteriormente fue prácticamente despreciable en todos los tratamientos, durante los tres años de evaluación, representando, en todos los usos de la tierra, valores relativos menores del 1,0% de la precipitación neta (Figura 30).

En el periodo 2007-2008, la evapotranspiración varió entre el 32,4 y el 19,0% de la lluvia neta, correspondiendo la mayor ET al uso de la tierra bosque de encino (32,4%), mientras que en los usos pastizal con arbusto y el pastizal de estrella africana, la ET representó el 19% de la precipitación neta.

Con respecto al 2007-2008, en el periodo 2008-2009 se presentó un aumento relativo de la evapotranspiración, presentando valores entre 43,0 y 76,4% de la lluvia neta, lo cual se debe principalmente a que la lluvia durante este año fue menor (cerca de 1000 mm) comparado con el 2007-2008. Al igual que al año anterior, el bosque de encino tuvo la mayor ET relativa, con 76,4% de la lluvia neta y el pastizal de estrella la menor ET con 43% de la precipitación neta.

Para el periodo 2009-2010, la evapotranspiración relativa fue bastante similar entre todos los usos del suelo, variando entre 26,0 y 33,4% de la lluvia neta, y correspondiendo, nuevamente, al bosque de encino la mayor ET relativa y al pastizal de estrella la menor ET. Sin embargo, pastizal nativo tuvo la mayor ET total con 689 mm, seguido del bosque de encino con 647 mm.

Para el periodo conjunto 2007-2010 la evapotranspiración promedio fue de 551 mm para el bosque secundario, 728 mm para el bosque de encino, 507mm para el pastizal con arbusto, 657 mm para el pastizal nativo y 531 mm para el pastizal de estrella africana, valores que representan el 31,7%, 42,9%, 26,1%, 34,5% y 27,0%, respectivamente, de la lluvia neta (Figura 31)

Para el caso de cambio de humedad en el suelo, si bien existen variaciones diarias producto de la pérdida o ganancia de agua en los horizontes del perfil del suelo, ya sea por la evapotranspiración, la lluvia, flujos ascendentes, flujos laterales, percolación etc., al nivel mensual, y con mucha más razón al nivel anual, hubo una tendencia al balance entre esas pérdidas y ganancias de humedad, resultando prácticamente despreciable en cada uno de los tres periodos anuales evaluados y para el conjunto de ellos.

Para el caso de la percolación en el periodo 2007-2008, esta fue mayor en los usos de la tierra con pastos: 80,6% de la lluvia neta en pastizal con arbusto, 78% en el pastizal de estrella africana

y 72,2% en el pastizal nativo. Para los usos bosque secundario y bosque de encino fue de 71,5 y 67,3%, respectivamente, de la lluvia neta.

En el periodo 2008-2009 el comportamiento fue similar, aunque como la lluvia incidente disminuyó cerca de 1000 mm, también la percolación se redujo a 60,6% para pastizal con arbusto, 51,6% para el pastizal nativo, 59,1% para el pastizal de estrella africana, 53,4% para el bosque secundario y 40,9% para el bosque de encino., todos estos porcentajes con respecto a la precipitación neta.

En 2009-2010 los usos de la tierra con pasto tuvieron una mayor percolación que el bosque de encino, aunque el bosque secundario también presentó una percolación similar a los pastos. El pastizal de estrella africana, el pastizal con arbusto y el bosque secundario tuvieron una percolación de 73,4% de la lluvia neta, mientras que en el bosque de encino fue de 65,9%. El valor elevado de percolación en el bosque secundario podría deberse al efecto de la lluvia incidente de más de 800 mm ocurrida en julio de 2010, concentrada en unos pocos días, debido al paso de un huracán, lo que produjo cambios importantes en la precipitación incidente entre tratamientos.

Para el periodo conjunto 2007-2010, la percolación promedio del bosque secundario fue de 67,8%, del bosque de encino 55,0%, del pastizal con arbusto 73,7%, pastizal nativo 65% y el pastizal de estrella africana 72,0% (Figura 32), valores que corresponden a 1181, 934, 1435, 1243 y 1399 mm, respectivamente, de la lluvia neta. La menor percolación en el bosque de encino se debe a que parte de la precipitación incidente fue interceptada y tuvo una evapotranspiración mayor. El bosque secundario, si bien también presenta pérdidas de cerca de 10% de interceptación, su evapotranspiración promedio fue de baja, lo que compensa dichos valores.

Los valores obtenidos de escorrentía fueron menores que los reportados en diferentes investigaciones, con diferentes usos de la tierra (Grimm y Fassbender 1981, Gómez et ál. 2010, Ríos et ál. 2006, Rodríguez y Arellano 2004, Martínez et ál. 2001, McDonald et ál. 2002).

La evapotranspiración presentada para los diferentes tratamientos son similares a las encontradas en bosques tropicales de San Paulo Brasil por Fujieda et ál. (1997) de 30%; los obtenidos en Costa Rica en el uso de suelo de café con *Erythrina poeppigiana* por Gómez et ál. (2010), de 25%; y menores a los encontrados en Costa Rica, en cafetales con sombra de *E. poeppigiana*, por Jiménez (1986), de 53%; los obtenidos en bosque nativo, de 45% y en bosque de eucalipto, de 54%, en Colombia, por De las Salas y García (2000); los reportados por Grimm y Fassbender (1981) en bosques tropicales en Venezuela, de 62%; los obtenidos en bosques

tropicales, en Brasil, con 40,5%, por Rodríguez et ál. (2000) y los obtenidos en bosques de pino, de 46%, en Honduras, por Ixtamatá (2003); al igual que los resultados obtenidos en diferentes estudios y reportados por Carbon et ál. 1982; Hodnett et ál. 1995, Jipp et ál. 1998 y Waterloo et al.1999.

Finalmente los valores obtenidos de percolación son similares a los reportados en Costa Rica por Gómez et ál. (2010), con 61%; los obtenidos en bosques tropicales de San Paulo Brasil por Fujieda et ál. (1997) con 59%; los encontradas en Chiapas México en cultivos de maíz por Rodríguez y Arellano (2004), con 60%; y mayores a los obtenidos en Costa Rica en cafetales de *E. poeppigiana* por Jiménez (1986), con 22%, los obtenidos en bosques tropicales en Venezuela por Grimm y Fassbender (1981), con 37%; y los obtenidos en Oaxaca, México por Martínez et ál. (2001), con 20% de percolación; así como los reportados en diferentes estudios por Bruijnzeel 1990, Waterloo et ál. 1999, Kaimowitz 2005, Van der Salm et ál. 2006 y Calder et ál. 2007.

Cuadro 11. Balance hídrico resumido de los diferentes usos de la tierra para el periodo 2007-2010

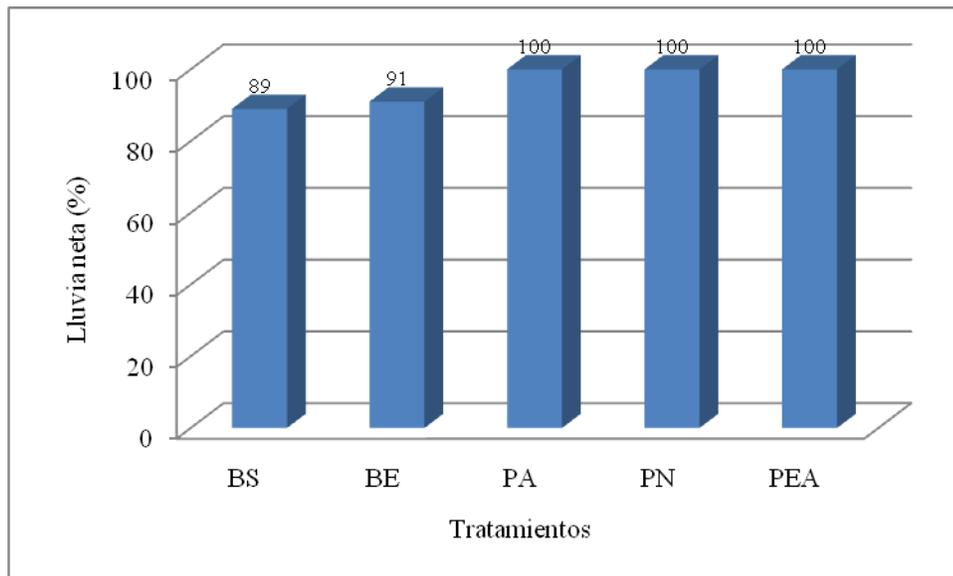
Años	Bosque secundario			Bosque de encino			Pastizal con arbusto			Pastizal nativo			Pastizal de estrella africana		
	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2007 2008	2008 2009	2009 2010
Precipitación neta (mm)	2019	1087	2117	2121	1027	1935	2417	1193	2228	2388	1165	2161	2416	1193	2228
Escorrentía (mm)	21	0	5	6	0	12	9	0	3	8	0	10	42	10	12
ET (mm)	554	539	557	687	785	647	467	470	584	656	625	689	454	510	582
Cambio de humedad en el suelo (mm)	0	-32	0	0	-177	0	0	0	0	0	-62	0	0	-148	0
Percolación (mm)	1445	580	1555	1428	420	1276	1946	723	1641	1726	601	1462	1883	705	1634

Cuadro 12. Balance hídrico en los diferentes usos de la tierra promedio para el periodo 2007-2010

Meses	Bosque secundario					Bosque de encino					Pastizal con arbusto					Pastizal nativo					Pastizal de estrella africana				
	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P
agosto	242	4	57	0	181	258	1	80	0	177	284	3	38	0	243	278	0	87	0	191	284	3	52	0	229
septiembre	382	4	58	0	320	371	1	48	0	322	439	0	55	0	384	426	1	45	0	380	439	3	34	0	402
octubre	210	0	64	0	146	221	0	60	0	161	248	0	49	0	199	241	0	46	0	195	248	5	36	0	207
noviembre	59	0	32	0	27	45	0	45	0	0	67	0	38	0	29	60	0	32	0	28	67	0	26	0	41
diciembre	45	0	51	-6	0	47	0	47	0	0	52	0	30	0	22	56	1	32	-10	24	52	0	35	0	17
enero	83	0	36	6	41	76	0	56	0	20	91	0	30	0	61	91	1	34	10	57	91	0	32	0	59
febrero	67	0	40		27	62	0	61	0	1	78	0	34	0	44	75	0	39		36	78	0	22	0	56
marzo	32	0	41	-9	0	29	0	62	-33	0	34	0	34	0	0	33	0	80	-47	0	34	0	39	-5	0
abril	38	0	41	-3	0	31	0	59	-28	0	43	0	48	-5	0	41	0	81	-40	0	43	0	64	-21	0
mayo	24	0	26	-2	0	27	0	48	-21	0	28	0	47	-19	0	30	0	63	-33	0	28	0	91	-63	0
junio	173	0	39	14	120	172	0	61	111	0	185	0	50	24	111	185	0	52	120	13	185	0	42	89	54
julio	386	1	66	0	319	358	4	101	0	253	396	1	54	0	339	389	10	66	0	319	396	4	58	0	334
Total	1741	9	551	0	1181	1697	6	728	29	934	1946	4	507	0	1434	1905	10	657	0	1243	1945	15	531	0	1399
Promedio	145	1	46	0	98	141	1	61	2	78	162	0	42	0	120	159	1	55	0	104	162	1,252	44	0	117
Porcentaje de la lluvia (%)	100	0,52	31,65	0	67,83	100	0,35	42,90	1,71	55,0	100	0,21	26,07	0	73,73	100	0,52	34,5	0	65,25	100	0,77	27	0	71,93

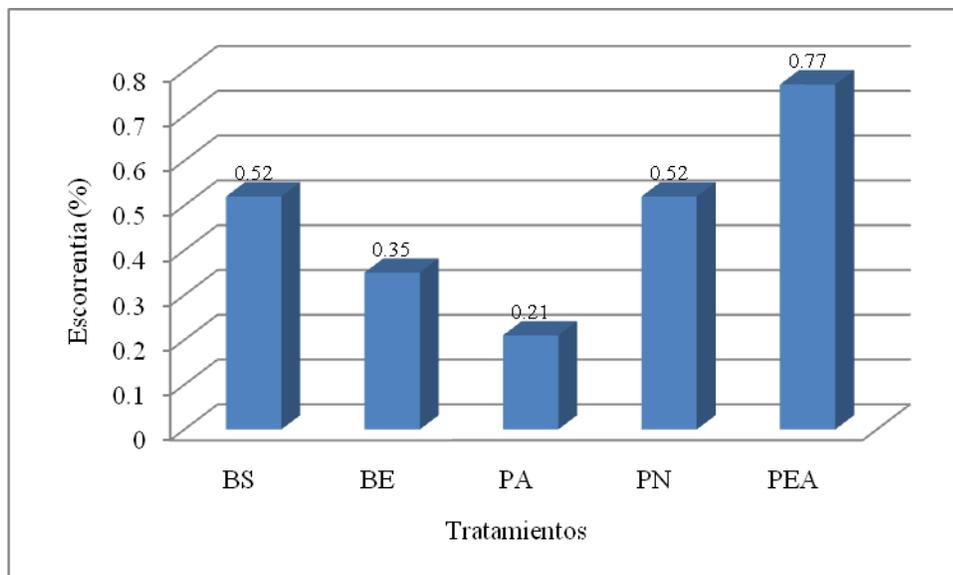
LL= Lluvia neta, E= Escorrentia, ET= Evapotranspiración real; ΔH= Cambio de humedad en el suelo; P= Percolación

Figura 29. Lluvia neta (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.



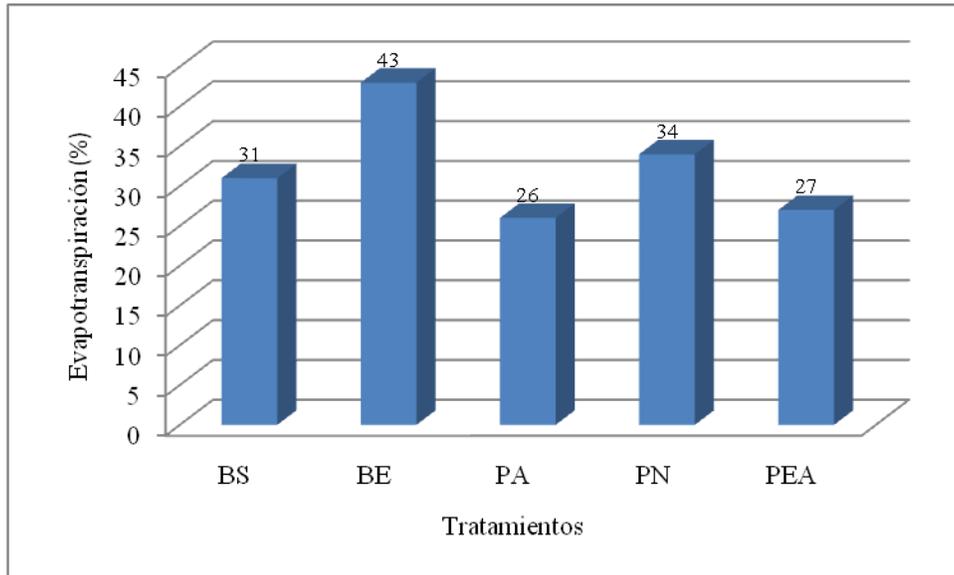
BS: bosque secundario, BE: bosque de encino, PA: pastizal con arbusto, PN: pastizal nativo, PEA: pastizal de estrella africana

Figura 30. Escorrentía (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010.



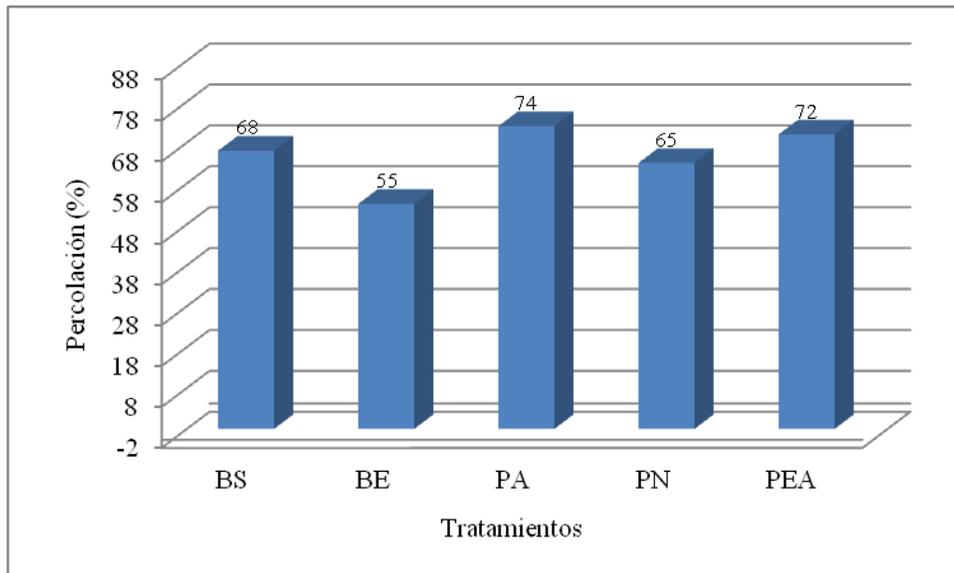
BS: bosque secundario, BE: bosque de encino, PA: pastizal con arbusto, PN: pastizal nativo, PEA: pastizal de estrella africana

Figura 31. Evapotranspiración real (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010



BS: bosque secundario, BE: bosque de encino, PA: pastizal con arbusto, PN: pastizal nativo, PEA: pastizal de estrella africana

Figura 32. Percolación (%) comparativo entre los diferentes tratamientos, para el periodo 2007-2010



BS: bosque secundario, BE: bosque de encino, PA: pastizal con arbusto, PN: pastizal nativo, PEA: pastizal de estrella africana

4.6 Elementos de gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.

4.6.1 Identificación y caracterización de los actores en la gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.

Por ello, dentro del presente estudio se realizó la identificación y descripción de actores que participan de manera directa en el proceso de manejo y gestión del recurso hídrico basada principalmente en sus funciones (Cuadro 13 y Figura 33).

Cuadro 13. Actores claves en la gestión del agua para consumo humano en la microcuenca de San Juan Otontepec.

Comunidad	Actores	Funciones
Tezitlal, municipio Chontla	Comité del agua	Se encarga de la administración, operación, mantenimiento y la gestión general del sistema.
	Usuarios del agua	Participan en las reuniones y tomas de decisiones, así como en el mantenimiento del sistema.
El Humo, municipio Tepetzintla	Comité del agua	Se encarga de la administración, operación, mantenimiento, y la gestión del sistema.
	Comité de cloración	Es el responsable de clorar el agua, cada tercer día.
	Usuarios del agua	Participan en las reuniones y tomas de decisiones. Aportación una cuota mensual para cubrir los gastos del sistema.
Tezitlal, municipio Tepetzintla	Comité del agua	Se encarga de la administración, operación, mantenimiento y la gestión general del sistema.
	Usuarios del agua	Participan en las labores de limpieza de la toma de agua y obra de captación, en las reuniones, así como en la toma de decisiones.



Figura 33. Actores claves de la microcuenca San Juan Otontepec

Otros actores participan de manera indirecta. En la comunidad de Teztlal, municipio de Chontla, lo hace el subagente de la comunidad, mientras que en la comunidad de El Humo, municipio de Tepetzintla, participan también de manera indirecta, en la gestión del recurso hídrico, el comité de salud, agente municipal, comisariado de bienes comunales y consejo de vigilancia. Así mismo en la Sierra de Otontepec existen otros actores que podrían participar en la gestión del agua como la Fundación Pedro y Elena A.C. y la Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV) Tepetzintla.

Una vez identificados los actores, se realizó la descripción conjunta de las características de los mismos en la gobernanza del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, para la cual se aplicó la metodología del análisis CLIP, que es una técnica del Sistema de Análisis Social (SAS), misma que permitió crear los perfiles de los actores, determinando a la categoría (Cuadro 14) a la cual pertenecen cuando se analizan los factores: a) relación de colaboración y conflicto, b) legalidad, c) intereses y d) poder (Cuadro 15). Los actores son las partes cuyos intereses pueden resultar afectados por un determinado problema o acción (Chevalier 2006).

Cuadro 14. Calificación para la categorización de actores según la metodología del análisis CLIP.

Categoría		Símbolo	Categorías altas/medias	Bajas/sin calificación
Alta	Dominante	PIL	Poder, Interés (+ o -) Legitimidad	
	Fuerte	PI	Poder, Interés (+ o -)	Legitimidad
Medi a	Influyente	PL	Poder, Legitimidad	Interés
	Inactivo	P	Poder	Legitimidad, Interés (+ o -)
Baja	Vulnerable	IL	Interés (+ o -), Legitimidad	Poder
	Marginado	I	Interés (+ o -)	Poder, Legitimidad

Cuadro 15. Categorización de los actores según la metodología del análisis CLIP.

ACTORES	PODER (alto, medio, bajo)	INTERESES (alto, medio, bajo)	LEGITIMIDAD (alto, medio, bajo/sin legitimidad)	CATEGORÍA
Comité del agua	Alto	Alto	Alta	Dominante PIL
Comité de cloración	Bajo	Medio	Media	Vulnerable IL
Usuarios del agua	Alto	Alto	Bajo	Fuerte PI

Con base a los resultados de la aplicación de la metodología del análisis CLIP, se describen a continuación los actores de acuerdo a la categoría que les corresponde.

