

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Análisis de la eficiencia en el uso del recurso hídrico, en sistemas de
agua de uso doméstico, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de
Ángeles, Honduras**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el
Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Por

Elia Maricela Mondragón Ponce

Turrialba, Costa Rica, 2005

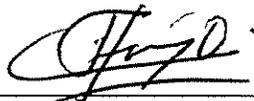
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

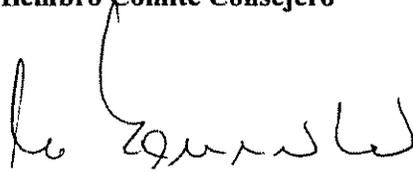
FIRMANTES:



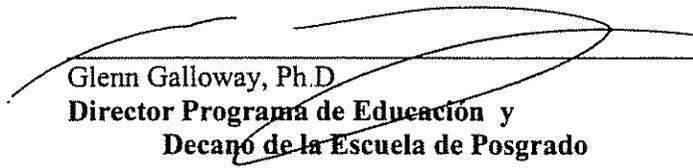
Hernan Solís, Ph.D.
Consejero Principal



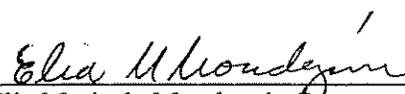
Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Hans Kammerbauer, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Elia Maricela Mondragón Ponce
Candidato

DEDICATORIA

Esta página me da la oportunidad de recordar a las personas que más quiero y con las cuales quisiera compartir más cosas y durante mucho tiempo. Por ahora, les dedico el presente trabajo.

A Natalia e Israel.

A mi familia: mis padres Martha y Justo, mis hermanos, sobrinos y Boris.

A Alma y a los amigos que conocí en Costa Rica, a mis entrañables: Karla, Jacky, Patty, Magaly, Jimmy, Freddy, Nina, Ruth, Rafi, Sandrita, Arlene, Ney, Inty, Karim, Andrés, Luis, Roy, Bessy, Ramón, Pierre, Chayito, Irma, Marcela, Elena, Mariú, Lorena, Noé, Danny y Doña Gladys.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento más sincero para los que me ayudaron a llegar al CATIE: Boris e Israel por orientarme y apoyarme en este proceso.

Gracias especiales a Francisco Jiménez, por su ayuda incondicional.

A ASDI por el apoyo financiero para Honduras y, particularmente, para mí.

A Hernán Solís, por su dedicación y compromiso más allá de lo esperado.

A Hans Kammerbauer y Sergio Velásquez, por su participación en la corrección de mi trabajo.

Al personal de la Alcaldía Municipal de Valle de Ángeles, por su colaboración desinteresada: Luis Fernando, Teófilo, Mario, Javier y Don Pino.

A Reinita, de FOCUENCAS, Valle de Ángeles.

A Alma y a mis amigos del CATIE por apoyarme en todos los sentidos.

A Doña Gladys por su cariño.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO.....	V
RESUMEN	IX
SUMMARYX	
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTA DE SIGLAS Y UNIDADES	XV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Situación del agua en Mesoamérica.....	2
1.1.2 Recursos hídricos en Honduras.....	3
1.1.3 Recursos hídricos de la Microcuenca del Río La Soledad	4
1.1.4 Planteamiento del problema.....	5
1.1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.2 Objetivos del estudio.....	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
2 MARCO CONCEPTUAL.....	10
2.1 Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	10
2.1.1 Principios de la GIRH	12
2.1.2 Criterios y elementos importantes para la GIRH.....	13
2.1.3 La gestión del recurso hídrico dentro del manejo de cuencas hidrográficas.....	14
2.1.4 Manejo integrado de cuencas hidrográficas.....	14
2.2 Gestión de recursos hídricos en Honduras.....	15
2.3 Eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos	17
2.3.1 El sistema de abastecimiento de agua de uso doméstico.....	19
2.3.1.1 Sistema de captación.....	19
2.3.1.2 La línea de conducción	20