- Comité de agua: se ubica dentro de la categoría de *dominante* por ser un actor que presenta un *alto grado* de poder, intereses y legitimidad, mismo que es reconocido por la comunidad, las autoridades y por los usuario del recurso hídrico. Además tiene un alto interés en la gestión del recurso hídrico dentro de la microcuenca.
- Comité de cloración: a pesar de ser un actor que es nombrado por las autoridades, e incluye mujeres que participan dentro del programa de oportunidades, tienen un *poder bajo*, por no contar con recursos económicos propios para la adquisición de materiales y equipos para poder realizar la cloración de una mejor manera; actualmente no cuentan con ningún recurso económico ni equipo. Tiene interés medio dentro de la gestión del recurso, ya que solo cumplen con la función de clorar el agua y una *legitimidad media*, ya que no son reconocidos por otras autoridades para la gestión del recurso hídrico, pero sí por la comunidad; El *interés* que mantienen estos actores dentro de la gestión es medio, debido a que solo cumplen con su función, sin involucrarse en las demás actividades de gestión del recurso hídrico, por lo tanto, en el análisis se ubican en la categoría de *vulnerables*.
- Usuarios del agua: poseen un *poder alto*, debido a que participan son los que toman las decisiones sobre la gestión del agua para consumo humano mediante las reuniones que tienen que ver con el agua; el resto de la gestión lo realiza el comité del agua. En cuando al *interés* es *alto*, ya que cuando les hace falta el recurso hídrico son los primeros en ser afectados. La legitimidad es baja, ya que legalmente no están constituidos, sin embargo, son reconocidos. En consecuencia con el análisis del perfil del actor se concluye que está en la categoría de *fuerte*.

El actor vulnerables (comité de cloración) tienen como principal limitante la poca disponibilidad de recursos económicos, por lo cual es conveniente que se busquen acuerdos y convenios con organismos que permitan el fortalecimiento de los actores; para ejemplo en la región existe la fundación Pedro y Elena A. C. a la cual podrían recurrir estos actores para solicitar asesoría y apoyo en la materia, ya que la asociación ha trabajado con comunidades de la Sierra de Otontepec, así mismo también pueden recurrir a la Comisión del Agua del Estado de Veracruz.

Una vez considerados los aspectos de legitimidad, interés y poder, se identificaron las relaciones de colaboración y conflicto que mantienen los actores, aunque en esta de investigación solo se identificaron relaciones de colaboración (Cuadro 16).

En un estudio realizado por García (2010) en la subcuenca del río Ulí, reserva de la Biosfera Bosawas, Nicaragua, el análisis CLIP aplicado a los actores que intervienen en la gobernanza del recurso hídrico, mostró relaciones de colaboración y de conflicto entre los actores, sin embargo en la presente investigación no se identificaron relaciones de conflicto, siendo favorable para lograr la participación proactiva, coordinación, concertación e integración de todos los actores, mismo que favorecería la implementación de estrategias y acciones para lograr la gestión integral del recurso hídrico.

Cuadro 16. Relación de colaboración de los actores claves en la gestión del recurso hídrico de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz

COMUNIDAD	ACTORES CLAVES	RELACIONES DE COLABORACIÓN
Tezitlal, municipio de Chontla	Comité del agua	El comité de la comunidad de Tezitlal-Chontla, mantiene relaciones de colaboración con los usuarios del agua de la comunidad y con el comité de agua de las comunidades de El Humo y Tezitlal Tepetzintla.
	Usuarios del agua	Los usuarios mantienen relación de colaboración con el comité del agua de la comunidad, ya que participan en las labores de limpieza y mantenimiento del sistema.
El Humo, municipio de Tepetzintla	Comité del agua	El comité de agua de la comunidad El Humo, municipio de Tepetzintla mantiene relaciones con el comité del agua de Tezitlal-Chontla, Tezitlal Tepetzintla, con el comité de cloración y los usuarios del agua.
	Comité de cloración	El comité mantiene relación solo con los usuarios del agua y el comité del agua.
	Usuarios del agua	Mantienen relación con el comité del agua.
Tezitlal, municipio de Tepetzintla	Comité del agua	Mantiene colaboración con los usuarios del agua y con los comités de agua de Tezitla-Tepetzintla y Tezitlal Chontla.
	Usuarios del agua	Existe relación solo con el comité de agua de la comunidad.

4.6.2 Percepciones de los usuarios y actores claves sobre la gestión del recurso hídrico de la microcuenca San Juan Otontepec.

Para conocer la percepción de los actores claves se aplicaron entrevistas semiestructurada en el cual se obtuvieron las siguientes respuestas con bases a las preguntas planteadas (Cuadro 17).

Cuadro 17. Percepción de los actores claves en la gestión de recurso hídrico para consumo humano de la microcuenca San Juan Otontepec.

Preguntas planteadas	Comunidades		
	Tezital, municipio de Chontla	El Humo, municipio de Tepetzintla	Tezital, municipio de Tepetzintla
Encargados del agua	El comité del agua, sin embargo los entrevistados ubican más a las personas miembros del comité, que al comité como tal.	Comité del agua, sin embargo los entrevistados ubican más a las personas miembros del comité, que al comité como tal.	Comité del agua, sin embargo los entrevistados ubican más a las personas miembros del comité, que al comité como tal.
Percepción de los usuarios sobre la gestión del agua	El 62% mencionó que el servicio que ofrece el comité de agua potable es de regular a malo, ya que no atiende de manera inmediata las fugas, así como un mal funcionamiento del mismo y el 38% mencionó que hay un buen funcionamiento, ya que el comité realiza un buen trabajo para que el sistema funcione, mantiene limpia el agua, y en caso de alguna fuga, se realizan faenas para reparar la línea.	El 89% de los entrevistados mencionó que el comité ha realizado bien su trabajo que ha sido: el mantenimiento y reparación de la línea de conducción, supervisión de las llaves que se encuentren en buenas condiciones, supervisión del manantial, lavan el tanque de almacenamiento, así mismo se encargan de realizar el cobro del agua, para solucionar los problemas que se han presentado para el mantenimiento del depósito de agua, y el 11% mencionó	El 90% mencionó que el servicio es bueno, ya que ellos avisan cada cuando realizar la limpieza en las tomas de agua y obra de captación, convocan a reuniones y cumplen con sus funciones, en atender cualquier problema y desperfecto del sistema; y solo el 10% mencionó que no ha funcionado bien, ya que a veces no avisan cuando no habrá agua y que en un principio había una mejor organización que actualmente.

		que en ocasiones no atienden de inmediato las fugas y la falta de atención a los usuarios.	
Organizaciones locales comunitarias adicionales a la entidad que administra el agua	El 34% de los entrevistados mencionó que existen otras organizaciones adicionales al comité del agua, ubicando a esas organizaciones como el subagente municipal, y la presidencia municipal de Chontla, sin embargo no mencionaron sobre el respaldo legal ni de la estructura que tienen, sin embargo el 66% mencionó que no existe otras organizaciones más que el comité de agua.	El 67% de los entrevistados mencionó que existen otros actores adicionales al comité del agua: a) el agente municipal, quien tiene la estructura de agente, secretario y tesorero; b) el comité de cloración que tiene el respaldo de la comunidad. Sin embargo, el 33% mencionó que no existen otras organizaciones más que el comité de agua.	No existen organizaciones locales adicionales al comité de agua, ya que desde el inicio de la implementación del sistema lo ha realizado el comité de agua (grupo de mujeres de la Sierra de Otontepec).
Existen análisis frecuentes de calidad del agua (físicos, biológicos, químicos) en las tomas de agua, en los tanques de almacenamiento y a nivel de viviendas? ¿Quién lo realiza? ¿Con qué frecuencia? ¿Quién los certifica?	El 100% de los entrevistados mencionó que no existe análisis de calidad de agua.	El 58% de los entrevistados mencionó que sí existen, y el 42% mencionó que no se realizan análisis del agua.	El 100% indicó que no existen análisis de la calidad de agua.
Toma de decisiones; quiénes participan y cómo lo hacen (papel) en la gestión del agua para consumo humano	Se toman las decisiones a través de la asamblea general de la comunidad, y en algunas ocasiones la toma el comité de agua e informa	Los entrevistados mencionaron que las decisiones se toman por medio de la asamblea comunitaria y en algunos casos, lo	Los entrevistados mencionaron que las decisiones se toman mediante la asamblea general de los beneficiados del agua, así como el

	después a la comunidad.	realiza el mismo comité del agua de la comunidad, quien informa, después a la población en las reuniones.	por comité de agua (Grupo de mujeres organizadas de la Sierra de Otontepec).
Participación de la mujer en la gestión del agua para consumo humano fuera del hogar	El 17% de los entrevistados mencionó que si existe la participación de la mujer y consiste en asistir a las reuniones sobre el agua, así como en las labores de limpieza del tanque y en realizar faenas cuando el hombre no se encuentra. El 83% mencionó que no hay participación de la mujer, ya que las actividades que se realizan son pesadas para ellas y dentro del comité solo participan hombres.	Sí existe participación de la mujer, y lo hace mediante un comité de cloración del agua que está integrada por 10 mujeres, que están dentro del programa de oportunidades; además participan en las reuniones donde se toman acuerdos sobre el agua.	Sí existe la participación de la mujer, ya que el comité del agua, así como los integrantes del grupo son solamente mujeres, además de que asisten a las reuniones y las actividades que realiza el comité.
Conflictos por el uso del agua, causas y soluciones	Han existido conflicto pero por la mala distribución del agua, discusiones entre usuarios cuando se dañan las tuberías y no se reparan luego, al igual que con el caserío (casas de varias familias) de Maguey Chiquito, quienes se abastecen de la misma línea y que no reciben agua todos los días debido a problemas con la infraestructura, así mismo mencionaron que hubo un problema hace algunos años en	Cuando se presenta algún conflicto se ha manejado a través del comité de agua y de la asamblea general de la comunidad para buscar solución de manera conjunta, como un caso que se presentó para la comunidad en donde la población de Tierra Blanca se quería llevar el agua del manantial de donde se abastece la población, pero se organizó la comunidad para	El 85% de los entrevistados mencionó que no ha habido problemas por el uso del agua y el 15% mencionó que sí, ya que otras poblaciones se querían llevar el agua, sin embargo mediante el dialogo y la intervención de los comités de agua que se abastecen de la misma microcuenca se organizaron para impedirlo.

	<p>donde otra comunidad se quería llevar el agua del cual se abastecen, pero mediante diálogos y el aforo del manantial se resolvió el problema.</p>	<p>impedir que se llevara el agua y se contó con el apoyo de los tres comités de agua, de los jóvenes, hombres y mujeres tuvieron que ir a la sierra para platicar con la comunidad que se quería llevar el agua y llegar a un acuerdo, mediante el aforo del manantial y se obtuvo la oferta del mismo en donde se obtuvo que no era suficiente el agua.</p>	
<p>Año y temporada de escasez del agua para consumo humano</p>	<p>La escases de agua se ha presentado en la temporada de sequía (meses de abril y mayo) de todos los años, así mismo en el 2008 fue un año con mucha escasez, también en la temporada de lluvias, debido a problemas en la línea de conducción ya que se obstruye la línea con basura o arena.</p>	<p>El 100% de los entrevistados mencionó que han tenido problemas de escasez, todos los años, principalmente en los meses abril y mayo.</p>	<p>EL 65% de los entrevistados mencionó que no ha tenido problemas de escases de agua, sin embargo el 35% mencionó que sí se presentan problemas en la temporada de seca, y en la temporada de lluvia donde se obstruye la tubería con arena y basura.</p>
<p>Pago por el agua para consumo humano</p>	<p>No se paga actualmente por el agua de manera monetaria, pero sí por faenas (trabajo sin remuneración económica) en las reparaciones de la línea de conducción y en labores de limpieza de la toma de agua y obra de captación; sin embargo en un principio sí se pagó</p>	<p>La comunidad de El Humo paga una cuota mensual mínima de \$5.00 pesos, sin embargo de acuerdo a los comentarios del comité de agua, hay muchos usuarios que no son responsables con el pago.</p>	<p>No se paga se por el agua actualmente, sin embargo cuando se estableció el sistema, las personas se organizaron para realizar diferentes actividades con la finalidad de recaudar fondos, así como para la gestión del proyecto. Actualmente no se paga, excepto</p>

	una cuota mensual de \$5.00 pesos mexicanos		cuando se tiene algún problema y no hay recursos económicos.
Servicio que ofrece el comité del agua	El 52% de los entrevistados mencionó que es regular, el 24% que es bueno y el 24% mencionó que es malo, mismo que da la pauta para que el comité mejore el servicio de acuerdo a la opinión de los entrevistados.	El 28% de los entrevistados mencionó que el servicio que ofrece el comité del agua es regular, mientras que el 72% mencionó que el servicio es bueno.	El 60% de los entrevistados mencionó que el servicio es muy bueno, el 20% que es bueno y el 20% que el servicio era regular.
Fuente principal del abastecimiento del agua	El 94% mencionó que proviene del manantial, mientras que el 3% mencionó que la fuente era una presa y el 3% que provenía del arroyo.	El 100% de los entrevistados mencionó que la principal fuente de abastecimiento del agua es de un manantial.	El 70% de los entrevistados mencionó que la fuente del cual se abastece la población es de un manantial, mientras que el 30% mencionó que es de un arroyo.
Asistencia a las reuniones sobre el agua	El 100% de la población asiste a las reuniones que tienen que ver con el agua, ya de acuerdo a los entrevistados les interesa para conocer sobre los puntos que se tratan y sobre los trabajos que se van a realizar.	El 7% de los entrevistados mencionó que no asiste a las reuniones sobre el agua, ya que no siempre están en la comunidad, y el 93% sí asiste, ya que le interesa saber de que se tratan, además de que es responsabilidad de todos.	El 100% de la población asiste a las reuniones, porque les interesa; además hay un acuerdo del grupo de mujeres en asistir a las reuniones y lo hacen con los esposos.
Compra de agua embotellada para su consumo	El 97% de la población entrevistada no compra agua embotellada, solo el 3% lo hace	El 8% de los entrevistados mencionó que sí compra agua embotellada una vez a la semana; el 92% no compra agua embotellada	El 100% de la población no compra agua embotellada.

<p>Problemas de salud causado por el agua</p>	<p>El 97% de la población entrevistada mencionó que no ha tenido problemas de salud causada por el agua y solo el 3% ha tenido problemas gastrointestinales.</p>	<p>El 3% mencionó haber tenido alguna enfermedad causado por el agua como es dolor de estómago y diarrea, mientras que el 96% dijo que no han tenido ningún problema de salud por el agua. Sin embargo con base al diagnóstico situacional y de salud elaborado por (Pérez, 2010) menciona que uno de los problemas de salud que se presentan en la comunidad es la enfermedad diarreica, debido a las condiciones del medio ambiente y al tratamiento inadecuado del agua, ya que en la temporada de lluvia no se clora el agua.</p>	<p>El 100% de los entrevistados mencionó que no ha tenido problemas de salud causado por el agua.</p>
<p>Grado de inversión pública anual, incluyendo la municipal, en agua para consumo humano y saneamiento en la microcuenca.</p>	<p>Al respecto no existe ninguna inversión pública, ya que los gastos que se realiza son a través de la cooperación de los usuarios del agua, cuando se requiere.</p>	<p>No existe ninguna inversión pública, ya que los gastos que se hacen en se realiza a través de la cooperación de los usuarios del agua. Sin embargo, el secretario municipal de Tepetzintla, mencionó que se apoya siempre y cuando lo solicite la comunidad, ya que no cuentan con un presupuesto específico para el agua.</p>	<p>No existe ninguna inversión pública, ya que los gastos se cubren a través de la cooperación de los usuarios del agua. Sin embargo, el secretario municipal de Tepetzintla, mencionó que se apoya siempre y cuando lo solicite la comunidad, ya que no cuentan con un presupuesto específico para el agua.</p>

<p>Vinculación existente entre la gestión administrativa del agua para consumo humano en la microcuenca y acciones de protección, manejo y conservación.</p>	<p>Al respecto no existía ninguna vinculación, sin embargo mediante la investigación se logró un acercamiento con los propietarios de las tierras de las zonas de recarga hídrica.</p>	<p>No ha existido vinculación, ya que las diferentes actividades mantenimiento y protección que se han realizado, solo llegan a las tomas de agua y obras de captación, desconociendo lo que sucede en la zona de recarga hídrica, y tampoco se habían establecido comunicación con los dueños de las tierras de la microcuenca, sin embargo durante la investigación se logró establecer comunicación con los todos actores claves, incluyendo a los propietarios de las tierras de la zona de recarga hídrica.</p>	<p>No existía ninguna vinculación, sin embargo mediante la investigación se logró un acercamiento con los propietarios de las tierras de las zonas de recarga hídrica con los demás actores claves.</p>
<p>Acciones necesarias</p>	<p>El 60% de los entrevistados mencionó que se debe de tener una mejor administración y cuidado del agua, el 24% que se debe de dar un buen mantenimiento a la línea de conducción del sistema, el 8% que se deben de plantar árboles y no cortar los que existen cerca de los manantiales, finalmente el 8% mencionó en construir un tanque de mayor</p>	<p>Cuidar el agua, almacenar el agua de lluvia para utilizarla en riego de los jardines, que el comité del agua sea más responsable, clorar o hervir el agua para ser bebida, plantar árboles en la sierra, no desembocar el drenaje a los ríos, platicar con la gente para limpiar el arroyo, no lanzar basura al arroyo y solicitar drenaje.</p>	<p>Platicar con los dueños para cercar el manantial, tratar de que ya no haya fugas, que se pague una cuota sobre el agua, construir fosas sépticas para tratar el agua, reusar el agua residual (trapear, para regar las plantas), reforestar la sierra, racionar el agua al máximo, instalar medidores y pagar una cuota por el agua, no arrojar</p>

	capacidad.		desperdicios al arroyo, concientizar a la población sobre el cuidado del medio ambiente.
--	------------	--	--

De acuerdo a la percepción de los actores claves, (usuarios del agua, comités de agua y comité de cloración) la gestión del agua para consumo humano se da a través de la colaboración de los mismo, lo cual ha permitido a las comunidades poder contar con el recurso hídrico y tomar las decisiones mediante las asambleas de las comunidades, siendo el órgano de máxima autoridad.

Así mismo con base a las entrevistas realizadas a los comités de agua, se pudo conocer que las tres comunidades cuentan con la concesión de los manantiales, misma que fue otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

Sin embargo es importante el apoyo municipal a estos actores, ya que no cuentan con un presupuesto de parte de los municipio, tampoco tienen capacitación en la gestión del recurso hídrico, por lo cual es necesario el apoyo a estos actores para el fortalecimiento de las capacidades, para lograr una mejor gestión integral del agua de consumo humano.

Así mismo es importante que los actores fortalezcan el vínculo con los propietarios de las tierras de la zona de recarga hídrica (microcuenca San Juan Otontepec) ya que antes de esta investigación no existía ninguna vinculación, además que las actividades que se realizan en la zona de recarga, pueden afectar al recurso hídrico.

La microcuenca se encuentra dentro de la zona núcleo del Área Natural Protegida “Sierra de Otontepec”, sin embargo los propietarios desconocen sobre el decreto del área protegida, además de que “no ha existido” la divulgación. Así mismo, no se ha dado un acercamiento de la dirección general del área natural protegida con los propietarios, y de acuerdo al programa de manejo de la misma, en la zona núcleo solo se deben de realizar labores de conservación y protección, lineamiento que no se ha cumplido, ya que los propietarios requieren hacer uso de sus tierras para sobrevivir y no se han dado alternativas de uso y manejo de las tierras.

Así, la gestión del agua para consumo humano se ha dado mediante la colaboración de los actores claves, aunque sin una vinculación directa con los propietarios de la zona de recarga de la microcuenca, ya que las poblaciones que se abastecen de la microcuenca, solo llegaban hasta la toma de agua y obra de captación, desconociendo lo que pasa en la microcuenca como sistema.

Los mismos principios de Dublín del agua, establece básicamente que el agua es un bien económico y que su gestión tiene un costo que deben asumir, al menos en parte, los usuarios que tienen limitaciones económicas y de manera total, los usuarios que sí tienen capacidad económica.

Así mismo como se pudo observar durante la investigación, la Comunidad de El Humo es la única comunidad que realiza el pago de una cuota mínima por el agua, sin embargo de acuerdo percepción personal, los usuarios no están dispuestos a pagar más por el agua, ya que a pesar de que la cuota que pagan es mínima, muchas de las personas no paga y no son puntuales con el pago.

Así mismo un estudio realizado en la cabecera municipal de Tepetzintla Veracruz, se encontró que la gestión del agua para consumo humano participan varios actores, sin embargo, todo recae en uno solo que es la Comisión del Agua del Estado de Veracruz. (CAEV), además de que han ocurrido conflictos por el uso del agua, en donde las fuerzas políticas han influenciado en las decisiones, como fue el caso más reciente, en donde por la aplicación de la ley del agua e incremento de la tarifa, hubo inconformidades y presión, logrando el cambio del jefe de la oficina de CAEV Tepetzintla. (Hernández 2010)

4.7 Oferta y demanda actual y proyectada de agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec.

Para determinar la oferta de agua para consumo humano se consideró el caudal mínimo, con base en los aforos realizados mensualmente, durante el periodo de julio de 2009 a junio de 2010, en cada una de las tomas de agua que abastecen a las comunidades (Cuadro 18).

La comunidad que recibe más agua es Tezital-Chontla, con una oferta de 324 litros de agua por habitante por día, seguida por la comunidad de Tezital-Tepetzintla que recibe 216 litros por habitante por día y finalmente la comunidad de El Humo-Tepetzintla recibe 78 litros por habitante por día. Los caudales mínimos, en los tres estudios de caso, se presentaron en el mes de agosto.

Cuadro 18. Oferta del caudal mínimo para las comunidades de El Humo, Tezital-Tepetzintla y la comunidad de Tezital-Chontla.

Variable	Comunidad		
	El Humo-Tepetzintla	Tezital-Tepetzintla	Tezital-Chontla
Caudal mínimo (litros/segundo)	1,87	0,35	0,96
Caudal (litros/día)	161568	30240	82944
Habitantes al 2010	2070	140	256
Litros/habitante/día	78	216	324

Con base al aforo y considerando de una dotación de 150 litros por habitante por día (PNUMA 2010), el caudal de la comunidad de El Humo no satisface la demanda, al proporcionar solamente 78 litros por habitante por día; en las comunidades de Tezital-Tepetzintla y Tezital-Chontla la oferta del recurso sí satisface la demanda actual de agua.