2.3.1.3	Tanque de almacenamiento	20
2.3.1.4	Línea de distribución	20
2.3.1.5	La red de distribución	20
2.3.1.6	Población	20
2.3.1.7	Período de diseño	21
2.3.2	<i>Análisis hidráulico</i>	21
2.3.2.1	EPANET.....	21
2.3.2.2	Principios hidráulicos	22
3	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1	Descripción del área de estudio	24
3.1.1	<i>Características biofísicas</i>	25
3.1.1.1	El suelo	25
3.1.1.2	Uso actual del suelo.....	25
3.1.1.3	El clima	26
3.1.1.4	Hidrología	26
3.1.1.5	Pendiente y relieve.....	27
3.1.2	<i>Características socioeconómicas de la microcuenca</i>	27
3.1.2.1	Población	27
3.1.2.2	Servicios públicos.....	28
3.1.2.3	Fuentes de agua	28
3.1.2.4	Actividades económicas	29
3.1.2.5	Institucionalidad.....	29
3.1.2.6	Institucionalidad relacionada con el agua	31
3.2	Métodos para el objetivo 1	33
3.3	Métodos para el objetivo 2.....	34
3.3.1	<i>Realización de aforos</i>	35
3.3.2	<i>Recorrido por las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda</i>	35
3.3.3	<i>Demanda de agua en las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda</i>	35
3.3.3.1	Demanda actual	35
3.3.3.2	Demanda futura.....	36
3.4	Métodos para el objetivo 3.....	37
3.4.1	<i>El uso de EPANET</i>	37
3.4.1.1	Datos requeridos	37

3.4.1.2	Instalación de la versión española de EPANET	39
3.4.1.3	Dibujo de la red	39
3.4.1.4	Edición de las propiedades de los objetos.....	41
3.4.1.5	Guardar y reabrir el proyecto.....	42
3.4.2	<i>Análisis en régimen permanente</i>	43
3.4.3	<i>Parámetros de evaluación y diseño hidráulico</i>	43
3.4.3.1	Caudal de diseño	44
3.4.3.2	Línea de conducción.....	44
3.4.3.3	Tanque de almacenamiento	44
3.4.3.4	Línea de distribución.....	45
3.4.3.5	Red de distribución.....	45
3.5	Métodos para el objetivo 4.....	45
3.5.1	<i>Aplicación de entrevista a los prestadores del servicio de agua de uso doméstico</i>	45
3.5.2	<i>Aplicación de una entrevista a los usuarios</i>	46
3.5.2.1	Diseño de la estructura de la entrevista para los usuarios	46
3.5.2.2	Diseño de muestra de la entrevista para los usuarios	46
3.6	Métodos para el objetivo 5.....	47
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1	Selección de las quebradas para el estudio	49
4.2	Oferta y demanda.....	49
4.2.1	<i>Oferta actual de agua para los sistemas de agua de uso doméstico</i>	49
4.2.2	<i>La demanda de agua de uso doméstico</i>	51
4.2.2.1	Demanda actual	51
4.2.2.2	Cálculo de la demanda futura.....	54
4.3	Análisis hidráulico del acueducto El Bordo de las Martitas con EPANET	56
4.3.1	<i>Evaluación hidráulica de la red de distribución</i>	56
4.3.2	<i>Evaluación hidráulica de la red de conducción</i>	63
4.3.3	<i>Análisis de costos del acueducto El Bordo de las Martitas</i>	65
4.4	Análisis general de la problemática del agua, en las quebradas seleccionadas	66
4.4.1	<i>Análisis de la calidad del servicio de agua de uso doméstico, en la zona de estudio</i>	66
4.4.2	<i>Análisis de la calidad del servicio de agua de uso doméstico, en diferentes partes de la microcuenca, en las quebradas seleccionadas</i>	70
4.4.3	<i>Análisis de vulnerabilidad de los sistemas</i>	77

4.4.4	<i>Caracterización de cauces principales de la Microcuenca del Río La Soledad</i>	85
4.5	Propuesta de un sistema más eficiente	87
4.5.1	<i>Propuesta a nivel de la microcuenca</i>	87
4.5.2	<i>Propuestas específicas por acueducto</i>	89
5	CONCLUSIONES	91
6	RECOMENDACIONES.....	94
7	Literatura consultada	96
ANEXOS	.....	101

RESUMEN

Mondragón, E. 2005. Análisis de la eficiencia en el uso del recurso hídrico, en sistemas de agua de uso doméstico, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 121 p.