Considerando el caudal promedio (Cuadro 19), la comunidad que recibe más agua es Tezital-Tepetzintla con 1331 litros por habitante por día, seguida por Tezital-Chontla con 1085 litros de agua por habitante por día y finalmente, la comunidad de El Humo-Tepetzintla que recibe 151 litros por habitante por día.

Cuadro 19. Oferta del caudal promedio para las comunidades de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla

Variable	Comunidad		
	El Humo-Tepetzintla	Tezital-Tepetzintla	Tezital-Chontla
Caudal mínimo (litros/segundo)	3,61	2,15	3,21
Caudal (litros/día)	312672	186432	277920
Habitantes al 2010	2070	140	256
Litros/habitante/día	151	1331	1085

Cabe mencionar que durante el año de mediciones del caudal, hubo lluvias durante los meses de enero a mayo, algo que no había sucedido en años anteriores y no es típico de la zona de estudio.

La comunidad de El Humo tiene una población de 2070 habitantes, considerando las familias que viven en el rancho Las Cañas, siendo un total de 540 familias, que tienen tomas de agua domiciliaria. Esta comunidad aprovecha agua de otro manantial que es denominado “Topontocatl” del náhuatl que significa agua que brota, mismo que para este estudio no fue posible el aforo, ya que se tiene la toma directamente del manantial.

Con base a los resultados obtenidos de las mediciones del caudal mínimo la comunidad de El Humo recibe solo 52% del agua, considerando una dotación diaria de 150 litros por habitante por día de acuerdo a PNUMA (2010), es decir que presenta una escasez de 48% que requiere para satisfacer las necesidades básicas. La comunidad de Tezital-Tepetzintla recibe el 144% de agua para satisfacer sus necesidades básicas, 44% más de agua y finalmente la comunidad de Tezital-Chontla recibe 216% del agua, es decir 116% más del consumo propuesto por el PNUMA. Así mismo, se obtuvo, a nivel mensual, el caudal captado, para cada una de las comunidades, para el periodo 2007-2010 como se muestra en la figura 34.

Con base al estudio realizado se encontró que existe una mala distribución del agua, ya que las tres comunidades se abastecen de un caudal principal, sin embargo el aprovechamiento lo inició la comunidad de Tezital-Tepetzintla, seguido por Tezital-Chontla y finalmente la comunidad de El Humo; y conforme iban realizando el aprovechamiento fueron tomando la mayor cantidad que corría en el arroyo.

Es importante y necesario que las tres comunidades, los comités de agua, usuarios, actores claves y dueños de los terrenos de la zona de recarga se organicen para buscar las estrategias y acciones necesarias para lograr una buena gestión del recurso hídrico y lograr que la comunidad de El Humo-Tepetzintla cuente con agua para satisfacer sus necesidades básicas en los próximos años.

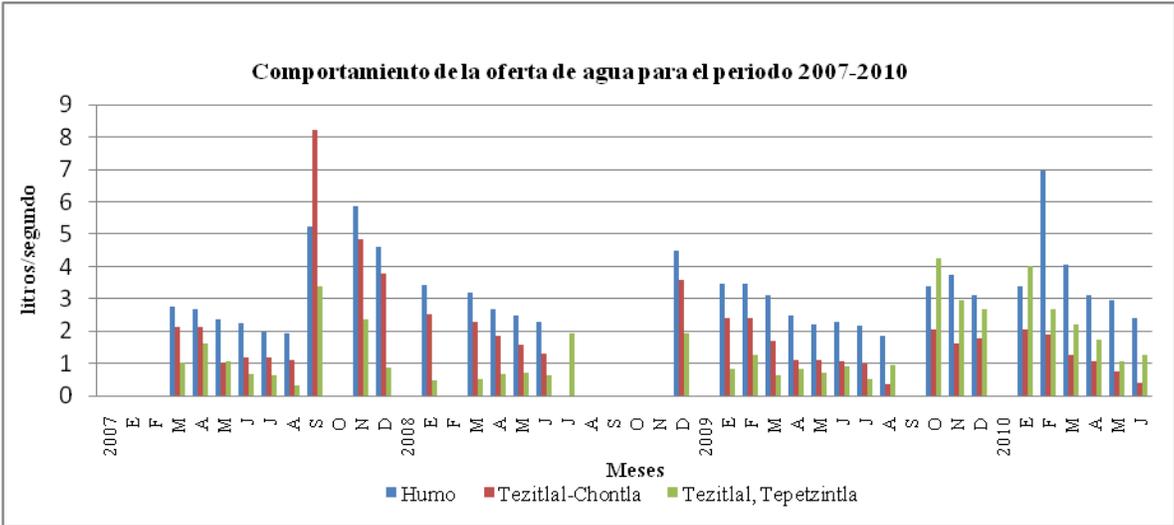


Figura 34 Caudal mensual captado para el periodo 2007-2010

Demanda proyectada del agua para un periodo de 10, 20 y 50 años considerando el crecimiento para las poblaciones que se abastecen del agua de la microcuenca San Juan Otontepec.

4.7.1 Proyección del crecimiento de las poblaciones a tres periodos de tiempo que son a 10, 20 y 50 años.

Jain (2001), utilizando tres métodos para la proyección de la población para la cabecera municipal de Tepetzintla, obtuvo que con el método aritmético se tenía la menor diferencia de población estimada, con respecto a los resultados obtenidos por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), por lo que este mismo método fue utilizado para estimar el crecimiento de la poblacional en la zona de estudio.

Ecuación del método aritmético:

$$P = P2 + \frac{(P2 - P1)}{(t2 - t1)} (t - t2)$$

P=Población futura

P1= Población penúltimo censo considerado, en este caso del año 2005.

P2= Población último censo considerado, en este caso del año 2010.

t= Año para el que se busca la población.

t1= Año del penúltimo censo considerado.

t2. Año del último censo considerado

A continuación se presentan los cálculos en detalle y el cuadro 20 el resumen de los resultados obtenidos.

Proyección de crecimiento poblacional para la comunidad El Humo, Tepetzintla

$$P = 2070 + \frac{(2070 - 1828)}{(2010 - 2005)} (t - 2010)$$

P= 2070 + 48,4 (t-2010) Ecuación utilizado para determinar el crecimiento poblacional.

Crecimiento poblacional para el 2020	Crecimiento poblacional para el 2030	Crecimiento poblacional para el 2060
$P = 2070 + 48,4 (2020-2010)$	$P = 2070 + 48,4 (2030-2010)$	$P = 2070 + 48,4 (2060-2010)$
$P = 2070 + 48,4 (10)$	$P = 2070 + 48,4 (20)$	$P = 2070 + 48,4 (50)$
P= 2554 habitantes	P= 3038 habitantes	P= 4490 habitantes

Proyección de crecimiento poblacional para la comunidad de Teztlal, Tepetzintla

$$P = 140 + \frac{(140 - 87)}{(2010 - 2005)} (t - 2010)$$

P= 140 + 10,6 (t-2010) Ecuación utilizado para determinar el crecimiento poblacional

Crecimiento poblacional para el 2020	crecimiento poblacional para el 2030	crecimiento poblacional para el 2060
$P = 140 + 10,6 (2020-2010)$	$P = 140 + 10,6 (2030-2010)$	$P = 140 + 10,6 (2060-2010)$
$P = 140 + 10,6 (10)$	$P = 140 + 10,6 (20)$	$P = 140 + 10,6 (50)$
P= 246 habitantes	P= 352 habitantes	P= 670 habitantes

Proyección de crecimiento poblacional para la comunidad de Teztlal, Chontla

$$P = 256 + \frac{(256 - 157)}{(2010 - 2005)} (t - 2010)$$

P= 256 + 19,8 (t-2010) Ecuación utilizado para determinar el crecimiento poblacional

Crecimiento poblacional para el 2020	crecimiento poblacional para el 2030	crecimiento poblacional para el 2060
$P = 256 + 19,8 (2020-2010)$	$P = 256 + 19,8 (2030-2010)$	$P = 256 + 19,8 (2060-2010)$
$P = 256 + 19,8 (10)$	$P = 256 + 19,8 (20)$	$P = 256 + 19,8 (50)$
P= 553 habitantes	P= 751 habitantes	P= 1345 habitantes

Cuadro 20. Población proyectada a los años 2020,2030 y 2060 en las tres comunidades en estudio.

Año	Comunidad		
	El Humo Tepetzintla	Tezital Tepetzintla	Población de Tezital Chontla
Población al 2020	2554	246	553
Población al 2030	3038	352	751
Población al 2060	4490	670	1345

4.7.2 Demanda proyectada del recurso hídrico a tres periodos de tiempo que son a 10, 20 y 50 años de las tres comunidades.

Para calcular la demanda del recurso hídrico proyectado primero se calculó la población a 10, 20 y 50 años, partiendo del 2010. Con base a la proyección de las poblaciones se obtuvieron los siguientes resultados de la demanda proyectada de agua para el consumo humano (Cuadro 21).

Con base a las proyecciones y considerando el caudal mínimo la comunidad que comienza a presentar un déficit en disponibilidad de agua es El Humo con 78 litros por habitante por día, en el 2010, seguido por la comunidad de Tezital-Tepetzintla, pero hasta el año 2020, al igual que la comunidad de Tezital-Chontla al recibir la oferta mínima de 150 litros por habitante por día.

Los resultados son con base a una proyección y considerando el crecimiento poblacional, por lo tanto, puede variar dependiendo si las poblaciones continúen con la misma tendencia de crecimiento, así como de que se mantenga los caudales determinados.

Cuadro 21. Demanda del recurso hídrico

	Comunidad		
	El Humo Tepetzintla	Tezital Tepetzintla	Tezital Chontla
Para el 2010 (litros/día)	310500	21000	38400
Para el 2020 (litros/día)	383100	36900	82950
Para el 2030 (litros/día)	455700	52800	112650
Para el 2060 (litros/día)	673500	100500	201750

Considerando la oferta del recurso hídrico así como de la demanda se obtuvieron los siguientes resultados: Para la comunidad de El Humo, se encontró que la oferta es menor a la demanda a partir del 2010 con una disponibilidad del 52% de agua para satisfacer las necesidades básicas, suponiendo que la oferta se mantiene así como el consumo de 150 litros por día por habitante; Para el 2020 la disponibilidad será de 42%, en el 2030 de 35% y finalmente en el 2060, solo se tendrá una disponibilidad del 24% (Cuadro 22).

Cuadro 22. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de El Humo Tepetzintla

Año	Oferta	Demanda	Balance	Disponibilidad (l/hab/día) y %	
2010	161568	310500	-148932	78	52
2020	161568	383100	-221532	63	42
2030	161568	455700	-294132	53	35
2060	161568	673500	-511932	36	24

Para la comunidad de Tezital-Tepetzintla se encontró que a partir del 2020 la oferta es menor a la demanda, con una disponibilidad del 89% de agua para satisfacer las necesidades básicas, considerando que la oferta se mantiene así como el consumo de 150 litros por día por habitante, seguido de 2030 con tan solo 57% de disponibilidad y finalmente al 2060 se tendría una disponibilidad de 30% (Cuadro 23).

Cuadro 23. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de Tezital-Tepetzintla.

Año	Oferta (litros/día)	Demanda (litros/día)	Balance	Disponibilidad (l/hab/día) y %	
2010	30240	21000	+9240	216	144
2020	30240	36900	-6660	134	89
2030	30240	52800	-22560	86	57
2060	30240	235840	-205600	45	30

Para la comunidad de Tezital-Chontla, se encontró que en el 2020 recibirá una oferta mínima para satisfacer las necesidades básicas de 150 litros, suponiendo que la oferta se mantiene a si como el consumo de 150 litros por día por habitante, para el 2030 tendrá una disponibilidad de 73% de agua y finalmente para el 2060 solo dispondrá de 41% de agua (Cuadro 24).

Cuadro 24. Oferta contra demanda del recurso hídrico (litros/día) para la comunidad de Tezital-Chontla.

Año	Oferta (litros/día)	Demanda (litros/día)	Balance	Disponibilidad (l/hab/día) y %	
2010	82944	38400	44544	324	216
2020	82944	82950	-6	150	100
2030	82944	112650	-29706	110	73
2060	82944	201750	-118806	62	41

Con base a los resultados obtenidos, la comunidad que comienza a tener escasez de agua es El Humo a partir del 2010; por ello, es urgente que la comunidad en coordinación con el comité

de agua, usuarios del agua y demás actores claves inicien estrategias y acciones para lograr un buen uso y manejo del recurso que disponen y para solventar el déficit que empieza a ser cada vez más severa.

La comunidad de Tezital-Tepetzintla comienza a presentar escasez de agua a partir del año 2020, teniendo un periodo de 10 años para la implementación de estrategias y acciones que permitirán lograr la gestión integral del recurso hídrico de la microcuenca, ya que la comunidad solo dispone de esta fuente de agua para su abastecimiento, siendo necesario el buen uso y manejo del agua en la población.

La comunidad de Tezintal-Chontla estaría recibiendo para el 2020, la cantidad mínima para satisfacer sus necesidades, teniendo un lapso de tiempo relativamente corto para lograr implementar estrategias y acciones necesarias en el manejo y gestión integral del agua de consumo humano.

De manera general para las tres comunidades es importante la capacitación de los comités de agua sobre el manejo y la gestión integral del recurso hídrico, así como una organización más sólida de los tres comités de agua para lograr implementar estrategias y acciones necesarias para evitar que se llegue a los puntos críticos de escasez, conforme a los resultados de proyección para las comunidades. La información generada mediante la presente investigación les permitirá saber la realidad que se puede tener sobre la oferta y la demanda del agua que produce la microcuenca San Juan Otontepec, de donde se abastecen las tres comunidades, por ello es necesario la articulación de los usuarios del agua, comités de agua y de salud, dueños de los terrenos de las zonas de recarga, así como la dirección general del área natural protegida de la Sierra de Otontepec, para lograr los objetivos para lo cual fue decretada la zona.

4.8 Vulnerabilidad del sistema y eficiencia en la conducción del agua en el acueducto que abastece a las poblaciones de El Humo, Tezital Tepetzintla y Tezital Chontla, Veracruz México.

Se evaluaron tres sistemas de recurso hídrico para consumo humano en las comunidades de El Humo (municipio de Tepetzintla), Tezital (municipio de Tepetzintla) y Tezital (municipio de Chontla (Figura 35).

Para poder determinar la vulnerabilidad de los sistemas se realizó un recorrido en cada uno de los sistemas en compañía de los comités de agua de las respectivas comunidades, quienes se abastecen de un mismo caudal principal, iniciando en la toma de agua y obra de captación.



Figura 35 Sistemas de recurso hídrico evaluados en la microcuenca San Juan Otontepec.

La vulnerabilidad del sistema del recurso hídrico para consumo humano se calculó bajo dos escenarios: sin ponderación y con ponderación de los componentes del sistema. En el segundo caso se le otorga un peso relativo (Cuadro 25) a cada componente dentro del sistema, con base a criterio propio conociendo la situación de los sistemas, ya que aunque todos los componentes son importantes, no todos influyen en el mismo grado y al hacer una diferencia entre los componentes se puede determinar una mayor precisión la vulnerabilidad del sistema.

Cuadro 25. Peso relativo de cada componente en el escenario con ponderación de los componentes del sistema.

Componente	Nombre del componente	Peso relativo
A	Zona de recarga hídrica (microcuenca)	15%
B	Fuente de abastecimiento de agua	13%
C	Toma de agua y obra de captación	12%
D	Línea de conducción	8%
E	Tanque de almacenamiento	8%
F	Red de distribución	8%
G	Tratamiento del agua	9%
H	Uso y manejo del agua en el hogar	8%
I	Manejo de aguas post-uso	8%
J	Gestión administrativa	11%

4.8.1 Vulnerabilidad del sistema de la comunidad de Teztlal, municipio de Chontla

➤ Vulnerabilidad del sistema

El sistema que se evaluó en la comunidad de Teztlal, municipio de Chontla presentó una vulnerabilidad media en los dos escenarios evaluados: 51,3% sin ponderación (Cuadro 26, figura 36) y 50,5% con ponderación (Cuadro 27).

➤ Vulnerabilidad de los componentes

El componente que presentó una vulnerabilidad muy alta fue el I (manejo de agua post- uso), tres componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad alta, tres componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad media y tres en la categoría de vulnerabilidad baja (Cuadro 26 y Figura 36). En el anexo 5 se presentan los resultados detallados de cada indicador, dentro de cada componente.

Cuadro 26. Vulnerabilidad del sistema de Teztlal-Chontla sin ponderación.

Nombre del Componente	Vulnerabilidad del componente (%)	Caracterización de la vulnerabilidad
Zona de recarga hídrica	65,0	Alta
Fuente de abastecimiento de agua	37,5	Baja
Toma de agua y obra de captación	30,0	Baja
Línea de conducción	60,0	Alta
Tanque de almacenamiento	50,0	Media
Red de distribución	35,7	Baja
Tratamiento de agua	33,3	Media
Uso y manejo del agua en el hogar	45,8	Media
Manejo de agua post-uso	90,0	Muy alta
Gestión administrativa	66,0	Alta
Sistema	51,33	Media

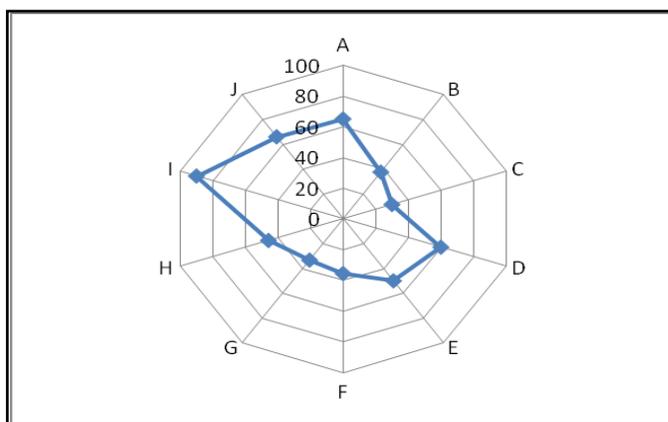


Figura 36. Vulnerabilidad de los componentes del sistema de Teztlal-Chontla

Cuadro 27. Vulnerabilidad del sistema de Teztlal-Chontla con ponderación.

Nombre del componente	Vulnerabilidad promedio (a)	Peso relativo (b)	a x b
Zona de recarga hídrica	2,6	0,15	0,39
Fuente de abastecimiento de agua	1,5	0,13	0,19
Toma de agua y obra de captación	1,2	0,12	0,14
Línea de conducción	2,4	0,08	0,19
Tanque de almacenamiento	2,0	0,08	0,16
Red de distribución	1,4	0,08	0,11
Tratamiento de agua	1,3	0,09	0,12
Uso y manejo del agua en el hogar	1,8	0,08	0,14
Manejo de agua post-uso	3,6	0,08	0,29
Gestión administrativa	2,6	0,11	0,29
Sumatoria(a x b)			2,02
Vulnerabilidad global ponderada			50,50
Caracterización de la vulnerabilidad			Media

El manejo de agua post-uso resultó con una vulnerabilidad muy alta debido a que el agua utilizada no recibe ningún tratamiento, se descarga en su mayoría en los terrenos baldíos o en los arroyos, al igual que la población no ha recibido ninguna capacitación sobre el manejo de las aguas negras y aguas residuales (Figura 37)

La zona de recarga hídrica, línea de conducción y la administración presentaron una vulnerabilidad alta, debido a que en la parte de recarga el tipo de propiedad es privada en donde el suelo esta propenso cambios de uso por el propietario, pudiendo afectar a la recarga de los acuíferos, así mismo en la línea de conducción ha sufrido y sigue propenso a sufrir daños por el deslizamiento del suelo al pasar por una zona de riesgo; en la parte de la administración, el comité no cuenta con un reglamento, ni nombramiento por el cargo que tienen y no han recibido ninguna capacitación tipo sobre el recurso hídrico.

Los componentes tanque de almacenamiento, tratamiento de agua, uso y manejo del agua en el hogar presentaron vulnerabilidad media y el tanque no cuenta con tapadera en condiciones adecuadas lo cual pudiese representar un riesgo para la población, además de presentar fugas el tanque. También, en la actualidad, el agua no recibe ningún tratamiento, ya que según indican en el comité de agua, en un principio se cloraba, pero que estaba dañando al tanque y por acuerdo de asamblea se dejó de hacer dicha actividad.

Finalmente los componentes fuente de abastecimiento de agua, toma de agua y obra de captación y red de distribución presentaron una vulnerabilidad baja de manera general, sin embargo las fuentes de abastecimiento el indicador tenencia de la tierra presentó una valoración de alta vulnerabilidad y el indicador demarcación presentó muy alta vulnerabilidad al no haber

un cercado de las fuentes. La toma de agua y obra de captación el indicador tenencia de la tierra presentó una valoración de alta vulnerabilidad al ser propiedad privada y la red de distribución el indicador mantenimiento presentó una valoración de alta vulnerabilidad al no recibir mantenimiento periódico.

Así mismo el comité de agua de la comunidad realiza diferentes actividades para el mantenimiento, protección y administración del sistema de tal manera que funcione lo mejor posible para que pueda llegar el agua a la población.

Al ponderar los componentes por el peso relativo correspondiente, la vulnerabilidad del sistema fue bastante similar debido a que los pesos relativos son bastantes similares.

Los resultados de vulnerabilidad tienen el mismo orden de magnitud a los obtenidos por Mendoza (2008) en Copán Ruinas, Honduras y por Hernández (2010) en Tepetzintla, Veracruz, México.



Figura 37. Vulnerabilidades del sistema de Tezital, Chontla

4.8.2 Vulnerabilidad del sistema de la comunidad de El Humo, municipio de Tepetzintla

➤ Vulnerabilidad del sistema

El sistema hídrico que se evaluó en la comunidad de El Humo, Tepetzintla, presentó vulnerabilidad media en los dos escenarios evaluados: 47,1% sin ponderación (Cuadro 28, Figura 38) y 45,7% con ponderación (Cuadro 29).