El trabajo tuvo como fin determinar la eficiencia en el servicio de agua de uso doméstico en la Microcuenca del Río La Soledad. Se seleccionó las fuentes que prestan mayor uso a los pobladores de la microcuenca, las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda. Estas fuentes son usadas por seis sistemas diferentes. Se evaluó la capacidad de abastecimiento de la microcuenca, comparando la oferta y demanda del recurso. Se determinó la oferta por medio de aforos y la demanda a través de la fórmula aritmética, número de usuarios y tasa de crecimiento poblacional. Se hizo evaluaciones a los sistemas en aspectos administrativos, económicos y de vulnerabilidad, a través de entrevistas semiestructuradas. Las entrevistas fueron aplicadas al 5% de los usuarios y a todos los prestadores del servicio. También se recorrió los cauces de las quebradas seleccionadas, diferentes partes de la microcuenca, y componentes de las redes. Se evaluó la eficiencia mecánica de uno de los sistemas, aplicando el programa de cómputo para diseño y evaluación de redes a presión EPANET al diseño de un acueducto a realizarse. Con EPANET también se calculó la eficiencia económica en la construcción del acueducto. Los resultados revelaron que la oferta de agua es suficiente para cubrir la demanda, pero los sistemas de distribución son poco eficientes. Se encontró en los sistemas de agua de uso doméstico fallas administrativas, financieras y mal servicio; vulnerabilidad a diferentes amenazas e inequidad en la prestación del servicio. Además se determinó que la eficiencia operativa mejora y el costo de construcción podría reducirse considerablemente si el diseño es hecho usando EPANET. En base a los resultados obtenidos se elaboró una serie de conclusiones y recomendaciones para lograr mayor eficiencia en el servicio de agua de uso doméstico en la zona de estudio.

Palabras clave: análisis, eficiencia, servicio de agua de uso doméstico, EPANET, vulnerabilidad, redes a presión, recurso hídrico, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles.

SUMMARY

The research has as purpose to determinate the domestic use water service efficiency in La Soledad River Microwatershed. Most important water sources were selected: Agua Amarilla, San Francisco and Honda. These sources are used by six different domestic water use agents. The water availability and demand of study zone was evaluated and compared. Average offer was quantified by flow measuring in watercourses; and average demand was calculated through arithmetical formula, actual population and population growth rate. Interviews were applied to 5% of users and all water administrators. After, these interviews were evaluated in administrative, economic, and vulnerability aspects. Visits to different parts of the basin were realized for knowing resources management and supply network components. Mechanic efficiency of one domestic water use system was evaluated, using a computer program called EPANET. Construction economic efficiency of sewerage system was determinate applying EPANET; and later, costs of original and modify design were estimated, and compared. Results reveled that water offer is enough to cover demand, but supply water systems is inefficient. Faults in administrative and economic aspects were found in domestic water use systems. No satisfactory service, inequity, and high vulnerability to different threat were found, too. Operation conditions and construction efficiency could be improved, if EPANET is used in aqueducts design. With base in shown results, a serial of conclusion and recommendations to obtain a bigger efficiency in domestic use water service were established.

Key words: analysis, efficient water use, domestic use water, EPANET, vulnerability, aqueducts, hydrological resources, La Soledad watershed, Valle de Ángeles.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estado físico y uso del suelo en zonas de recarga de las principales fuentes de agua de uso doméstico en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	5
Cuadro 2. Principales problemas biofísicos existentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.	6
Cuadro 3. Organizaciones Locales en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.	30
Cuadro 4. Instituciones ambientales presentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.....	31
Cuadro 5. Coeficientes de rugosidad de la tubería, requeridos en la fórmula de Hazen-Williams.	37
Cuadro 6. Parámetros de diseño relativos a la población, para calcular el consumo medio diario.	38
Cuadro 7. Tipos de consumo considerados en el diseño de acueductos de agua potable.....	38
Cuadro 8. Resultado de aforos en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	50
Cuadro 9. Resumen del agua derivada en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda en al Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	51
Cuadro 10. Prestadores del servicio de agua de uso doméstico, fuentes utilizadas, comunidades servidas y número de abonados en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	53
Cuadro 11. Población total de usuarios, por comunidades, en los años 2001 y 2005, para las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	54
Cuadro 12. Cálculo de población futura con la fórmula aritmética, para las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	55
Cuadro 13. Resumen de abonados del servicio de agua de uso doméstico, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	55
Cuadro 14. Resultados de caudal y velocidad en los tubos, para el diseño modificado del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	61