➤ Vulnerabilidad de los componentes

Un componente presentó una vulnerabilidad muy alta, seis componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad media, dos componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad

baja y uno en la categoría de vulnerabilidad muy baja (Cuadro 28). En el anexo 9 se presentan los resultados detallados de cada uno de los indicadores dentro de cada componente.

El componente que presentó una vulnerabilidad muy alta es el manejo de agua post-uso, debido a que el agua usada por la población no recibe ningún tratamiento y se descarga directamente a los arroyos y en los terrenos de las personas, dichos resultados coinciden con los obtenidos por la Fundación Pedro y Elena A.C. (2010), así mismo la comunidad no ha recibido ninguna capacitación sobre el manejo de las aguas negras y aguas residuales (Figura 39).

Los componentes zonas de recarga hídrica, fuente de abastecimiento del agua, línea de conducción, red de distribución, uso y manejo del agua en el hogar y la administración presentaron una vulnerabilidad media, ya que para la zona de recarga el tipo de propiedad de la tierra es privada, no tiene un plan de ordenamiento territorial, la fuente de abastecimiento no presenta una protección adecuada y la red de distribución se encuentra en buenas condiciones, sin embargo pudiese presentar fugas que a veces no se detectan, el uso y manejo del agua en el hogar es deficiente, ya que muchas de las veces se desperdicia el agua y la parte de la administración, a pesar de contar con un comité de agua quien tiene cerca de 10 años, no han recibido capacitación en la gestión del recurso hídrico.

Los componentes toma de agua y obra de captación y el tanque de almacenamiento presentaron una vulnerabilidad baja, sin embargo, el indicador tenencia de tierra, en el componente toma de agua, presentó una valoración de alta vulnerabilidad. También en el componente tanque de almacenamiento, el indicador medidas de mitigación y prevención presentó una alta vulnerabilidad, además no cuenta con medidas de protección adecuado en la tapadera del tanque y presenta fugas de agua.

Finalmente el componente de tratamiento del agua se caracterizó por presentar una vulnerabilidad muy baja, ya que existe un comité de cloración integrada por mujeres que están dentro del programa de oportunidades, quienes cloran el agua cada tres días, aunque en temporadas de lluvia no se clora el agua debido a las condiciones de difícil accesibilidad para llegar al tanque.

Al ponderar los componentes por el peso relativo correspondiente, la vulnerabilidad del sistema fue bastante similar debido que los pesos relativos son muy similares.

Los resultados de vulnerabilidad son similares a los obtenidos por Mendoza (2008) en Copán Ruinas, Honduras y por Hernández (2010) en Tepetzintla, Veracruz, México.

Cuadro 28. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, municipio de Tepetzintla sin ponderación.

Nombre del componente	Vulnerabilidad del componente (%)	Caracterización de la vulnerabilidad
Zona de recarga hídrica	55,0	Media
Fuente de abastecimiento de agua	41,6	Media
Toma de agua y obra de captación	35,0	Baja
Línea de conducción	45,0	Media
Tanque de almacenamiento	33,3	Baja
Red de distribución	50,0	Media
Tratamiento de agua	8,3	Muy baja
Uso y manejo del agua en el hogar	58,3	Media
Manejo de agua post-uso	100,0	Muy alta
Gestión administrativa	44,6	Media
Sistema	47,11	Media

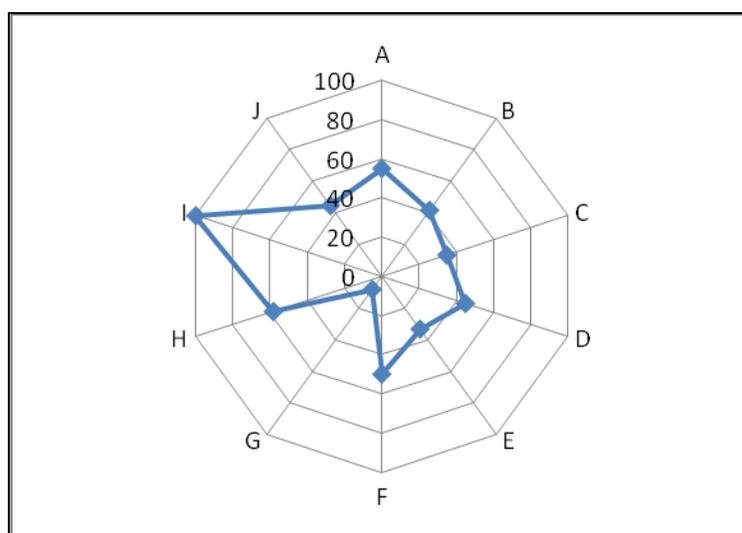


Figura 38. Vulnerabilidad de los componentes del acueducto El Humo-Tepetzintla.

Cuadro 29. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, municipio de Tepetzintla con ponderación.

Nombre del componente	Vulnerabilidad promedio (a)	Peso relativo (b)	a x b
Zona de recarga hídrica	2,2	0,15	0,33
Fuente de abastecimiento de agua	1,6	0,13	0,21
Toma de agua y obra de captación	1,4	0,12	0,17
Línea de conducción	1,8	0,08	0,14
Tanque de almacenamiento	1,3	0,08	0,10
Red de distribución	2,0	0,08	0,16
Tratamiento de agua	0,3	0,09	0,03
Uso y manejo del agua en el hogar	2,3	0,08	0,18
Manejo de agua post-uso	4,0	0,08	0,32
Gestión administrativa	1,7	0,11	0,19
Sumatoria(a x b)			1,83
Vulnerabilidad global ponderada			45,75
Caracterización de la vulnerabilidad			Media



Figura 39. Vulnerabilidad del sistema de El Humo, Tepetzintla.

4.8.3 Vulnerabilidad del sistema de la comunidad Tezintal, municipio de Tepetzintla

➤ Vulnerabilidad del sistema

El sistema hídrico que se evaluó en la comunidad de Tezintal, municipio Tepetzintla, presentó vulnerabilidad media en los dos escenarios evaluados: 45,7% sin ponderación de los componentes (Cuadro 30, Figura 40) y con ponderación 50,5% de los mismos (Cuadro 31).

➤ Vulnerabilidad de los componentes

Un componente presentó una vulnerabilidad muy alta, tres componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad alta, cuatro componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad media y dos componentes obtuvieron la categoría de vulnerabilidad baja (Cuadro30). En el anexo 10 se presentan los resultados detallados de cada uno de los indicadores dentro de cada componente.

El componente que presentó una vulnerabilidad muy alta es el manejo de agua post-uso. Se considera como muy vulnerable debido a que la población no cuenta con un tratamiento de aguas residuales y aguas negras y se descarga en su mayoría a los terrenos de población; resultados similares reporta la Fundación Pedro y Elena A.C. (2010). También la población no ha recibido ninguna capacitación sobre el manejo de las aguas negras y aguas residuales, al igual que no cuenta con servicio de alcantarillado (Figura 41).

Cuadro 30. Vulnerabilidad del sistema de Tezital, municipio de Tepetzintla sin ponderación.

Nombre del componente	Vulnerabilidad del componente (%)	Caracterización de la vulnerabilidad
Zona de recarga hídrica	65,0	Alta
Fuente de abastecimiento de agua	50,0	Media
Toma de agua y obra de captación	30,0	Baja
Línea de conducción	60,0	Alta
Tanque de almacenamiento	41,6	Media
Red de distribución	42,8	Media
Tratamiento de agua	66,6	Alta
Uso y manejo del agua en el hogar	41,6	Media
Manejo de agua post-uso	90,0	Muy alta
Gestión administrativa	35,7	Baja
Sistema	45,67	Media

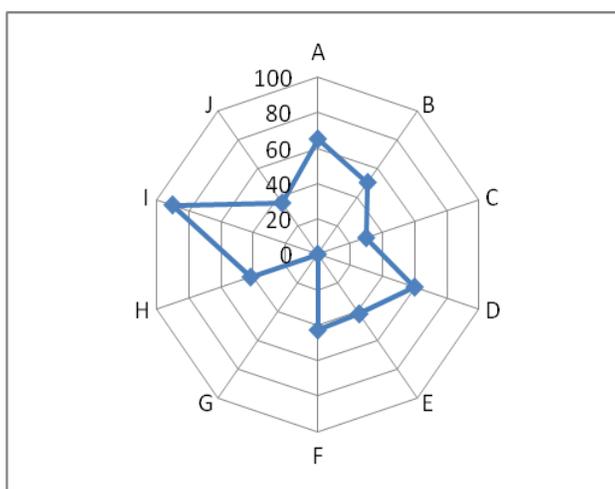


Figura 40. Vulnerabilidad de los componentes del acueducto Tezital-Tepetzintla

Cuadro 31. Vulnerabilidad del sistema de Tezital, municipio de Tepetzintla con ponderación.

Nombre del componente	Vulnerabilidad promedio (a)	Peso relativo (b)	a x b
Zona de recarga hídrica	2,6	0,15	0,39
Fuente de abastecimiento de agua	2,0	0,13	0,19
Toma de agua y obra de captación	1,2	0,12	0,14
Línea de conducción	2,4	0,08	0,19
Tanque de almacenamiento	1,6	0,08	0,16
Red de distribución	1,7	0,08	0,11
Tratamiento de agua	2,6	0,09	0,12
Uso y manejo del agua en el hogar	1,6	0,08	0,14
Manejo de agua post-uso	3,6	0,08	0,29
Gestión administrativa	1,4	0,11	0,29
Sumatoria(a x b)			2,02
Vulnerabilidad global ponderada			50,5
Caracterización de la vulnerabilidad			Media

Los componente tratamiento zona de recarga hídrica, línea de conducción y tratamiento de agua presentan una vulnerabilidad alta. La zona de recarga es propiedad privada, la línea de conducción presenta pequeñas fugas y está expuesta, en algunas partes, a riesgo de deslizamientos. También no se le da ningún tratamiento al agua y se toma directamente de la llave. Representantes del comité del agua comentaron que en un principio se cloraba el agua, pero la cloración del agua estaba dañando el tanque por lo que se tomó el acuerdo en asamblea de ya no clorar el agua.

Los componentes fuente de abastecimiento del agua, tanque de almacenamiento, red de distribución, uso y manejo del agua en el hogar presentaron vulnerabilidad media, lo cual se pudo observar y evaluar a través del recorrido en campo. Para el caso de la fuente de abastecimiento no presenta una protección adecuada lo cual el ganado logra entrar, el tanque de almacenamiento no cuenta con una tapadera de material adecuado y la red de distribución presenta fugas en partes.

Los componentes toma de agua, obra de captación y la administración presentaron una vulnerabilidad baja, debido a que existe mantenimiento a la toma y obra de captación por parte del comité y de la población, al igual que cuenta con los equipos necesarios para su funcionamiento, a pesar de no tener protección la toma. Sin embargo, en indicador tenencia de la tierra presentó una vulnerabilidad alta. Así mismo el componente administración presentó una vulnerabilidad baja, ya que es la misma comunidad la que se encarga de la administración, formada por una organización de mujeres, quienes gestionaron el proyecto y han administrado el sistema, mismo que ha funcionado bien hasta el momento.

Al ponderar los componentes, por el peso relativo correspondiente, los pesos que estos pasan son bastante similares, la vulnerabilidad del sistema aumentó en casi 5%, pasando de 45,7% a 50,5%.



Figura 41. Vulnerabilidad del sistema de Tezitla, Tepetzintla.

Los resultados de vulnerabilidad coinciden con los obtenidos por Mendoza (2008) en Copan Ruinas, Honduras y la realizada por Hernández (2010) en Tepetzintla, Veracruz, México.

Con base a los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad de los tres sistemas es necesario que los actores claves, usuarios de agua y comités de agua realicen la implementación de estrategias y acciones para lograr una gestión integral del recurso hídrico, ya hay componentes en el cual se pueden reducir la vulnerabilidad mediante acciones de manera oportuna, como lo es el uso y manejo del agua, así como el manejo del agua pots-uso por medio de la capacitación a la población en la materia, al igual que la creación de una cultura en el cuidado del agua.

4.9 Medidas para reducir la vulnerabilidad del recurso hídrico

Las medidas que se pueden adoptar para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico fueron obtenidas mediante las entrevistas realizadas los usuarios del agua, líderes de las comunidades y comités de agua.

En la comunidad de Tezital, Chontla se mencionaron las siguientes medidas: cuidar y clorar el agua, dar mantenimiento a la línea, una mejor administración del agua y reforestar la sierra (Figura 42).

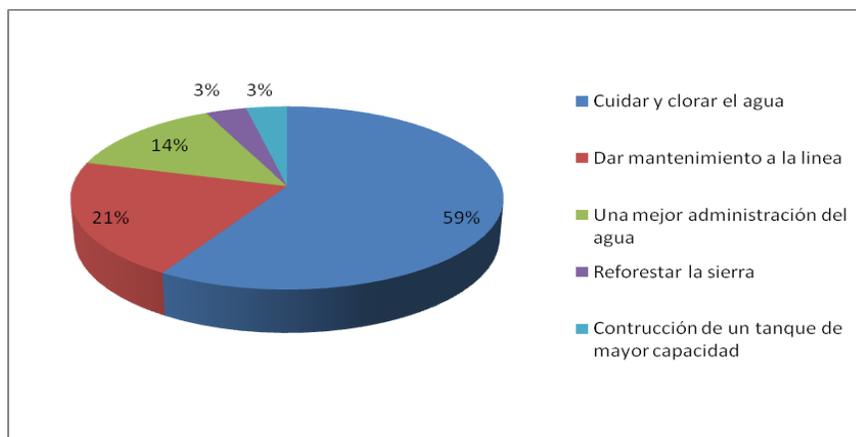


Figura 42. Medidas de adopción para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de Tezital-Chontal

En la comunidad de El Humo se mencionaron las siguientes medidas: cuidar el agua y no desperdiciarla, reforestar la sierra y plantar árboles en la microcuenca, almacenar el agua de lluvia, no desembocar el drenaje al arroyo, clorar y hervir el agua, solicitar drenaje, platicar con la gente para limpiar el arroyo, no cortar los árboles que están cerca de los manantiales (Cuadro 32).

Cuadro 32. Medidas y frecuencias de mención para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de la comunidad el Humo.

Medidas	Frecuencia de mención (%)
Cuidar el agua y no desperdiciarla	46
Reforestar la sierra y plantar árboles en la microcuenca	7
Almacenar agua de lluvia	6
No desembocar el drenaje al arroyo	6
Clorar y hervir el agua	5
Solicitar el drenaje	5
Platicar con la gente para limpiar el arroyo	3
No tirar los arboles que están cerca de los manantiales	2
Que el comité de agua sea más responsable	2

Finalmente en la comunidad de Tezital, Tepetzintla se mencionaron las siguientes medidas: platicar con los dueños para cercar el manantial, arreglar las fugas, construir fosas sépticas, reforestar el manantial y la sierra, concientizar a la población sobre el cuidado del agua (Figura 43).

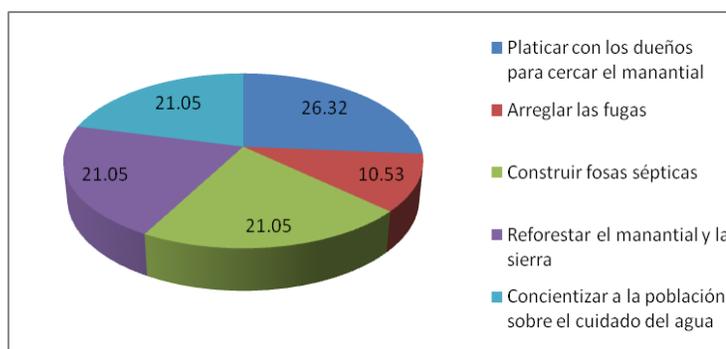


Figura 43. Medidas de adopción para reducir la vulnerabilidad del sistema hídrico de Tezital

Las tres comunidades coinciden que es importante el cuidado del agua, así como la reforestación de la sierra (microcuenca San Juan Otontepec), sin embargo hasta el momento no se han tomado acciones como las mencionadas en las entrevistas, ya que no han tenido realmente escasez de agua que los haga ver la realidad que puede suceder en un futuro, si no se toman en cuenta. Sin embargo hay formas de fortalecer el sistema como lo es la capacitación de los comités de agua, así como una mayor relación de los comités y de las comunidades para poder trabajar en conjunto y velar por el recurso hídrico. Para el caso de la plática con el dueño de los terrenos del manantial ya se dio ese primer paso, pero el dueño del terreno donde nace los manantiales no quiere que se cerque el mismo a pesar de que el ganado entra, pero ha comenzado a poner bebederos para el ganado como se muestra en la figura (44)



Ganado en los manantiales



Ganado en el bebedero

Figura 44. Ganado en las fuentes de agua

4.10 Eficiencia de conducción de tres acueductos que suministran el agua para consumo humano

Para poder determinar la eficiencia en la conducción del acueducto que suministra el agua para consumo humano de las comunidades de El Humo (Tepetzintla) Tezital (Tepetzintla) y Tezital (Chontla), se realizó la medición del caudal en la toma y el caudal en el tanque de almacenamiento, considerando la siguiente fórmula.

$$EC = \frac{CF}{CI} * 100$$

Donde:

EF= Eficiencia de conducción

CF= Caudal final (agua que llega al tanque de almacenamiento)

CI= Caudal inicial (agua que entra en la toma)

Para la determinación de la eficiencia de conducción de los tres acueductos se realizaron tres mediciones en el caudal final y tres en el caudal inicial.

4.10.1 Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de Tezital, Chontla.

Para determinar la eficiencia de conducción se realizaron mediciones en la toma de captación y en el tanque de almacenamiento (Cuadro 33).

Cuadro 33. Medición de caudales del acueducto de Teztlal, Chontla

Medición	Medición de caudal inicial			Medición de caudal final		
	Litros	Segundos	Litros/segundo	Litros	Segundos	Litros/segundo
1	16,50	12,87	1,28	33,50	27,76	1,21
2	18,50	15,43	1,20	29,00	28,06	1,03
3	16,10	13,88	1,16	28,10	23,56	1,19
Promedio	17,00	14,06	1,21	30,20	26,46	1,14

$$EC = \frac{1,14}{1,21} * 100$$

$$EF = 94,29\%$$

La eficiencia de conducción de esta línea fue del 94,29% y con base a las observaciones realizadas durante el recorrido se pudo ver las fugas en varias partes de la línea (Figura 45), mismas que se pudiesen deber a la presión que se le da a la línea al enviar el agua al paraje “Maguey Chiquito” (casas de varias familias) quienes aprovechan el agua de esta línea, existiendo una conexión antes de que el agua llegue al tanque principal de la comunidad de Teztlal. La reducción es de media pulgada mismo que la línea principal de es 2 pulgada, en donde existe un choque de presión al conducir el agua las casas de “maguey chiquito”; así mismo se pudo observar que habían tubos que se arquean por dicha presión.



Fugas de agua en la línea de conducción



Arqueado de tubos de PVC

Figura 45. Fugas de agua y arqueado de tubo

La eficiencia de conducción es superior a la encontrada por Tehelen (2006) en Quindío, Colombia que fue de 59% y la obtenida por Hernández (2010) en la cabecera municipal de Tepetzintla con un 82,6%.

La alta eficiencia del acueducto se debe a que el sistema no lleva más de 12 años, además que existe el mantenimiento de la línea y la reparación de fugas por el comité del agua.

Sin embargo es importante mejorar la eficiencia de conducción del acueducto, ya que a pesar de presentar una eficiencia de 94,29%, indica que se está perdiendo 5,61% de agua durante la conducción desde la toma hasta el tanque de almacenamiento, algo que se puede aumentar con la mejora de la línea al atender de manera inmediata las fugas y la reparación de la misma de manera adecuada, mismo que permitirá a la población contar con agua en los próximos años para satisfacer sus necesidades básicas.

4.10.2 Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de El Humo, Tepetzintla.

Para determinar la eficiencia de conducción se realizaron mediciones en la toma de captación y en el tanque de almacenamiento (Cuadro 34).

Cuadro 34. Medición del caudal inicial del acueducto El Humo

Medición	Medición de caudal inicial			Medición de caudal final		
	Litros	Segundos	Litros/segundo	Litros	Segundos	Litros/segundo
1	18,00	5,91	3,04	10,50	3,30	3,18
2	18,60	5,43	3,42	10,40	3,25	3,20
3	18,80	6,03	3,11	10,70	3,38	3,16
Promedio	18,46	5,79	3,19	10,53	3,31	3,18

$$EC = \frac{3,18}{3,19} * 100$$

$$EC=100\%$$

La eficiencia de conducción del acueducto de esta comunidad es de 100%, ya que con base a las mediciones realizadas al parecer no hay fugas (Figura 46), estos resultados de eficiencia son superiores a los obtenidos por Hernández (2010) en un estudio realizado en el acueducto de la cabecera municipal de Tepetzintla, Veracruz, cuya eficiencia de conducción fue de 82,6% y la obtenida por Tehelen (2006) en Quindío, Colombia que fue de 59%.



Figura 46. Línea de conducción de la comunidad El Humo, Tepetzintla.

La alta eficiencia se debe a las labores de mantenimiento que el comité de agua de esta comunidad realiza, además de que el sistema fue reparado en 1996 con apoyos económicos de la cabecera municipal.

Esta línea de conducción a pesar de que presenta una eficiencia de conducción del 100% es importante atender en la parte que queda expuesta, así como la parte que atraviesa en los arroyos para evitar que sufra de daños por la caída de árboles, al igual que la zona deslizamiento de suelo, que son las partes más vulnerables que presenta la línea. Esto permitirá que la población reciba la mayor cantidad de agua para su consumo y evitar pérdidas en la conducción. La eficiencia de conducción es parte fundamental para poder disponer del recurso ya que muchas de las veces la falta de agua se debe a las pérdidas que se tiene en las líneas de conducción.

4.10.3 Eficiencia de conducción del acueducto de la comunidad de Tezitlal, Tepetzintla.

Para determinar la eficiencia de conducción se realizaron dos mediciones en la toma de captación y en el tanque de almacenamiento (Cuadro 35).

Cuadro 35. Medición del caudal inicial del acueducto de Tezitlal, Tepetzintla

Medición	Medición de caudal inicial			Medición de caudal final		
	Litros	Segundos	Litros/segundo	Litros	Segundos	Litros/segundo
1	43,8	15,75	0,36	43,00	15,28	0,36
2	44,31	15,60	0,35	39,66	13,30	0,34
3	45,84	15,80	0,34	45,60	14,30	0,31
Promedio	44,65	15,71	0,35	42,75	14,29	0,33

$$EC = \frac{0,33}{0,35} * 100$$

EF= 95%

La eficiencia de conducción es del 95% y se debe a que durante el recorrido se pudo observar algunas fugas de agua y que no se habían detectado antes (Figura 47), provocado de manera intencional por alguna persona. Así mismo en un punto de respiradero estaba roto el tubo mismo que presentaba una fuga.



Figura 47. Fugas de la línea de conducción de Tezital Tepetzintla

La alta eficiencia se debe a las diferentes labores que realiza el comité de agua, al igual que la población al sistema, además de que es un sistema con no más de 15 años de haberse establecido.

El resultado de eficiencia de conducción es mayor que el obtenido por Tehelen (2006) en Quindío, Colombia con 59% de eficiencia y Hernández (2010) encontró una eficiencia de 82,6% en la cabecera municipal de Tepetzintla, Veracruz, México.

Sin embargo es importante mejorar la eficiencia de conducción del acueducto, ya que a pesar de presentar una eficiencia de 95%, indica que se está perdiendo 5% del agua durante la conducción desde la toma hasta el tanque de almacenamiento, algo que se puede corregir con la mejora de la línea al atender de manera inmediata las fugas y realizar una reparación adecuada para evitar dicha pérdida, así como el recorrido de la línea de manera periódica para poder detectar posibles fugas o daños que pudiese presentar la línea, ya que esta agua en los próximos años servirá a la población para satisfacer sus necesidades básicas.

Las tres líneas de conducción evaluadas presentaron buena eficiencia de conducción, sin embargo es importante mejorar esa eficiencia ya que la pérdida se debe a la falta de supervisión

de las líneas para la detección de las fugas y poder repararlas de manera oportuna y reducir dicha pérdida, mismo que favorecerá a las poblaciones en los próximos años disponer del agua que se pudiese estar perdiendo mediante las fugas.

4.11 Estrategias y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec.

Moriarty et ál. (2006) mencionan que la participación en la toma de decisiones relacionadas al desarrollo y gestión del recurso hídrico es fundamental para la gestión integral del recurso hídrico (GIRH). Sin embargo, identificar quiénes deben participar, en qué grado de participación es un reto que hay que enfrentar.

De igual manera, la estrategia es un conjunto de acciones priorizadas para ampliar un espacio de participación, para superar las limitaciones que pudieran impedir las intervenciones de género deseadas, además al utilizar una estrategia puede brindar la oportunidad al dar a conocer su utilización (Cruz 1998).

Con base a los resultados obtenidos de la investigación se han propuesto las siguientes estrategias y acciones (Cuadro 36) que podrían contribuir a fortalecer y lograr una gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, involucrando a los actores claves.

Cuadro 36. Propuesta de estrategias y acciones presentada por los actores locales de la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz.

Estrategia	Acciones	Responsables
Fortalecimiento de capacidades de actores locales.	➤ Capacitar a los comités de agua a través de talleres e intercambio de experiencia.	➤ Fundación Pedro y Elena A.C.
	➤ Capacitar a los usuarios del agua sobre uso y manejo post-uso	➤ Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV)
	➤ Foros, reuniones y realización de conferencia sobre el agua	
Comunicación integral para la concientización y la divulgación	➤ Divulgación en los medios de comunicación local (radio y televisión) sobre el cuidado del agua y su problemática. ➤ Charlas en las instituciones educativas de los diferentes niveles	➤ Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV) Tepetzintla
Organización y participación para la gestión del agua.	➤ Participación de los actores en la implementación de las estrategias y acciones; cercado de los manantiales, la protección y reforestación de la zona de recarga hídrica	➤ Dirección General del Área Natural Protegida Sierra de Otontepec

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Construir una sola toma de agua con distribución para cada una las comunidades ➤ Establecer una planta tratadora de aguas negras y residuales en la comunidad de El humo principalmente 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comités de agua ➤ Presidencia Municipal de Tepetzintla
Ordenamiento territorial de la subcuenca.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elaboración e implementación del plan de ordenamiento de la microcuenca 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dirección General del Área Natural Protegida
Alianzas y coordinación institucional.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Establecer convenios de colaboración y alianzas con la Fundación Pedro y Elena A.C., Dirección General del Área Protegida Sierra de Otontepec y la Comisión del Agua del Estado de Veracruz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Presidencia Municipal de Tepetzintla y Chontla
Gestión financiera para gestión del acueducto y de zona de recarga	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Solicitar recursos económicos ante instancias gubernamentales 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comisión del Agua del Estado de Veracruz
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Crear un fondo de recursos económicos mediante recursos revolventes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comités de agua
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementar una cuota mínima de pago por el agua en las comunidades que no se cobran 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comités de agua
Tecnologías agrosilvopecuarias sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementar técnicas agrosilvopecuarias amigables con el ambiente en la microcuenca 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuario
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementar obras de conservación de agua y suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propietarios de la zona de recarga

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El 95% de la microcuenca se encuentra bajo uso del suelo correcto, correspondiendo a las coberturas de bosque secundario, pastizal, bosque ribereño, bosque de encino y arbusto con pasto, mientras que el 5% se encuentra en sobre uso y es ocupado por pastizal con arbusto y cultivos anuales, condición, que en general, favorece la recarga hídrica de los acuíferos.
- La mayor parte de la microcuenca está dedicada a la actividad pecuaria y forestal, y en menor proporción a la actividad agrícola, sin embargo, solo el 50% de los usos se realizan con prácticas conservacionistas que contribuyan al buen manejo de la microcuenca, 50% no cumple, lo cual pudiese afectar a la zona de recarga de la microcuenca, al igual que a las fuentes de abastecimiento de la zona de estudio.
- Con base al balance hídrico se concluye que la escorrentía fue despreciable en todos los usos del suelo (menor de 1% de lluvia incidente), la evapotranspiración promedio fue de 32% variando entre 26% (pastizal con arbusto) y 43% (bosque de encino), la percolación promedio fue de 67% y varió entre 55% (bosque de encino) y 74% (pastizal con arbusto) de la precipitación neta.
- La baja escorrentía y alta percolación existente bajo los diferentes usos de suelo analizados en este estudio evidencian que la microcuenca tiene alta capacidad de recarga de los acuíferos, aun cuando es posible que haya una escorrentía subsuperficial importante. Por lo tanto, se debe, al menos mantener esos usos y su manejo actual, para evitar que se afecte, negativamente, la capacidad de recarga de la microcuenca.
- La gestión del agua para consumo humano de la microcuenca San Juan Otontepec está basada, principalmente, en actores locales de las comunidades como son los usuarios del agua, los comités de agua y el comité de cloración.
- De acuerdo al análisis CLIP muestra que hay dos actores que son vulnerables: los usuarios del agua, ya que a pesar de tener un alto interés, presentan un bajo poder y el comité de cloración,

que aunque tiene un alto interés, su legitimidad es baja, ya que no son reconocidos fuera de la comunidad.

- El actor dominante en la gestión del agua para consumo humano fue el comité del agua de cada comunidad, ya que tienen un alto poder, legitimidad e interés y es el encargado de la administración, operación, mantenimiento y la gestión del sistema, empleando estos atributos para ejercer influencia en la toma de decisiones.
- El análisis de las relaciones de colaboración y de conflicto como parte del análisis CLIP, entre los actores claves de la gobernanza del recurso hídrico en la microcuenca San Juan Otontepec, permitió identificar que solo existen relaciones de colaboración que se da principalmente entre los comités de agua y las comunidades.
- Con base a la oferta y demanda del recurso hídrico existe una mala distribución del agua, ya que la comunidad Tezital-Chontla recibe más agua, mientras que la comunidad de El Humo-Tepetzintla recibe menos agua, pero tiene más habitantes.
- En las comunidades, la escasez de agua no solo se da en la temporada de estiaje (abril-mayo) si no que también se presenta en la temporada de lluvia, debido a que las líneas se obstruyen de basura y de arena, además de que en ocasiones se dañan la toma y obras de captación; se requiere también un mantenimiento más frecuente y activo.
- De acuerdo a la proyección de la demanda de recurso hídrico para consumo humano, las comunidades comenzarán a tener escasez del agua a partir del 2020, sin embargo, la comunidad de El Humo, a partir del 2010, por lo que es necesario que se empiecen a implementar las estrategias y acciones propuestas, Las otras comunidades deben también empezar la busque soluciones a la demanda creciente de agua proyectada, ya que la oferta actual esta maximizada.
- En la evaluación de la vulnerabilidad del sistema hídrico para consumo humano, las tres comunidades presentaron muy alta vulnerabilidad el componente manejo de agua post-uso, debido a que no cuentan con servicio de drenaje y alcantarillado, por lo que es importante la

atención a este componente, así como los que presentaron una vulnerabilidad media para reducir dicha vulnerabilidad.

- De las tres comunidades evaluadas, solo la comunidad El Humo realiza la cloración de agua en el tanque de almacenamiento, sin embargo, no existe una cantidad o proporción clara de la cloración que se debe de aplicar, así mismo solo se realiza cada tercer día y en temporada de lluvia no hay cloración, pudiéndose presentar problemas de salud como las que han reportado de acuerdo al diagnóstico situacional de salud.
- Si bien la eficiencia de conducción del agua de las líneas del acueducto presentaron una eficiencia superior al 95%, debido a que son líneas con no más de 15 años de haberse establecido, es importante aumentar esa eficiencia, considerando la escasez de agua para los próximos años, de acuerdo a la proyección de demanda realizada.

5.2 Recomendaciones

- Capacitación a los propietarios de la zona de recarga hídrica de la microcuenca San Juan Otontepec sobre prácticas de agricultura y ganadería conservacionista, que contribuyan al buen manejo de la cuenca.
- Mantener los usos actuales del suelo mediante la implementación de prácticas de agricultura y ganadería conservacionista, que debe ser liderado por el director general del área natural protegida.
- Promover la implementación de un esquema de pago por servicios ambientales hídricos e incentivar la participación de los propietarios de la zona de recarga, mismo que debe ser gestionado por la dirección del área protegida y de la fundación Pedro y Elena A.C.
- En investigaciones futuras, se deben realizar estudios sobre la calidad del agua, ya que hasta el momento no existen estudios sistemáticos ni puntuales sobre la calidad de agua que consumen las poblaciones que se abastecen de la microcuenca.

- Capacitar a los comités del agua y a los usuarios sobre el uso y manejo del agua en el hogar, así como en la cultura sobre el cuidado del agua, mismo que debe ser responsabilidad de la Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV, Tepetzintla).
- Capacitar a los usuarios sobre el manejo del agua post-uso de las tres comunidades, ya que de acuerdo al estudio las aguas residuales y negras son enviadas a los arroyos o a los terrenos baldíos de las comunidades, mismo que debe ser responsabilidad de la Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV, Tepetzintla) y los gobiernos municipales de Tepetzintla y Chontla.
- Que a las poblaciones de Tezital- Tepetzintla y Tezital Chontla realicen la cloración o hiervan el agua que consumen, porque no se hace ningún tratamiento y están expuestos a sufrir enfermedades transmitidas por esta misma.
- Realizar la mejora de la infraestructura en las tomas de agua, y obras de captación, ya que son muy vulnerables ante desastres naturales como huracanes y deslizamientos de suelo y roca, misma que debe ser coordinada por los comités de agua.
- Realizar un recorrido periódico por la línea de conducción del sistema de las tres comunidades para detectar de manera oportuna, las fugas de agua, ya que actualmente no existe monitoreo y se evidencio la existencia de fugas, mismo que debe ser coordinado por los comités de agua.
- Fortalecer los vínculos de colaboración de los actores claves de la microcuenca San Juan Otontepec, con la finalidad de establecer convenios de colaboración entre los actores: Dirección General del Área Natural Protegida, la fundación Pedro y Elena A. C. y la Comisión del Agua del Estado de Veracruz, con la finalidad planificar y ejecutar acciones para la gestión integral del recurso hídrico y que debe ser coordinada por los gobiernos municipales de Tepetzintla y Chontla.
- Se recomienda que las estrategias y acciones propuestas sean implementadas por las comunidades, en coordinación con los actores claves involucrados en la gestión integral del recurso hídrico para lograr la gestión sostenible del recurso hídrico, mismo que debe

ser responsabilidad de la dirección del área natural protegida y de la fundación Pedro y Elena A.C, Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV, Tepetzintla) y los gobiernos municipales de Tepetzintla y Chontla.

- Dar a conocer los resultados obtenidos de la investigación en las asambleas de las comunidades de Tezital-Chontla, Tezital-Tepetzintla, y El Humo-Tepetzintla, así como en las reuniones del Consejo de la Asociación Regional de Silvicultores de la Unidad de Manejo Forestal Sierra de Otontepec A.C.

6. LITERATURA CITADA

- Acharya, G.P; McDonald, M.A; Tripathi, B.P; Gardner, R.M. and Mawdesley, K.J. 2007. Nutrient losses from rain-fed bench terraced cultivation systems in high rainfall areas of the mid-hills of Nepal. *Land Degradation and Development* 18, 486-499
- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. 1993. *Tropical Soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2 ed., UK. CAB International. Wallingford. 221 p.
- ASERPAC A.C. 2009. Diagnóstico comunitario de Teztlal, municipio de Chontla, Veracruz, México. ASERPAC. INIFAP. MX. 35 p.
- Arroyave V, CT. y Gonzaga G, L. 1997. Estudio del balance hídrico de las microcuencas La Beta y La Cubero de Piedras Blancas, Antioquía. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, Universidad Nacional de Colombia, CO. diciembre, 12(1). 15 p.
- Arrueta M.M. 2009. Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente. Tesis Lic. Honduras, Zamorano. 47 p.
- Ávila, P. 2005. Cambio global y recursos hídricos en México: hidropolítica y conflictos contemporáneos por el agua. México, D F. MX, INE. 107 p.
- AMUNIC (Asociación de Municipios de Nicaragua). 2004. El riesgo y el municipio. Managua, NI, SINAPRED/AMUNIC/ASDI. 76 p.
- Barrantes, G; Castro, E. 1999. Estructura tarifaria hídrica ambientalmente ajustada: internalización de variables ambientales. Heredia, CR, Servicios de Economía Ecológica para el Desarrollo. S.A. 101 p.
- Ballesteros, M. 2005. Planificación y administración hídrica en Centroamérica. *In* CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). *Administración del agua en América Latina: situación actual y perspectivas*. Santiago, CL, CEPAL. p. 55-65. (Serie Recursos Naturales e Infraestructura no. 90).
- Brooks, KN; Ffolliott, PF; Gregersen, HM; DeBano. LF. 2003. *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa, US, Iowa State University Press. 574 p.
- Bruijnzeel. L.A. 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. Amsterdam, NL. UNESCO Internacional Hydrological Programme. 224 p.
- Calder, I. 2005. Watershed management: can we incorporate more evidence-based policies? *In* B. Swallow, N. Okono, M. Achouri y L. Tennyson, eds. *Preparing for the next generation of watershed management programmes and projects*. Actas del Taller

- Africano, Nairobi, 8-10 de octubre de 2003. Roma, IT, FAO. (Watershed Management and Sustainable Mountain Development Working Paper no. 8)
- Calder, I.R; Hofer, T; Vermont, S; Warren, P. 2007. Towards a new understanding of forests and water. *Unasylva* 229, 3 -10.
- Carbon, B.A; Roberts, F.J; Farrington, P; Beresford, J.D. 1982. Deep drainage and water use of forests and pastures grown on deep sands in a Mediterranean environment. *Journal of Hydrology* 55, 53 – 64.
- Chagoya J.L. 2009. Multidisciplinary approach to support the design of a local policy of payment for hydrological ecosystem services, in a microwatershed located in northern Veracruz, México. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR. CATIE-University of Bangor 186 p.
- CESPEDES (Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable) 1998. Eficiencia y uso sustentable del agua en México: Participación del sector privado. México, D.F. MX. Publicaciones Cuadernos de Trabajo. 18 p.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), OPS (Organización Panamericana de la Salud), OMS (Organización Mundial de la Salud). 1996a. Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica. Limón, CR. CEPIS-OPS-OMS. 102 p.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), OPS (Organización Panamericana de la Salud), OMS (Organización Mundial de la Salud). 1996b. Guías para el análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario. Lima, PE, CEPIS-OPS-OMS. 77 p.
- Cotler A.H; Caire G. 2008. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas a diversas escalas: El caso mexicano. *In Seminario Internacional “Cogestión de cuencas hidrográficas experiencias y desafíos”*. Turrialba Costa Rica. ASDI. CATIE. p 9-12.
- Chevalier, J; Buckles. D. 2006. (en línea). Análisis CLIP. Consultado 5 oct. 2008. Disponible en: http://www.sas2.net/documents/tools/techniques/social_analysis_clip_es.pdf.
- Chow, VT; Maidment, DR; Mays, LW. 1994. Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá, CO, McGraw- Hill Interamericana. 584 p.
- Cuberos F. D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de la tierra. San José. CR. ACCS: MAG. 19 p.
- Chávez, E.E. 2004. Curso de Análisis Demográfico I.(en línea). Centro Centroamericano de Población. Universidad de Costa Rica. CR. Consultado 20 de octubre de 2009. Disponible: en: www.unasam.edu.pe/.../ciencias/webmatliber/publicaciones/estadística/demografia/Libro_curso_Demografia.pdf

- Chávez Z.G. 2004. Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México. México. *In* El manejo integral de cuencas hidrográficas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental SEMARNAT-INE. p 173-182.
- Cruz, C de la. 1998. Guía Metodológica para integrar la perspectiva de género en proyectos y programas de desarrollo. Vitoria -Gasteiz ES. EMAKUDE/I instituto Vasco de la Mujer y Secretaría General de Acción Exterior. 92 p
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2008a. Estadísticas del agua en México. México D.F, MX, CNA. 233 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2008b. Programa nacional hídrico 2007-2012. México D.F, MX, CNA. 160 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) 2009. Ley de aguas nacionales y su reglamento. México D. F, MX, CNA. 238 p.
- De las Salas, G. y C. Garda Olmos. 2000. Balance hídrico bajo tres coberturas vegetales Contrastantes en la Cuenca del río San Cristóbal. Bogotá. Revista Académica. Colombiana de Ciencias. 24 (91): 205-218.
- Dourojeanni, A. 1994. Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas. Mérida, VE, CIDIAT-CEPAL. 238 p.
- Dourojeanni, A; Jouravlev, A. 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Santiago, CL. CEPAL. 181 p.
- Dourojeanni, A; Jouravlev, A; Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Santiago, CL, Naciones Unidas y CEPAL. (Serie recursos naturales e infraestructura no 47) p. 5 -11
- Dunne, T.; Leopold, L.B. 1978. Water in environmental planning. New York, USA, Freeman and Co. 818 p.
- Echavarría, M. 1999. Agua: valoración del servicio ambiental que prestan las áreas protegidas. Manuales de capacitación América Verde. The Nature Conservancy 1(1). 84 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2007. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma, IT. FAO. 154 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2009. Los bosques y el agua. Roma, IT. FAO. 86 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2009b. Guía para la descripción de suelos. IT. FAO. 99 p.

- Fuentes M., L. 2009. Agua: La crisis se agudiza. La cuestión social en México.. México, D.F. MX, El Excélsior. mar. 17: 1
- Fujieda, M., Kudoh, T., de Cicco, V., and de Calvarcho, J. L. 1997. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, Sao Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology* 196 (30) 46, 30.
- Fundación Gonzalo Río Arronte; Fundación Javier Barros Sierra. 2004. Prospectiva de la demanda de agua en México, 2000 – 2030. México. D.F, MX. 105 p.
- Fundación Pedro y Elena A.C. 2010. Diagnóstico comunitario: comunidades entorno del río Santa María Ixcatepec, Sierra de Otontepec, Veracruz. Proyectos de conservación y cultura ambiental en el área natural protegida Sierra de Otontepec y su zona de influencia. Veracruz México. MX. 26 p.
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz 2005. Decreto de Área Natural Protegida a la Sierra de Otontepec en su categoría de Reserva Ecológica. Tomo CLXXII, Núm. 43. Miércoles 2 de Marzo. 40 p.
- García, J; Espadas, AE. 2004. Análisis de vulnerabilidad física y medidas de mitigación del sistema de agua potable de Telchac Puerto ante la amenaza de huracanes. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán.* 8(2):7-14.
- García P, D.A. 2010. Análisis de la gobernanza del recurso hídrico en la subcuenca del río Ulí, reserva de la Biosfera Bosawas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 167 p
- Gómez Delgado F; Roupsard O; Moussa R; Le Maire G; Taugourdeau S; Bonnefond J.M; Pérez A; Van Oijen M; Vaast P; Rapidel B; Voltz M; Imbach P; Harmand M. 2010. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7, 3015–3071.
- GWP (Global Water Paterneship) – TAC (Comité de Consejo Técnico). 2000. Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo, SE. GWP 80 p. (TEC Background Papers No. 4.).
- Grimm U y H. U. Fassbender. 1981. Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidental de Venezuela. III. Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua. 31 (2) 89-99.
- Hernández M.F. 2010. Gestión del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca La Pagua, Sierra de Otontepec, Veracruz, México, Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 189 p.

- Henríquez, C., Cabalceta. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. Universidad de Costa Rica. CR. 122 p.
- Hodnett, M.G; Pimentel da Silva, L; da Rocha, H.R; Cruz Senna, R. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* 170, 233 – 254
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Anuario estadístico, Veracruz de Ignacio de la Llave, Tomos I y II. México, D.F, MX, INEGI. 580 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía é Informática).1982. Carta Geológica. F 14-9 México D.F, MX. INEGI. Esc. 1:250,000. Color.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía é Informática).1982 Carta de Vegetación. México D.F. INEGI. Esc. 1:250,000. Color.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2005. Vulnerabilidad actual: adaptación del sector hídrico al cambio climático en Costa Rica. Costa Rica, IMN. 2 p. Consultado 20 oct. 2009. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/educacion/Proyecto%20Regional%20Hoja%20Divulgativa%20sobre%20Vulnerabilidad%20Actual.pdf>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Reporte del grupo de trabajo II. Ginebra, CH, IPPCC. 92 p.
- Ixtamata Guarchaj. M.Z. 2003. Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso Honduras. Tesis de licenciatura. Zamorano. Honduras. Hn. 38 p.
- Jacques M. Chevalier, ‘SAS2 1.0: Análisis Social CLIP,’ en *Sistemas de Análisis Social2 1.0*, <http://www-sas-pm.com/>.
- Jain L. C. 2001. Optimización del sistema de agua de la comunidad de Tecomate, Municipio de Tepezintla, Veracruz. México. Tesis Lic. Universidad Veracruzana. MX 105. p.
- Jiménez, F. 1986. Balance hídrico con énfasis en percolación de dos sistemas agroforestales: café-poró y café-laurel, en Turrialba, Costa Rica, Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, UCR. CATIE. 121 p
- Jiménez, F. 2007. Medición de los componentes del balance hídrico en coberturas vegetales. XIX curso internacional de manejo diversificado de bosques naturales tropicales. Turrialba, CR, CATIE. 11 p.
- Jiménez, F. 2009a. La cogestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 2009. 28 p.
- Jiménez, F. 2009b. Gestión del riesgo a desastres. Turrialba, CR, CATIE. 253 p.

- Jiménez, F. 2009c. Protocolo para el establecimiento de la línea base y el monitoreo de sistemas de producción agrosilvopecuaria, en el manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Jiménez, F. 2009d. Reconocimiento inicial de la cuenca e identificación y caracterización de actores claves. Turrialba, CR, CATIE. 13 p.
- Jipp, P.H; Nepsta, D.C; Cassel, D.K; de Carvalhol, C. 1998. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally dry Amazonia. *Climatic Change* 39, 395 – 412.
- Karremans, J. 1994. Sociología para el Desarrollo: métodos de investigación y Técnicas de la entrevista. Turrialba, CR, CATIE. 51p.
- Kaimowitz, D. 2005. Useful myths and intractable truths: the politic of the link between forest and water in Central America, in: *Forest, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press. 86–98.
- Kiersch, B. 2000. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Taller electrónico. Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Roma, IT. FAO.14 p.
- Landa R; J. Carabias 2008. Los recursos hídricos y la gestión de cuencas en México. In *Gestión de cuencas y servicios ambientales perspectivas comunitarias y ciudadanas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) México, D.F. MX. SEMARNAT/INE/ITACA, SENDAS A.C. p. 23-40
- Martínez, M.R., López M.R., López L, C. 2001. Caracterización geográfica y escalamiento de cuencas en zonas de ladera de Oaxaca. Memoria: XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, México. MX. 8 p.
- McDonald, M.A., Healey, J.R., Stevens, P.A. 2002. Los efectos de los bosques secundarios remoción de tierra y posterior uso en las pérdidas por erosión y las propiedades del suelo en de las Montañas Azules de Jamaica. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente* 92, 1 - 19.
- Mendoza, M. 2008. Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Mosley, MP; McKerchar, AI. 1993. Streamflow. In Maidment, DR. eds. *Handbook of hydrology*. New York, US, McGraw Hill, Inc. p 8.1 – 8.37.

- Moriarty, P; Butterworth, J; Batchelor, Ch. 2006. La gestión integrada de los recursos hídricos y el subsector de agua y saneamiento doméstico. Trad. IRC (International Water and Sanitation Centre). s.l. 50 p.
- Murgueitio, E. 2000. Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. *Pastos y Forrajes* 23(3): 235-250.
- Muñoz L, F. 2007. Manejo de cuencas hidrográficas tropicales. “Gustavo A. Serrano” de la CCE-L. Loja, EC. 206 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. New York. USA. 43 p.
- Palma A; Villegas I; Iturbe A. s/f. Estimación de la recarga de acuíferos en la Cuenca del Río Texcoco. México, MX. 20 p.
- Palacios-Velez. E. s/f. La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. C Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. MX. consultado el 12 de agosto de 2010 http://www.unesco.org/uy/phi/libros/uso_eficiente/palacios.html
- Pérez R, C.E. 2010. Diagnóstico situacional y de salud, El Humo Tepetzintla, Veracruz. Universidad Veracruzana. Secretaria de Salud. MX. 66 p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para El Medio Ambiente). 2007. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO 4: medio ambiente para el desarrollo. PNUMA. Phoenix Design Aid, Dinamarca, DK. PNUMA. 540 p.
- Picado, F. 2003. Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático (diapositivas). Panamá, PA. Proyecto PNUD-NIC/01/008-MARENA. 27 diapositivas.
- Pilbeam, C.J., Daamen, C.C., Simmonds, L.P. 1995. Analysis of water budgets in semiarid lands from soil water records. *Experimental Agriculture* 31, 131 – 149.
- Porras T, I. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. International Institute for Environment and Development (IIED) Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas Arequipa, 9-13 de junio de 2003. 15 p.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, CR, IICA/ BMZ-GTZ. 338 p.
- Ríos, N; Jimenez F; Ibrahim M; Andrade H; Sancho F. 2006. Parámetros hidrológicos y de la cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Barranca, Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Medioambiente* (48): 111- 117

- Rodríguez M, J.A y Arellano M, J.L. 2004. Balance agrohidrológico en microcuencas cafetaleras de la finca Argovia, Chiapas. Resumen de la ponencia presentada en el Primer Congreso Internacional sobre Desarrollo de Zonas Cafetaleras. México D.F. MX.
- Rodríguez, S; Camacho, M. 1997. El taller participativo: Una herramienta para hacer vida la Convención de la Diversidad Biológica. UNA. Heredia, Costa Rica 104 p.
- Rodríguez N; De Cicco V; Lima W. de P. Soriano F. 2007. El comportamiento hidrológico en una microcuenca con cobertura forestal natural y la sostenibilidad de los procesos hidrológicos. Estudio de caso: microcuenca experimental "A" Núcleo Cunha, Serra do Mar, SP, Brasil. XXII Jornadas forestales de entre ríos. Concordia BR. Solo Resumen.
- Rojas M. y Echeverría J. 2003. Estimación de la Demanda Sectorial del Agua en Centroamérica Bajo Tres Escenarios Futuros: 2010-2030-2050. Costa Rica. CR. 51 p.
- Rodríguez M. A. y Soborio L.J. 1983. Evaluación indirecta de los recursos hídricos de una cuenca. Instituto Costarricense de Electricidad. Experiences in the development and Application of Mathematical Models in Hydrology and Water Resources in Latin American (Proceedings of the Tegucigalpa Hydrology Symposium, September 1983). (152) 57-82
- Rygel, L; O'Sullivan, D; Yarnal, B. 2006. A method for constructing a social vulnerability index: an application to hurricane storm surges in a developed country. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11:741-764.
- SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados). 2003. Normas de Diseño para Acueductos Rurales V.1.0. Tegucigalpa, HN. 83 p.
- Santiago L. 2007. Medición y análisis de la intercepción de lluvia en un bosque de encino: aplicación a la microcuenca la barreta. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México. MX. 124 p.
- SEDESMA (Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente) 2006. Programa de manejo de la reserva ecológica Sierra de Otontepec. Gobierno de Veracruz. 91 p. (Serie Protejamos nuestro medio ambiente no. 11)
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Agenda del agua 2030. México. SEMARNAT. CONAGUA. MX. 28 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2005. El medio ambiente en México 2005. México. D.F. MX. 91 p.
- SNET-SMN-BHID (Servicio Nacional de Estudios Territoriales-Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico). 2005. Balance hídrico integrado y

- dinámico en el Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos. San Salvador. SV, SNET. 118 p.
- Tehelen K. 2006. Componentes principales de una propuesta de pago por servicios ambientales para el manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Barbas Quindío, Colombia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 115 p.
- United Nations. 2005. The millennium development goals report 2005. New York, US. UN. 43 p.
- Ureña, N. 2004. Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo sobre los recursos hídricos en la microcuenca del Río Ciruelas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 170 p.
- Vargas S. 2006. Gestión integrada del agua en México e institucionalización del enfoque interdisciplinario, ponencia presentada en I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología Sociedad e Innovación (CTS+I), Madrid, ES. CTSI. Sólo resumen
- Valencia V. J.C; Díaz N. J.J; Ibarrola R H.J 2004. La gestión integrada de los recursos hídricos en México: nuevo paradigma en el manejo del agua. *In* El manejo integral de cuencas hidrográficas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. SEMARNAT-INE. p 201-209.
- Van der Salm, C; Denier van der Gon, H; Wieggers, R; Bleeker, A.B; Van den Toorn, A. 2006. The effect of afforestation on water recharge and nitrogen leaching in The Netherlands. *Forest Ecology and Management* 221: 170–182.
- Vidal, M; López, A; Santoalla, M.C; Valles, V. 2000. Factor analices for the water resources contamination due to the use the livestock slurries as fertilizers. *Agricultural Water Management*. (45) 1-15.
- Villón, M. 2004. Hidrología. CR, ITCR 436 p.
- Ward, A.D., Elliot, W.J. 1995. *Environmental Hydrology*. Lewis Publishers. Florida, USA. 462 pp.
- Waterloo M.J; Bruijnzeel, L.A; Vugts, H.F; Rawaqa, T.T. 1999. Evaporation from *Pinus caribaea* plantations on former grasslands soils under maritime tropical conditions. *Water Resources Research* 35: 2133 – 2144.
- Zambrana H. A. 1975. Comparación y evaluación de la interceptación de la lluvia en dos tipos de bosques tropicales. Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, UCR, CATIE. 61 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Practicas que contribuyen al buen manejo de cuencas

Prácticas de agricultura conservacionista que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Nota: en todos los casos, la valoración 0, 1,2 y 3 corresponde a al nivel de cumplimiento de la práctica y NA, que no se aplica:

0 = no se cumple;

1= se cumple a medias (regular).

2= sí se cumple.

3= no se aplica

Práctica	0	1	2	3
1. Se practica rotación de cultivos pertenecientes a diferentes familias botánicas en las parcelas, al menos cada dos años.				
2. Se practica el asocio de cultivos anuales, cuando sus características lo permiten, por ejemplo maíz con frijoles, maíz con ayote, etc.				
3. Existen o se utilizan cultivos de cobertura permanente como por ejemplo maní forrajero, o cobertura temporal para luego ser incorporados al suelo, tales como la mucuna (frijol abono), frijol terciopelo, etc.				
4. Las densidades de siembra de los cultivos y las variedades o cultivares que se utilizan son adecuadas para lograr una buena cobertura del suelo.				
5. Los sistemas de cultivo que tiene el productor permiten que haya una cobertura permanente del suelo, principalmente durante la época de lluvias, ya sea con cobertura viva o muerta, incluyendo residuos de cosecha.				
6. Existe la práctica de barbechos mejorados con especies leguminosas leñosas como leucaena, gliricida, gandul, poró o especies herbáceas leguminosas como mucuna.				
7. La preparación del terreno, principalmente cuando es mecánica (arado, tractor, etc) se realiza en dirección opuesta (perpendicular) a la pendiente del terreno.				
8. La siembra o plantación de cultivos se realiza bajo el sistema de labranza mínima o cero labranza del suelo.				
9. Existen en los campos de cultivo, de manera generalizada, al menos dos de las prácticas siguientes de manejo y conservación de suelos: cultivo en contorno, gavetas de sedimentación, terrazas individuales (para árboles y otras especies frutales), barreras vivas construidas y mantenidas de manera adecuada (son continuas, ubicadas en dirección opuesta a la pendiente, con material vegetal en la base para retener el suelo y otros materiales arrastrados, adecuadamente distanciadas y asociadas a acequias o zanjas de ladera).				
10. No se utiliza la quema de la vegetación y residuos de cosecha en la parcela como práctica para limpiar el terreno.				
11. Las áreas de la finca que tienen pendientes aproximadamente mayor al 70% tienen bosque u otra cobertura vegetal permanente y no están dedicadas a la agricultura; en caso que se dediquen a la agricultura están de cultivos permanentes, poco intensivos.				
12. Las áreas de cultivo intensivo (por ejemplo hortalizas, ornamentales, etc) están ubicados en los sitios de menor pendiente de la finca y se aplican prácticas de conservación de suelos y aguas.				
13. Existe un uso racional de fertilizantes y pesticidas químicos en términos de la dosis (cantidad) y frecuencia de aplicación recomendada.				

14. Los usuarios (agricultores, obreros, etc.) recolectan, entierran o eliminan los envases de agroquímicos (insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, acaricidas, etc) y utilizan equipo adecuado y normas de seguridad para su manejo y aplicación.				
15. Los agricultores utilizan de manera generalizada al menos alguna de las prácticas siguientes de manejo integrado de plagas: a) prácticas de cultivo (como poda, raleo, deshoja, deshija, control de densidades, aporca, drenajes, eliminación de residuos de cosecha, eliminación de plantas hospederas, etc); b) control biológico de plagas mediante enemigos naturales de las plagas (depredadores, parásitos y patógenos); c) uso de variedades tolerantes y/o resistentes a las plagas y enfermedades; d) control de plagas mediante el uso de trampas con feromonas, uso de atrayentes y repelentes o la liberación masiva de insectos estériles o poblaciones genéticamente degradadas.				
16. En los patios de las viviendas existen huertos caseros con la combinación de árboles, arbustos y hierbas que pueden ser plantas medicinales, frutales, ornamentales, hortalizas, raíces y tubérculos, etc.				
17. Dentro de las parcelas o campos de cultivos anuales existen al menos 20 árboles por hectárea, además que las divisiones y los linderos de las parcelas están demarcadas con cercas vivas (árboles, arbustos).				
18. Los cultivos perennes como café y cacao se tienen sombra de especies arbóreas o de otros cultivos como banano o plátano y las divisiones y los linderos de las parcelas están demarcadas con cercas vivas (árboles, arbustos).				
19. Existen barreras rompevientos adecuadamente construidas y mantenidas (árboles de diferentes estratos, continuas, en posición contraria a la dirección de la cual vienen los vientos dominantes, etc).				
20. El productor ha participado en eventos de capacitación sobre agricultura conservacionista y manejo de los recursos naturales; además existen campañas de promoción de este tipo de agricultura.				

Fuente: Jiménez, 2009.

Prácticas de manejo y protección del agua en fincas o parte de éstas dedicadas a la producción agrícola que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Práctica				
1. Los desechos sólidos y líquidos de porquerizas, corrales para aves y otras especies menores no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secos, además estas construcciones están a más de 100 m de distancia del cauce de las quebradas o ríos.				
2. Los desechos sólidos y líquidos de actividades domésticas (basura), agrícolas como beneficiado de café (pulpa, aguas mieles) o de otras actividades agroindustriales o industriales no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secas.				
3. En las fincas que tienen quebradas o ríos o limitan con éstos, existe protección de los márgenes de los cauces, aún si éstos se secan temporalmente, dejando franjas de vegetación ribereña a ambos lados del cauce, de al menos aproximadamente 10 m de ancho y con no más de dos trechos discontinuos de 10 m o menos por aproximadamente cada 100 m.				
4. En las fincas o partes de éstas dedicadas a la agricultura donde hay nacientes de agua, las mismas tienen un área de protección de al menos 200 m de radio.				
5. Las áreas de la finca que constituyen zonas de recarga evidentes o aparentes de nacientes de agua tienen cobertura boscosa; en caso que tengan actividad agrícola es de cultivos permanentes, con intervención mínima, cero labranza del suelo y no uso de pesticidas				
6. Existen en los campos de cultivo, de manera generalizada, al menos una de las prácticas siguientes de manejo de aguas: zanjas de infiltración, acequias o zanjas de ladera y canal guardia.				

7. El riego, cuando existe, se maneja considerando aspectos básicos de necesidad de agua de los cultivos, dosis, frecuencias y distribución entre usuarios del agua disponible.				
8. Los caminos internos de la finca tienen un diseño y mantenimiento que evita corrientes rápidas de agua y arrastre sin control de sedimentos.				
9. El productor ha participado en eventos de capacitación sobre manejo y gestión del agua y/o de cuencas y su relación con la producción agrícola.				

Prácticas de ganadería conservacionista al nivel de finca que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Prácticas				
1. El área de pasturas no evidencia síntomas de sobrepastoreo y degradación (por ejemplo: compactación, aparición de horizontes rocosos, ausencia de materia orgánica en la superficie, cobertura incompleta del suelo por la pastura, mucha presencia de malezas, evidencias de caminos y terrazas por el paso de los animales, erosión y formación de surcos o cárcavas).				
2. El productor tiene variedades mejoradas de pastos y hace manejo de las pasturas (apartos, aplicación de abonos y enmiendas, bancos forrajeros, etc).				
3. En las divisiones y los linderos de las áreas ganaderas, existen cercas vivas con especies arbóreas y/o arbustivas.				
4. No se utiliza la quema de las pasturas y vegetación la finca como práctica para limpiar el terreno y control de malezas.				
5. En los patios de las viviendas existen huertos caseros con la combinación de árboles, arbustos y hierbas que pueden ser plantas medicinales, frutales, ornamentales, hortalizas, raíces y tubérculos, etc.				
6. Dentro de las áreas dedicadas a las pasturas para la ganadería existen al menos 20 árboles dispersos por hectárea.				
7. Las construcciones de establos y de sitios de ordeño de las vacas están a más de 100 m de distancia del cauce de las quebradas o ríos.				
8. Las áreas de la finca que tienen pendientes aproximadamente mayor al 70% tienen bosque u otra cobertura vegetal permanente y no son dedicadas a la ganadería.				
9. Los productores han recibido capacitación sobre ganadería conservacionista y manejo de los recursos naturales; además existen campañas de promoción de este tipo de ganadería.				

Fuente: Jiménez, 2009.

Prácticas de manejo y protección del agua en fincas o partes de estas dedicadas a la producción pecuaria que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Práctica				
1. Los desechos sólidos y líquidos de porquerizas, corrales para aves y otras especies menores no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secos, además estas construcciones están a más de 100 m de distancia del cauce de las quebradas o ríos.				
2. Los desechos sólidos y líquidos de actividades domésticas (basura), o de otras actividades pecuario-industriales o industriales no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secas.				
3. Los desechos sólidos y líquidos de sitios de ordeño o establos de las vacas no lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secos.				
4. En las fincas que tienen quebradas o ríos o limitan con estos, existe protección de los márgenes de los cauces, aún si éstos se secan temporalmente, dejando franjas de vegetación ribereña a ambos lados del cauce, de al menos aproximadamente 10 m de ancho y con no más de dos trechos discontinuos de 10				

m o menos por aproximadamente cada 100 m.				
5. En las fincas o partes de éstas dedicadas a la producción pecuaria donde hay nacientes de agua, las mismas tienen un área de protección de al menos 200 m de radio.				
6. Las piletas o sitios para la toma de agua (abrevaderos) de los animales, como vacunos y caballos, están ubicadas a no menos de 50 m del cauce del río.				
7. Las áreas de la finca que constituyen zonas de recarga evidentes o aparentes de nacientes de agua tienen cobertura boscosa; en caso que tengan actividad agrícola es de cultivos permanentes, con intervención mínima, cero labranza del suelo y no uso de pesticidas.				
8. Los caminos internos de la finca tienen un diseño y mantenimiento que evita corrientes rápidas de agua y arrastre sin control de sedimentos.				
9. El productor ha participado en eventos de capacitación sobre manejo y gestión del agua y/o de cuencas y su relación con la ganadería.				

Prácticas de producción y conservación forestal y de utilización bioenergética al nivel de finca o cuenca que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Prácticas				
1. Las áreas de la finca que tienen pendientes aproximadamente mayores al 70% no están dedicadas a plantaciones forestales, sino que tienen cobertura de bosque natural o secundario.				
2. No existe el monocultivo de plantaciones forestales con especies exóticas, principalmente en las áreas de la finca con pendientes mayores del 10%; predominan plantaciones mixtas de especies nativas latifoliadas.				
3. Existen programas de promoción y ejecución de reforestación y de reducir la deforestación.				
4. En la finca, los propietarios, arrendatarios o productores que viven en la misma no tienen como actividad productiva importante la venta de leña o carbón.				
5. Los productores que viven en las fincas tienen en sus viviendas energía eléctrica con lo cual pueden ser independientes del consumo de leña o carbón.				
6. Si en la finca no existe servicio de energía eléctrica, la mayoría de las viviendas cuentan con cocinas ahorradas de leña (energía), y áreas en su finca para la producción de leña, lo cual contribuye a reducir la deforestación y la presión sobre el componente arbóreo en la cuenca				
7. Existe control de incendios forestales, evidenciado por la ausencia de los mismos.				
8. La tala de árboles, en cualquier parte de la finca, requiere de un permiso del ente nacional, regional o local rector del sector forestal; además existen mecanismos de control y verificación de la tala ilegal.				
9. En los centros poblados de la cuenca, la mayoría de las viviendas tienen energía eléctrica con lo cual pueden ser independientes del consumo de leña o carbón.				
10. No existe una actividad importante en la cuenca de extracción sin control de productos no maderables del bosque (por ejemplo plantas medicinales, animales, etc).				
11. Existen mecanismos de cobro y pago de servicios ambientales que brindan la cobertura boscosa y forestal.				
12. El uso y desarrollo de actividad e infraestructura ecoturística en los bosques es consecuente con su capacidad de carga.				
13. Los productores han recibido capacitación sobre silvicultura conservacionista y manejo de bosques y manejo de los recursos naturales; además existen campañas de promoción de este tipo de silvicultura.				

Prácticas de manejo y protección del agua en fincas o partes de éstas dedicadas a la producción y protección forestal que contribuyen al buen manejo de la cuenca

Práctica				
1. Los desechos sólidos y líquidos de porquerizas, corrales para aves y otras especies menores no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secos, además estas construcciones están a más de 100 m de distancia del cauce de las quebradas o ríos.				
2. Los desechos sólidos y líquidos de actividades domésticas (basura), o de otras actividades silvoindustriales o industriales no se lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secas.				
3. Los desechos sólidos y líquidos de aserraderos no lanzan al cauce de las quebradas o ríos, aunque estén secos.				
4. En las fincas con plantaciones forestales que tienen quebradas o ríos o limitan con éstos, existe protección de los márgenes de los cauces, aún si éstos se secan temporalmente, dejando franjas de vegetación ribereña a ambos lados del cauce, de al menos aproximadamente 10 m de ancho y con no más de dos trechos discontinuos de 10 m o menos por aproximadamente cada 100 m.				
5. En las fincas o partes de éstas dedicadas a la producción forestal donde hay nacientes de agua, las mismas tienen un área de protección con vegetación nativa primaria o secundaria, al menos 200 m de radio.				
6. Si existe pastoreo de animales en las plantaciones forestales, el mismo es regulado y las piletas o sitios para la toma de agua (abrevaderos) de los animales, están ubicadas a no menos de 50 m del cauce del río.				
7. Las áreas de la finca que constituyen zonas de recarga evidentes o aparentes de nacientes de agua tienen cobertura boscosa; en caso que tengan plantaciones forestales es de especies latifoliadas, con intervención mínima y no uso de pesticidas.				
8. Existen mecanismos de cobro y pago de servicio ambiental hídrico a los propietarios que lo brindan, cuando el agua es utilizada para consumo humano o hidroelectricidad.				
9. Los caminos internos de la finca tienen un diseño y mantenimiento que evita corrientes rápidas de agua y arrastre sin control de sedimentos.				
10. El productor ha participado en eventos de capacitación sobre manejo del agua y/o de cuencas y su relación con la producción y conservación forestal.				

Fuente: Jiménez, 2009.

Anexo 2. Formato para la toma de datos de infiltración

Tratamiento: _____ **Fecha** _____
Profundidad _____ **Responsable** _____

Hora de lectura	Tiempo (minutos)	Altura del agua		Lectura actual-anterior (cm)	Lecturas acumuladas	Tiempo actual-anterior (minutos)	Velocidad de infiltración (cm/min)	
		Lectura	Lectura					
			1					2
	0							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	10							
	15							
	20							
	25							
	30							
	35							
	40							
	45							
	50							
	55							
	60							
	70							
	80							
	90							
	100							
	110							
	120							

Anexo 3. Balance hídrico en los diferentes usos de la tierra para el periodo 2007-2008

Meses	Bosque secundario					Bosque de encino					Pastizal con arbusto					Pastizal nativo					Pastizal de estrella africana				
	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P
agosto	484	11	73	0	400	528	4	103	0	421	586	9	22	0	555	570	1	92	0	477	586	8	45	0	533
septiembre	380	10	57	0	313	426	0	33	0	393	526	0	45	0	481	509	3	15	0	491	526	20	22	0	484
octubre	209	0	57	0	151	236	2	47	0	187	277	0	42	0	235	267	1	37	0	229	277	14	31	0	232
noviembre	85	0	32	0	53	78	0	32	0	46	106	0	29	0	77	95	0	46	0	49	106	0	24	0	82
diciembre	32	0	65	-33	0	43	0	45	-2	0	47	0	19	0	28	49	1	31	0	17	47	0	20	0	27
enero	59	0	25	33	1	73	0	38	0	35	72	0	20	0	52	84	1	19	0	65	72	0	15	0	57
febrero	34	0	58	-24	0	37	0	62	-25	0	43	0	21	0	22	43	0	41	0	2	43	0	26	0	17
marzo	56	0	52	4	0	54	0	48	6	0	55	0	38	0	17	61	0	95	-34	0	55	0	40	0	15
abril	37	0	49	-12	0	31	0	60	-29	0	41	0	48	-7	0	43	0	83	-40	0	41	0	57	-16	0
mayo	36	0	27	9	0	33	0	81	-48	0	40	0	66	-26	0	46	0	89	-43	0	39	0	89	-50	0
junio	367	0	37	23	307	374	0	70	98	206	392	0	67	33	292	400	0	67	117	216	392	0	59	103	230
julio	240	0	22	0	218	207	0	68	0	139	231	0	44	0	187	221	1	41	0	180	231	0	26	0	205
Total	2019	21	554	0	1443	2121	6	687	0	1428	2417	9	461	0	1946	2388	8	656	0	1726	2416	42	454	0	1883
Promedio	168	2	46	0	120	177	1	57	0	119	201	1	38	0	162	199	1	55	0	144	201	3	38	0	157
Porcentaje de la lluvia	100	1.06	27.44	0	71.5	100	0.28	32.28		67.33	100	0.37	19.1	0	80.55	100	0.32	27.47	0	72.21	100	1.72	19	0	77.96

LL= Lluvia neta, E= Escorrentía, ET= Evapotranspiración real; ΔH= Cambio de humedad en el suelo; P= Percolación

Anexo 4. Balance hídrico en los diferentes usos de la tierra para el periodo 2008-2009

Meses	Bosque secundario					Bosque de encino					Pastizal con arbusto					Pastizal nativo					Pastizal de estrella africana				
	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P
agosto	93	0	49	0	44	108	0	93	0	15	107	0	46	0	61	111	0	72	0	39	107	0	39	0	35
septiembre	379	0	41	0	338	328	0	75	0	253	404	0	61	0	343	366	0	56	0	310	404	10	34	0	348
octubre	221	0	50	0	171	224	0	71	0	153	240	0	44	0	196	240	0	42	0	198	240	0	28	0	18
noviembre	32	0	30	0	2	25	0	55	-30	0	41	0	40	0	1	42	0	23	0	19	41	0	25	0	0
diciembre	8	0	41	-33	0	8	0	43	-35	0	10	0	17	-7	0	11	0	25	-29	15	10	0	42	-32	31
enero	82	0	47	33	2	70	0	64	6	0	85	0	22	7	56	82	0	39	29	14	85	0	28	32	15
febrero	49	0	32	0	17	44	0	76	-32	0	52	0	23	0	29	64	0	37	0	27	52	0	27	0	0
marzo	23	0	49	-26	0	23	0	73	-50	0	26	0	34	-8	0	22	0	84	-40	0	26	0	46	-58	0
abril	25	0	44	-19	0	17	0	38	-21	0	25	0	44	-19	0	26	0	72	-32	0	25	0	77	-52	0
mayo	23	0	17	6	0	23	0	25	-2	0	29	0	24	5	0	31	0	26	-61	0	29	0	37	-8	0
junio	74	0	30	39	5	73	0	79	-6	0	81	0	43	22	16	78	0	55	44	0	81	0	37	44	0
julio	77	0	109	-32	0	86	0	93	-69	0	94	0	72	0	22	91	0	94	27	0	94	0	90	-74	0
Total	1087	0	539	-32	580	1027	0	785	-177	420	1193	0	470	0	723	1165	0	625	-62	601	1193	10	510	-148	705
Promedio	91	0	45	-3	48	86	0	65	-15	35	99	0	39	0	60	97	0	52	-5	50	99	1	43	-12	59
Porcentaje de la lluvia	100	0	49,6	-2,9	53,6	100	0	76,2	-17,2	40,9	100	0	39,4		60,6	100	0	53,6	-5,3	51,6	100	0,84	43	-2,4	59,0

LL= Lluvia neta, E= Escorrentía, ET= Evapotranspiración real; ΔH= Cambio de humedad en el suelo; P= Percolación

Anexo 5. Balance hídrico en los diferentes usos de la tierra para el periodo 2009-2010

Meses	Bosque secundario					Bosque de encino					Pastizal con arbusto					Pastizal nativo					Pastizal de estrella africana					
	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	LL	E	ET	AH	P	
agosto	149	0	48	0	101	137	0	45	0	92	159	0	47	0	112	152	0	98	0	54	159	0	72	0	87	
septiembre	386	2	76	0	308	358	0	35	0	323	387	0	59	0	328	402	0	63	0	339	387	0	45	0	342	
octubre	201	0	84	0	117	202	0	61	0	141	228	0	60	0	168	215	0	59	0	156	228	0	50	0	178	
noviembre	59	0	34	0	25	32	0	48	-16	0	54	0	44	0	10	43	0	26	0	17	54	0	29	0	25	
diciembre	95	0	46	0	49	89	0	52	16	21	100	0	53	0	47	108	0	40	0	68	100	0	44	0	56	
enero	109	0	35	0	74	84	0	65	0	19	116	0	47	0	69	107	0	43	0	64	116	0	52	0	64	
febrero	119	0	30	0	89	104	0	45	0	59	140	0	57	0	83	119	0	39	0	80	140	0	14	0	126	
marzo	16	0	22	-6	0	11	0	65	-54	0	20	0	29	-9	0	16	0	62	-46	0	20	0	31	-11	0	
abril	52	0	29	6	17	45	0	78	-33	0	65	0	51	9	5	55	0	87	-32	0	65	0	58	7	0	
mayo	12	0	34	-22	0	23	0	37	-14	0	15	0	50	-35	0	13	0	74	-61	0	15	0	99	-95	11	
junio	79	0	51	22	6	69	0	35	34	0	82	0	41	35	6	77	0	34	43	0	82	0	30	52	0	
julio	841	3	68	0	770	781	12	81	67	621	862	3	46	0	813	854	10	64	96	684	862	12	58	47	745	
Total	2117	5	557	0	1555	1935	12	647	0	1276	2228	3	584	0	1641	2161	10	689	0	1462	2228	12	582	0	1634	
Promedio	176	0	46	0	130	161	1	54	0	160	186	0	49	0	137	180	1	57	0	122	186	1	49	0	136	
Porcentaje de la lluvia	100	0,24	26,3	0	73,44	100	0,6	33,44	0	65,9	100	0,13	26,2	0	73,6	100	0,5	31,88	0	67,7	100	0,54	26	0	73,34	
LL= Lluvia neta, E= Escorrentía, ET= Evapotranspiración real; ΔH= Cambio de humedad en el suelo; P= Percolación																										

Anexo 6. Entrevista semiestructurada para su aplicación a actores claves y usuarios del agua para consumo humano proveniente de la microcuenca San Juan Otontepec.

Nombre _____ **Edad** _____
Nombre del entrevistador _____ **Fecha** _____
Comunidad _____ **Municipio** _____ **Estado** _____

1. ¿Quiénes son los responsables del agua para consumo humano en la su comunidad?

2. ¿Cuál es su percepción sobre la gestión (entidad que administra) del agua y actividades que realizan?

3. ¿Existen organizaciones locales, comunitarias, adicionales a la entidad que administra el agua, que velan por el uso, manejo y gestión del agua para consumo humano? _____; qué función; qué respaldo legal tienen _____; qué estructura organizativa tienen? (cada una de esas organizaciones) _____
4. ¿Existen análisis frecuentes de calidad del agua (físicos, biológicos, químicos) en las tomas de agua, en los tanques de almacenamiento y a nivel de viviendas?
_____ ¿Quién lo realiza? _____ ¿Con qué frecuencia? _____ ¿Quién los certifica? _____
5. Cómo se toman decisiones, quiénes participan y cómo lo hacen (papel) en la gestión del agua para consumo humano en la microcuenca? _____
6. ¿Existe participación real de la mujer en la gestión del agua para consumo humano fuera del hogar? _____ ¿Cuál es o en qué consiste su participación? _____
7. ¿Cómo se evidencia o cuáles son las razones, en caso que no haya participación?

8. Dentro del hogar ¿qué papel y participación tienen la mujer en el uso y manejo del agua?

9. ¿Han existido conflictos por el uso del agua para consumo humano, cuáles han sido las causas, consecuencias y soluciones? _____
10. ¿En qué año y temporada del año han tenido problemas del agua para consumo humano? _____
11. ¿Cuánto paga usted por el agua que consume? _____
12. ¿Cómo es el servicio que recibe de parte del comité de agua? Malo Regular Bueno Muy Bueno..... En caso de ser un servicio malo explique por qué? _____
13. ¿Sabe cuál es la fuente principal de abastecimiento de agua para consumo humano de su comunidad? _____

14. ¿Usted compra agua embotellada para su consumo?_____¿Cada cuando? _____
¿a qué precio?_____
15. ¿Usted asiste a las reuniones sobre el agua?_____
16. ¿Ha tenido problemas de salud causado por el agua? _____¿Puede mencionar algunas?_____
17. ¿Cómo se manejan los conflictos por el agua para consumo humano, transferencia de derechos, poderes sobre el agua, derechos de propiedad; existen ejemplos?_____
18. ¿Cuál es el grado de inversión pública anual, incluyendo la municipal, en agua para consumo humano y saneamiento en la microcuenca (tratamiento de agua, infraestructura, fortalecimiento de capacidades, capacitación y educación, micromedición, operación y mantenimiento, manejo y uso del agua, manejo de la microcuenca)?_____
19. ¿Cómo se financia esa inversión? _____
20. ¿Qué vinculación existe entre la gestión administrativa del agua para consumo humano en la microcuenca y acciones de protección, manejo y conservación de las zonas aparentes de recarga hídrica de la misma?_____ ¿Qué acciones específicas (protección, manejo y conservación) se realizan en la zona de recarga? _____
21. ¿Cuáles han sido las dificultades, debilidades que han tenido para la implementación de su proyecto de agua potable?_____
22. ¿Cuáles han sido las oportunidades y fortalezas que han tenido para la implementación de su proyecto de agua potable?_____
23. ¿Cuáles han sido sus fuentes de financiamiento para mantener el proyecto de agua para consumo humano?_____
24. ¿Con base a sus experiencias, que acciones se deben implementar para lograr una gestión sostenible del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec?_____

Anexo 7. Descripción del perfil de cinco usos de suelo de la microcuenca San Juan Otontepec

Para la descripción del perfil del suelo se utilizó la metodología propuesta por la FAO 2009 y los resultados obtenidos para los usos de suelo bajo estudio fueron las siguientes:

Descripción de perfil de suelo del bosque de encino realizado por Celestino Sandoval García y Jorge L. Chagoya Fuentes.

Descripción de suelo de bosque de encino de la microcuenca San Juan Otontepec.

1. Localizada en la parte baja de la pendiente	Coordenada: N 21° 12' 04.8" W 97° 55'07.2" 711 msnm
2. Topografía	Ladera (Parte baja de la pendiente)
3. Pendiente	De 10 a 15°
4. Forma	Irregular
5. Micro topografías	Pequeños montículos de tierra por hormigas
6. Usos del suelo	Pecuario
7. Influencia de los humanos	Vegetación poco disturbado
8. Vegetación	Encinal (<i>Quercus oleoides</i>)
9. Roca madre	Depósitos coluviales
10. Tipo de roca	Basalto
11. Profundidad efectiva del suelo	20 cm (Suelo muy delgado menor de 20 cm)
12. Roca expuesta	Mucha roca de 15 a 40%
13. Distancia entre rocas	De 5 a 10 metros
14. Erosión	No hay evidencia de erosión
15. Grietas	No hay grietas
16. Tipos de drenaje:	Muy drenado.
17. Drenaje interno	Nunca saturado
18. Permeabilidad o conductividad eléctrica	Moderadamente rápido
19. Drenaje externo	Muy poca escorrentía superficial (clave S), cuando hay huracanes
20. Condiciones de humedad	Seco
DESCRIPCION DE HORIZONTE	
HORIZONTE A	HORIZONTE B
21. Profundidad: de 0 a 20 cm	Profundidad: de 20 a 100 cm
22. Diferenciación de perfiles: es clara	
23. Topografía de diferenciación: es en forma de ondas	
24. Tipo de horizonte: cámbico	
25. Textura de horizonte: Franco	Arcilloso
26. Color del suelo: 2.5/3 7.5 YR	Color del suelo: 3/4 7.5 YR
27. Fragmento de roca: Común de 5 a 15%	Fragmento de roca: Común de 5 a 15%
28. Rocas y piedras: de 6 a 20 cm	Rocas y piedras: de 20 a 60 cm
29. Forma de roca: Angular	Forma de roca: Plana
30. Meteorización: Meteorizado	Meteorización: Meteorizado
ESTRUCTURA DEL SUELO	
31. Grado de estructura: de Moderada a débil.	Grado de estructura: de Moderada a débil.
32. Tamaño de estructura: Medio (30 a 50	Tamaño de estructura: Fino de 2 a 5 mm.

mm.)	
33. Tipo de estructura: Bloque angular	Tipo de estructura: Granular
34. Consistencia en seco: ligeramente duro	Consistencia en seco: Suave
35. Consistencia cuando húmedo: muy freable,	Consistencia cuando húmedo: muy freable.
36. Adhesión: No hay adhesión	Adhesión: No hay adhesión
37. Plasticidad: No plástica	Plasticidad: Plástica
38. Porosidad: Medio, de 2 a 5mm.	Porosidad: muy fino, de 0.5 a 2 mm.
39. Abundancia de porosidad: Abundante (Bastante) de 50 a 200.	Abundancia de porosidad: abundante de 20 a 50
40. Porcentaje de porosidad: 15-40%	Porcentaje de porosidad: de 5 a 15%
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
41. Raíces: muchas, de 50 a 200 raíces	Raíces: abundante, de 20 a 50 raíces
42. Diámetro de raíces: fino, media y grande, de 0.5 a mayor de 5 mm.	Diámetro de raíces: mediano de 2 a 5 mm,
43. Abundancia de vida biológica: mucha abundancia, principalmente galerías de lombrices, hormigas y escarabajos.	Abundancia de vida biológica: Abundante, principalmente galerías de lombrices.

Descripción del perfil de suelo del bosque secundario de la microcuenca San Juan Otontepec

1. Localizada a la mitad de la pendiente	Coordenada: N 21° 11' 58.8" W 97° 54' 45.4"	Altitud 845 msnm.
2. Topografía	Ladera	
3. Pendiente	Pendiente moderado mayor de 15°	
4. Forma	Irregular	
5. Micro topografías	Nidos de animales (tuzas, armadillos y zorrillos)	
6. Usos del suelo	Bosque secundario	
7. Influencia de los humanos	Vegetación poco disturbado	
8. Vegetación	Bosque (Bosque sub-caducifolio)	
9. Roca madre	Depósitos coluviales	
10. Tipo de roca	Basalto	
11. Profundidad efectiva del suelo	40 cm (Suelo delgado de 30 a 50 cm)	
12. Roca expuesta	De 15 a 40%	
13. Distancia entre rocas	De 4 a 5 metros	
14. Erosión	No hay evidencia de erosión	
15. Grietas	No hay	
16. Tipos de drenaje:	Excesivamente drenado	
17. Drenaje interno	nunca saturado	
18. Permeabilidad o conductividad eléctrica	Moderadamente rápido	
19. Drenaje externo	Muy poca escorrentía	
20. Condiciones de humedad	Seco	
DESCRIPCIÓN DE HORIZONTE		
HORIZONTE A		HORIZONTE B
21. Profundidad: de 0 a 40 cm	Profundidad: de 40 a 100 cm	
22. Diferenciación de perfiles: es clara		
23. Topografía de diferenciación: es en forma de ondas		
24. Tipo de horizonte: cámbico		
25. Color del suelo: 2.5/2 7.5 YR	Color del suelo: 3/3 7.5 YR	
26. Textura de horizonte: Franco arcilla	Arcilloso	
27. Fragmento de roca: Mucho de 15 a	Fragmento de roca: Abundante de 40 a 80%	

40%	
28. Rocas y piedras: de 6 a 20 y de 2 a 60 cm	Rocas y piedras: clave B de 20 a 60 cm
29. Forma de roca: Angular	Forma de roca: Angular.
30. Meteorización: Meteorizado.	Meteorización: Meteorizado.
ESTRUCTURA DEL SUELO	
31. Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 10 a 20 mm.	Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 5 a 10 mm de tamaño fino
32. Tamaño de estructura: Medio	Tamaño de estructura: Fino
33. Tipo de estructura: granular y bloque (Bloque angular)	Tipo de estructura: Granular
34. Consistencia en seco: Suave.	Consistencia en seco: Ligeramente duro
35. Consistencia cuando húmedo: muy freable.	Consistencia cuando húmedo: muy freable.
36. Adhesión: No hay adhesión	Adhesión: No hay adhesión
37. Plasticidad: No plástica.	Plasticidad: Plástica
38. Porosidad: Fina	Porosidad: muy fino
39. Abundancia de porosidad: Poca abundancia de 1 a 20	Abundancia de porosidad: Poca abundancia de 1 a 20
40. Porcentaje de porosidad: porosidad baja de 2 a 5%	Porcentaje de porosidad: porosidad muy baja menor de 5%
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
41. Raíces: Abundancia. común de 50 a 200 raíces	Raíces: Poca abundancia de 1 a 20 raíces
42. Diámetro de raíces: fino y media.	Diámetro de raíces: Fina de 0.5 a 2 mm.
43. Abundancia de vida biológica: Poca abundancia, con canales de lombrices de tierra y termitas	Abundancia de vida biológica: Poca abundancia.

Descripción del perfil de suelo del pastizal con arbustos en la microcuenca San Juan Otontepec

1. Localizada a la mitad de la pendiente	Coordenada: N 21° 12' 06.8" Altitud W 97° 54' 49.5" 773 msnm
2. Topografía	Ladera
3. Pendiente	Pendiente moderado mayor de 15°
4. Forma	Irregular
5. Micro topografías	No hay
6. Usos del suelo	Pecuario
7. Influencia de los humanos	Vegetación poco disturbado
8. Vegetación	Pastizal con arbusto (estrella de áfrica, tescua y pistlillo)
9. Roca madre	Depósitos coluviales
10. Tipo de roca	Basalto
11. Profundidad efectiva del suelo	30 cm (Suelo muy delgado menor de 30 cm)
12. Roca expuesta	de 15 a 40%
13. Distancia entre rocas	De 2 a 5 metros
14. Erosión	No hay evidencia de erosión
15. Grietas	No hay grietas
16. Tipos de drenaje:	Muy drenado
17. Drenaje interno	nunca saturado
18. Permeabilidad o conductividad eléctrica	moderadamente lento
19. Drenaje externo	Muy poca escorrentía superficial.
20. Condiciones de humedad	Seco

DESCRIPCION DE HORIZONTE

HORIZONTE A	HORIZONTE B
--------------------	--------------------

21. Profundidad: de 0 a 30 cm	Profundidad: de 30 a 100 cm
22. Diferenciación de perfiles: es clara	
23. Topografía de diferenciación: es en forma de ondas	
24. Tipo de horizonte: cámbico	
25. Color del suelo: 3/4 7.5 YR	Color del suelo: 5/8 2.5 YR
26. Textura de horizonte: Franco arcilloso	Arcilloso
27. Fragmento de roca: Común de 5 a 15%	Fragmento de roca: Común de 5 a 15%
28. Rocas y piedras: clave S de 6 a 20 cm	Rocas y piedras: de 20 a 60 cm
29. Forma de roca: Angular	Forma de roca: Angular
30. Meteorización: Meteorizado	Meteorización: Meteorizado
ESTRUCTURA DEL SUELO	
31. Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 10 a 30 mm.	Grado de estructura: de Moderada a débil, en forma de bloque de 10 a 20 mm de tamaño fino
32. Tamaño de estructura: Medio	Tamaño de estructura: Fino
33. Tipo de estructura: (Bloque angular)	Tipo de estructura: Granular
34. Consistencia en seco: ligeramente duro	Consistencia en seco: Suave
35. Consistencia cuando húmedo: muy freable.	Consistencia cuando húmedo: muy freable,
36. Adhesión: No hay adhesión	Adhesión: No hay adhesión
37. Plasticidad: No plástica.	Plasticidad: Plástica
38. Porosidad: Medio, de 2 a 5mm	Porosidad: muy fino
39. Abundancia de porosidad: Abundante (Bastante) de 50 a 200	Abundancia de porosidad: Poca abundancia de 20 a 50
40. Porcentaje de porosidad: porosidad de 15 a 40%	Porcentaje de porosidad: de 5 a 15%
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
41. Raíces: muchas, mas de 250 raíces	Raíces: Poca abundancia, de 10 a 50 raíces
42. Diámetro de raíces: fino y media, de 0.5 a 5 mm.	Diámetro de raíces: Fina de 0.5 a 2 mm,
43. Abundancia de vida biológica: Poca abundancia, con canales de lombrices de tierra y hormigas.	Abundancia de vida biológica: Poca abundancia galerías de lombrices

Descripción del perfil de suelo del pastizal de estrella africana en la microcuenca San Juan Otontepec

1. Localizada a la mitad de la pendiente	Coordenada: N 21° 12' 04.7"	Altitud
	W 97° 54'47.6"	810 msnm
2. Topografía	Ladera	
3. Posición	A la mitad de la pendiente	
4. Pendiente	Pendiente moderado mayor de 15°	
5. Forma	Irregular	
6. Micro topografías	No hay	
7. Usos del suelo	Pecuario	
8. Influencia de los humanos	Vegetación poco disturbado	
9. Vegetación	Pastizal de estrella de áfrica	
10. Roca madre	Depósitos coluviales	
11. Tipo de roca	Basalto	
12. Profundidad efectiva del suelo	30 cm (Suelo muy delgado menor de 30 cm)	
13. Roca expuesta	de 15 a 40%	
14. Distancia entre rocas	De 2 a 5 metros (clave 4)	
15. Erosión	No hay evidencia de erosión	
16. Grietas	No hay grietas	
17. Tipos de drenaje:	Muy drenado (clave S).	
18. Drenaje interno	nunca saturado	
19. Permeabilidad o conductividad eléctrica	moderadamente lento	

20. Drenaje externo	Muy poca escorrentía
21. Condiciones de humedad	Seco
DESCRIPCION DE HORIZONTE	
HORIZONTE A	HORIZONTE B
22. Profundidad: de 0 a 30 cm	Profundidad: de 30 a 100 cm
23. Diferenciación de perfiles: es clara	
24. Topografía de diferenciación: es en forma de ondas	
25. Tipo de horizonte: cámbico	
26. Color del suelo: 2.5/2 7.5 YR	Color del suelo: 3/4 7.5 YR
27. Textura de horizonte: Franco arcilloso	Arcilloso
28. Fragmento de roca: Mucho de 15 a 40%	Fragmento de roca: Abundante de 40 a 80%
29. Rocas y piedras: de 6 a 20 cm	Rocas y piedras: de 20 a 60 cm
30. Forma de roca: Angular	Forma de roca: Angular
31. Meteorización: Meteorizado	Meteorización: Meteorizado
ESTRUCTURA DEL SUELO	
32. Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 10 a 30 mm.	Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 5 a 10 mm de tamaño fino
33. Tamaño de estructura: Medio	Tamaño de estructura: Fino
34. Tipo de estructura: de Bloque angular	Tipo de estructura: Granular
35. Consistencia en seco: ligeramente duro	Consistencia en seco: Ligeramente duro
36. Consistencia cuando húmedo: muy freable	Consistencia cuando húmedo: muy freable
37. Adhesión: No hay adhesión	Adhesión: No hay adhesión
38. Plasticidad: No plástica	Plasticidad: Plástica
39. Porosidad: Fina	Porosidad: muy fino
40. Abundancia de porosidad: Poca abundancia de 1 a 20	Abundancia de porosidad: Poca abundancia de 1 a 20
41. Porcentaje de porosidad: porosidad baja de 2 a 5%	Porcentaje de porosidad: porosidad muy baja menor de 2%
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
42. Raíces: muchas más de 200 raíces	Raíces: Poca abundancia de 5 a 20 raíces
43. Diámetro de raíces: fino y media de 3 a 5 mm.	Diámetro de raíces: Fina de 0.5 a 2 mm.
44. Abundancia de vida biológica: Poca abundancia, con canales de lombrices de tierra y termitas.	Abundancia de vida biológica: Poca abundancia de galerías de lombrices

Descripción del perfil de suelo del pastizal nativo en la microcuenca San Juan Otontepec

1. Localizada en la parte baja de la pendiente	Coordenada: N 21° 12' 14.8" Altitud W 97° 55' 00.3" 706 msnm
2. Topografía	Ladera (Parte baja de la pendiente)
3. Pendiente	De 10 a 15°
4. Forma	Irregular
5. Micro topografías	Galería de microfauna (Lombrices y hormigas)
6. Usos del suelo	Pecuario
7. Influencia de los humanos	Vegetación poco disturbado
8. Vegetación	Pastizal nativo con Encinos (<i>Quercus oleoides</i>)
9. Roca madre	Depósitos coluviales
10. Tipo de roca	Basalto
11. Profundidad efectiva del suelo	30 cm (Suelo muy delgado menor de 30 cm)
12. Roca expuesta	Hay muy poca de 5 a 15%

13. Distancia entre rocas	De 5 a 10 metros (clave 3)
14. Erosión	No hay evidencia de erosión
15. Grietas	No hay grietas
16. Tipos de drenaje:	Muy drenado
17. Drenaje interno	nunca saturado
18. Permeabilidad o conductividad eléctrica	moderadamente rápido
19. Drenaje externo	Muy poca escorrentía superficial cuando hay huracanes
20. Condiciones de humedad	Seco
DESCRIPCION DE HORIZONTE	
HORIZONTE A	HORIZONTE B
21. Profundidad: de 0 a 30 cm	Profundidad: de 30 a 100 cm
22. Diferenciación de perfiles: es clara	
23. Topografía de diferenciación: es en forma de ondas	
24. Tipo de horizonte: cámbico	
25. Textura de horizonte: Franco arcilloso	Arcilloso
26. Color del suelo: 2.5/3 7.5 YR	Color del suelo: 4/6 7.5 YR
27. Fragmento de roca: Común de 5 a 15%	Fragmento de roca: Común de 5 a 15%
28. Rocas y piedras: de 2 a 6 cm	Rocas y piedras: de 6 a 20 cm
29. Forma de roca: Angular	Forma de roca: Plano
30. Meteorización: Meteorizado	Meteorización: Meteorizado
ESTRUCTURA DEL SUELO	
31. Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 10 a 20 mm.	Grado de estructura: de Moderada a débil, con forma en bloque de 2 a 5 mm.
32. Tamaño de estructura: Medio (10 a 20 mm.)	Tamaño de estructura: Fino de 2 a 5 mm.
33. Tipo de estructura: de Bloque angular	Tipo de estructura: Granular
34. Consistencia en seco: ligeramente duro	Consistencia en seco: Suave
35. Consistencia cuando húmedo: muy freable	Consistencia cuando húmedo: muy freable
36. Adhesión: No hay adhesión	Adhesión: No hay adhesión
37. Plasticidad: No plástica	Plasticidad: Plástica
38. Porosidad: Medio, de 2 a 5mm	Porosidad: muy fino, de 0.5 a 2 mm, para este perfil se encontró un nido de hormiga de más de 15 cm de diámetro.
39. Abundancia de porosidad: Abundante (Bastante) de 50 a 250	Abundancia de porosidad: abundante de 50 a 200.
40. Porcentaje de porosidad: más de 40%,	Porcentaje de porosidad: de 15 a 40%
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
41. Raíces: muchas, mas de 500 raíces	Raíces: Poca abundancia. de 10 a 50 raíces
42. Diámetro de raíces: fino, media y grande, de 0.5 a mayor de 5 mm.	Diámetro de raíces: Fino a grande de 0.5 a mayor de 5 mm.
43. Abundancia de vida biológica: mucha abundancia, principalmente galerías de lombrices de tierra y hormigas y escarabajos	Abundancia de vida biológica: mucha abundancia, principalmente galerías de lombrices y nidos de hormigas.

Anexo 8. Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano de Tezitla, municipio de Chontla, Veracruz.

FASE	INDICADOR	CALIFICACION OBSERVADA	VALOR MAXIMO	VULNERABILIDA (%)	VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
Zona de Recarga Hídrica	Tenencia de la tierra	4	4	100	Muy alta
	Cobertura vegetal	1	4	25	Baja
	Uso del suelo	2	4	50	Media
	Tendencia de uso del suelo	2	4	50	Media
	Plan de ordenamiento territorial	4	4	100	Muy alta
Fuente de abastecimiento de agua	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Demarcación	4	4	100	Muy alta
	Fuente de contaminación	1	4	25	Baja
	Susceptibilidad a amenazas naturales	1	4	25	Baja
	Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento	0	4	0	Muy baja
	Balance entre oferta y demanda de agua	0	4	0	Muy baja
Toma de agua y obra de captación	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	2	4	50	Media
	Accesorios y repuestos	0	4	0	Muy baja
	Estado de la caja	1	4	25	Baja
	Frecuencia de mantenimiento	0	4	0	Muy baja
Línea de conducción	Susceptibilidad a amenazas	2	4	50	Media
	Accesorios y repuestos	0	4	0	Muy baja
	Estado de la tubería	2	4	50	Media
	Mantenimiento	4	4	100	Muy alta
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tanque de almacenamiento	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Accesorio y repuestos	0	4	0	Muy baja
	Estado del tanque	1	4	25	Baja
	Mantenimiento	2	4	50	Media
	Susceptibilidad a amenazas naturales	2	4	50	Media
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Red de distribución	Cobertura de servicio	0	4	0	Muy baja
	Continuidad del servicio	0	4	0	Muy baja

	Estado de la tubería y de la caja de válvulas	1	4	25	Baja
	Estado de las conexiones domiciliarias	1	4	25	Baja
	Mantenimiento	3	4	75	Alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	1	4	25	Baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tratamiento de agua	Tratamiento que necesita y se aplica al agua	0	4	0	Muy baja
	Frecuencia del tratamiento	0	4	0	Muy baja
	Porcentaje de la población que consume agua tratada	4	4	100	Muy alta
Uso y Manejo del agua en el hogar	Calidad, estado y mantenimiento de red domiciliaria de distribución del agua	1	4	25	Baja
	Porcentaje de viviendas en las que se requiere almacenar agua	4	4	100	Muy alta
	Calidad de las medidas que se practican para el almacenamiento del agua en el hogar	1	4	25	Baja
	Personas capacitadas sobre el uso y manejo de la agua en el hogar	4	4	100	Muy alta
	Motivos para el ahorro del agua	0	4	0	Muy baja
	Porcentajes de familias que cuentan con pila	1	4	25	Baja
Manejo de agua post-uso	Cobertura del servicio de alcantarillado	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de aguas las negras que son tratadas	4	4	100	Muy alta
	Nivel de tratamiento de aguas residuales	4	4	100	Muy alta
	Sitio de descarga de las aguas negras	2	4	50	Media
	Capacitación a la población para el manejo del agua residual	4	4	100	Muy alta
Administración	Organización que administra el recurso hídrico para consumo	0	4	0	Muy
	Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica	4	4	100	Muy alta
	Reglamento interno de la organización	4	4	100	Muy alta
	Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua	4	4	100	Muy alta
	Funciones de la organización de agua	3	4	75	Alta
	Aspectos en los que se capacita a las organizaciones	4	4	100	Muy alta
	Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación	4	4	100	Muy alta
	Cobertura de micromedición	4	4	100	Muy alta

	Tarifas de cobro	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de morosidad en el pago	0	4	0	Baja
	Porcentaje de conexiones ilegales	0	4	0	Muy baja
	Fontanero	4	4	100	Muy alta
	Herramientas, equipo y materiales	0	4	0	Muy baja
	Fondos económicos	2	4	50	Media

Anexo 9. Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano de El Humo, municipio de Tepetzintla

FASE	INDICADOR	CALIFICACION OBSERVADA	VALOR MAXIMO	VULNERABILIDAD (%)	VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
Zona de Recarga Hídrica	Tenencia de la tierra	4	4	100	Muy alta
	Cobertura vegetal	1	4	25	Baja
	Uso del suelo	0	4	0	Muy baja
	Tendencia de uso del suelo	2	4	50	Media
	Plan de ordenamiento territorial	4	4	100	Muy alta
Fuente de abastecimiento de agua	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Demarcación	4	4	100	Muy alta
	Fuente de contaminación	1	4	25	Baja
	Susceptibilidad a amenazas naturales	1	4	25	Baja
	Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento	0	4	0	Muy baja
	Balance entre oferta y demanda de agua	1	4	25	Baja
Toma de agua y obra de captación	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	1	4	25	Baja
	Accesorios y repuestos	1	4	25	Baja
	Estado de la caja	2	4	50	Media
	Frecuencia de mantenimiento	0	4	0	Muy baja
Línea de conducción	Susceptibilidad a amenazas	1	4	25	Baja
	Accesorios y repuestos	1	4	25	Baja
	Estado de la tubería	2	4	50	Media
	Mantenimiento	1	4	25	Baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tanque de almacenamiento	Tenencia de la tierra	2	4	50	Media
	Accesorio y repuestos	0	4	0	Muy baja
	Estado del tanque	2	4	50	Media

	Mantenimiento	0	4	0	Muy baja
	Susceptibilidad a amenazas naturales	0	4	0	Muy baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Red de distribución	Cobertura de servicio	3	4	75	Media
	Continuidad del servicio	0	4	0	Muy baja
	Estado de la tubería y de la caja de válvulas	1	4	25	Baja
	Estado de las conexiones domiciliarias	1	4	25	Baja
	Mantenimiento	4	4	100	Muy alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	1	4	25	Baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tratamiento de agua	Tratamiento que necesita y se aplica al agua	1	4	25	Baja
	Frecuencia del tratamiento	0	4	0	Muy baja
	Porcentaje de la población que consume agua tratada	0	4	0	Muy baja
Uso y Manejo del agua en el hogar	Calidad, estado y mantenimiento de red domiciliaria de distribución del agua	1	4	25	Baja
	Porcentaje de viviendas en las que se requiere almacenar agua	4	4	100	Muy alta
	Calidad de las medidas que se practican para el almacenamiento del agua en el hogar	1	4	25	Baja
	Personas capacitadas sobre el uso y manejo de la agua en el hogar	4	4	100	Muy alta
	Motivos para el ahorro del agua	0	4	0	Muy baja
	Porcentajes de familias que cuentan con pila	4	4	100	Muy alta
Manejo de agua post-uso	Cobertura del servicio de alcantarillado	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de aguas las negras que son tratadas	4	4	100	Muy alta
	Nivel de tratamiento de aguas residuales	4	4	100	Muy alta
	Sitio de descarga de las aguas negras	4	4	100	Muy alta
	Capacitación a la población para el manejo del agua residual	4	4	100	Muy alta
	Organización que administra el recurso hídrico para consumo	0	4	0	Muy baja
	Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica	4	4	100	Muy alta
	Reglamento interno de la organización	0	4	0	Muy baja
	Equidad de género en la integración, participación y toma de	4	4	100	Muy alta

Administración	decisiones en la organización local gestora del agua				
	Funciones de la organización de agua	0	4	0	Muy baja
	Aspectos en los que se capacita a las organizaciones	4	4	100	Muy alta
	Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación	0	4	0	Muy baja
	Cobertura de micromedición	4	4	100	Muy alta
	Tarifas de cobro	2	4	50	Media
	Porcentaje de morosidad en el pago	0	4	25	Baja
	Porcentaje de conexiones ilegales	0	4	0	Muy baja
	Fontanero	4	4	100	Muy alta
	Herramientas, equipo y materiales	0	4	0	Muy baja
	Fondos económicos	2	4	50	Media

Anexo 10. Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano de Teztlal, municipio de Tepetzintla.

FASE	INDICADOR	CALIFICACION OBSERVADA	VALOR MAXIMO	VULNERABILIDAD (%)	VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
Zona de Recarga Hídrica	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Cobertura vegetal	2	4	50	Media
	Uso del suelo	2	4	50	Media
	Tendencia de uso del suelo	2	4	50	Media
	Plan de ordenamiento territorial	4	4	100	Muy alta
Fuente de abastecimiento de agua	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Demarcación	4	4	100	Muy alta
	Fuente de contaminación	1	4	25	Baja
	Susceptibilidad a amenazas naturales	3	4	75	Alta
	Conflictos por el uso del agua de la fuente de abastecimiento	1	4	25	Baja
	Balance entre oferta y demanda de agua	0	4	0	Muy baja
Toma de agua y obra de captación	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	2	4	50	Media
	Accesorios y repuestos	1	4	25	Baja
	Estado de la caja	0	4	0	Muy baja
	Frecuencia de mantenimiento	0	4	0	Muy baja
Línea de conducción	Susceptibilidad a amenazas	2	4	50	Media
	Accesorios y repuestos	1	4	25	Baja

	Estado de la tubería	2	4	50	Media
	Mantenimiento	3	4	75	Alta
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tanque de almacenamiento	Tenencia de la tierra	3	4	75	Alta
	Accesorio y repuestos	1	4	25	Baja
	Estado del tanque	1	4	25	Baja
	Mantenimiento	1	4	25	Baja
	Susceptibilidad a amenazas naturales	0	4	0	Muy baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Red de distribución	Cobertura de servicio	1	4	25	Baja
	Continuidad del servicio	0	4	0	Muy baja
	Estado de la tubería y de la caja de válvulas	2	4	50	Media
	Estado de las conexiones domiciliarias	1	4	25	Baja
	Mantenimiento	4	4	100	Muy alta
	Susceptibilidad a amenazas naturales	0	4	0	Muy baja
	Medidas de mitigación y prevención	4	4	100	Muy alta
Tratamiento de agua	Tratamiento que necesita y se aplica al agua	0	4	0	Muy baja
	Frecuencia del tratamiento	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de la población que consume agua tratada	4	4	100	Muy alta
Uso y Manejo del agua en el hogar	Calidad, estado y mantenimiento de red domiciliar de distribución del agua	1	4	25	Muy baja
	Porcentaje de viviendas en las que se requiere almacenar agua	4	4	100	Muy alta
	Calidad de las medidas que se practican para el almacenamiento del agua en el hogar	1	4	25	Baja
	Personas capacitadas sobre el uso y manejo de la agua en el hogar	0	4	0	Muy baja
	Motivos para el ahorro del agua	0	4	0	Muy baja
	Porcentajes de familias que cuentan con pila	4	4	100	Muy alta
Manejo de agua post-uso	Cobertura del servicio de alcantarillado	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de aguas las negras que son tratadas	4	4	100	Muy alta
	Nivel de tratamiento de aguas residuales	4	4	100	Muy alta
	Sitio de descarga de las aguas negras	2	4	50	Media
	Capacitación a la población para el manejo del agua residual	4	4	100	Muy alta

Administración	Organización que administra el recurso hídrico para consumo	0	4	0	Baja
	Nivel de avance de la organización para la constitución con personería jurídica	2	4	50	Media
	Reglamento interno de la organización	1	4	25	Baja
	Equidad de género en la integración, participación y toma de decisiones en la organización local gestora del agua	0	4	0	Muy baja
	Funciones de la organización de agua	0	4	0	Muy baja
	Aspectos en los que se capacita a las organizaciones	0	4	0	Muy baja
	Frecuencia de reuniones de la organización y grado de participación	4	4	100	Muy alta
	Cobertura de micromedición	4	4	100	Muy alta
	Tarifas de cobro	4	4	100	Muy alta
	Porcentaje de morosidad en el pago	0	4	0	Muy baja
	Porcentaje de conexiones ilegales	0	4	0	Muy baja
	Fontanero	3	4	75	Alta
	Herramientas, equipo y materiales	0	4	0	Muy baja
	Fondos económicos	2	4	50	Media

8.