Cuadro 15. Resultado de presión en los nudos del diseño modificado del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	62
Cuadro 16. Atributos y resultados de velocidad, en los tubos de la red de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	65
Cuadro 17. Atributos y resultados de presión en los nudos de la red de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	65
Cuadro 18. Resumen de costo de tuberías en la línea de conducción del acueducto El Bordo de las Martitas, y comparación entre el presupuesto original y el presupuesto para el nuevo diseño. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	66
Cuadro 19. Tarifa mensual, habitantes por vivienda y capacidad de almacenamiento de los usuarios del servicio de agua de uso doméstico, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	68
Cuadro 20. Tiempo de servicio efectivo promedio (en horas por mes y porcentaje), brindado por los sistemas cuyas fuentes son las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda; en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	68
Cuadro 21. Estado físico y del suelo en las zonas de recarga, de las principales fuentes de agua de uso doméstico, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005..	75
Cuadro 22. Resumen de las condiciones físicas de los sistemas de distribución de agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	78
Cuadro 23. Resumen de las condiciones de operación de los sistemas de distribución de agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	80
Cuadro 24. Datos administrativos de acueductos de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	81
Cuadro 25. Amenazas y vulnerabilidad en acueductos de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	83
Cuadro 26. Manejo la zona de recarga y obra de toma, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las políticas hídricas en el mundo.....	11
Figura 2. Ubicación de la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.	24
Figura 3. Mapa de los cursos de agua existentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	26
Figura 4. Mapa que muestra los puntos de aforo y la ubicación y límite de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras. 2005.	34
Figura 5. Ventana de editor de propiedades del programa EPANET.	42
Figura 6. Red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, trazada sobre el área de dibujo del programa EPANET, se muestra los nudos (numerados), las válvulas reductoras de presión (VRP) y los enlaces (líneas que representan tubos). Microcuenca del Río La Soledad, Honduras. 2005.	57
Figura 7. Presiones y velocidades de flujo en la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, después de efectuado el cálculo en EPANET. Cada rango de presión se representa con un color diferente en los nudos y VRP, y cada rango de velocidad es un color diferente en los enlaces (líneas). Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	58
Figura 8. Esquema modificado, de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, que muestra nudos (letras), válvulas reductoras de presión (VRP) y enlaces (líneas numeradas). Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	59
Figura 9. Esquema modificado, de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, mostrando nudos (letras), válvulas reductoras de presión (VRP) y enlaces (líneas numeradas). Se ven los resultados de presión hidrodinámica en los nudos, con diferente color para cada rango y diferentes colores en los enlaces para diferentes rangos de velocidad. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	60
Figura 10. Esquema de la red de conducción original del acueducto El Bordo de las Martitas, se muestra velocidades con diferentes colores en las líneas, para cada rango de velocidad y los colores en los nudos representan la presión según la escala mostrada en el esquema. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.	63

Figura 11. Esquema de la línea de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, que muestra el resultado de presiones en los nudos (nombrados mediante números o letras) y velocidades en las los enlaces (líneas numeradas), con colores diferentes para cada rango de estas variables, según las escalas que aparecen en el esquema. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	64
Figura 12. Datos generales, en base a la percepción de los usuarios, sobre el servicio de agua de uso doméstico prestado a éstos, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	68
Figura 13. Opinión de los abonados acerca de la calidad del agua y la calidad de la atención para el servicio de agua de uso doméstico de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	69
Figura 14. Tiempo de servicio en horas diarias y días por mes, en invierno y verano; observado por los usuarios de agua de uso doméstico, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en diferentes partes de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras, 2005.....	70
Figura 15. Opiniones desfavorables más frecuentes acerca del de agua recibida, vertidas por los usuarios de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, partes alta, media y baja, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	71
Figura 16. Opiniones más frecuentes de los abonados acerca de los problemas existentes en el servicio de agua de uso doméstico de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	73
Figura 17. Opiniones más frecuentes acerca de las causas de los problemas en el abastecimiento de agua de uso doméstico, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	74
Figura 18. Soluciones ante la problemática del abastecimiento de agua de uso doméstico, planteadas con mayor frecuencia por los usuarios de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.....	76

LISTA DE SIGLAS Y UNIDADES

SIGLAS

AMITIGRA	Asociación Amigos de La Tigra
ASDI	Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional
CARE	Cooperative for Assistance and Relief Everywhere
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CINARA	Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico
COHDEFOR	Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal
DGRH	Dirección General de Recursos Hídricos
EAP	Escuela Agrícola Panamericana
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
ERP	Estrategia de Reducción de la Pobreza
FHIS	Fondo Hondureño de Inversión Social
FOCUENCAS II	Programa Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GOH	Gobierno de Honduras
GWP	Global Water Partnership
INA	Instituto Nacional Agrario
INFOP	Instituto Nacional de Formación Profesional
MICH	Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas
NRMRL	Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PACADIRH	Plan de Acción Centroamericano para el Desarrollo Integrado de los

	Recursos Hídricos
PME	Programa de Modernización del Estado
PRRAC	Programa Regional de Reconstrucción de América Central
RENACH	Red Nacional de Cuencas Hidrográficas
SAG	Secretaría de Agricultura
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente
TAC	Technical Advisory Committee
UMA	Unidad Municipal Ambiental
UN	United Nations
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
USEPA	Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU

UNIDADES

Longitud	Metro	m
Longitud	Milímetro	mm
Longitud	Hectárea	ha
Longitud	Pulgada	pulg
Tiempo	Segundo	s
Volumen	Litros	l
Volumen	Galones	gal
Temperatura	Grado Celsius	° C
Dotación de agua	Litros por persona diarios	lppd
Dotación de agua	Galones por persona diarios	gppd
Dotación de agua	Litros por día	lpd
Presión	Metros columna de agua	mca
Presión	Psi (pound per square inch)	l/pulg ²
Concentración	Miligramos por litro	mg/l

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El agua, histórica y generalmente confinada dentro de un sector denominado recursos hídricos, es imprescindible para la supervivencia de los seres vivos, además de ser un importante elemento para casi todas nuestras actividades económicas y recreativas. Es el recurso más usado por la industria, para producir energía, actividades agrícolas, base para redes de transporte y vehículo para disposición de desechos; su presencia o carencia afecta la calidad de vida de las sociedades (Ferrera *et al.* 2005).

El agua, a pesar de cubrir más del 70% de la superficie de la tierra, es considerada un recurso escaso debido a que solo un pequeño porcentaje de la misma es definida como agua dulce útil para los humanos. (Ferrera *et al.* 2005). Es así, que existen en el mundo por lo menos 1.100 millones de personas sin acceso a agua potable y 2.400 millones carecen de condiciones de salubridad adecuada. El número de personas que no tienen acceso al agua segura aumentó casi 62 millones, en la última década (UN, 2002). El incremento de la población y actividades económicas llevan a conflictos y a una creciente competencia por los recursos limitados de agua dulce (GWP y Agarwal *et al.* 2004).

A nivel internacional, se están realizando una serie de esfuerzos dirigidos a resolver dicha problemática. Entre las más sobresalientes se encuentran:

- El planteamiento de los principios de Dublín, los cuales establecen la importancia del agua para la vida y el desarrollo, como recursos vulnerable y finito; de las decisiones participativas; el rol de la mujer en el manejo de los recursos; y el valor del agua como bien económico (Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente, 1992 citado por Agarwal *et al.* 2004).
- La iniciación, en 1981, del Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental, que fue consecuencia del Plan de Acción de Mar del Plata, aprobado en La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, de 1977. En esta ocasión se convino en la premisa de que "todos los pueblos, cualquiera que sea su etapa de desarrollo y sus condiciones económicas y sociales, tienen derecho al agua potable en cantidad y calidad acordes con sus necesidades básicas" (UN, 2002).

- Entre las metas del milenio, planteadas en Johannesburgo en el 2002, están: reducir a la mitad la población sin acceso a agua potable y saneamiento, y elaborar planes para un manejo integrado eficiente (Astorga, 2004).
- Uno de los puntos del plan de acción de la Cumbre de La Tierra, en La Conferencia Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, es mejorar la gestión del suministro de agua potable y lograr una distribución más equitativa de los recursos acuíferos. Se reconoce que es preciso contar con tecnologías innovadoras. Entre ellas, tecnologías locales mejoradas para aprovechar y proteger los recursos hídricos limitados. Los sistemas racionales de utilización del agua deben estar apoyados por medidas encaminadas a conservarla y reducir al mínimo el derroche (UN, 1998).

1.1.1 Situación del agua en Mesoamérica

En Mesoamérica llueve cuatro veces más que el promedio mundial de lluvia. Conforme a la clasificación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los países de la región cuentan con recursos hídricos suficientes y no debieran enfrentar problemas de abastecimiento, pues utilizan menos del 10% de los mismos (PACADIRH 2001, citado por Astorga, 2004). Sin embargo, la región presenta problemas de acceso al agua en la cantidad y calidad necesarias para la salud y el desarrollo. Esto ocurre, en parte, por la tendencia general de la población centroamericana, a asentarse en los sitios donde la disposición de los recursos hídricos es más escasa: aproximadamente el 70% de la población se encuentra en la vertiente del Pacífico, donde sólo escurre el 30% del caudal. Este hecho limita la producción, afecta la seguridad alimentaria y genera conflictos entre los usuarios (Astorga, 2004).

Centroamérica también presenta problemas relacionados a la distribución no equitativa del agua, contaminación de fuentes y sobre explotación (Astorga, 2004). Por otro lado, el istmo es una de las regiones más vulnerables a los desastres naturales en el mundo. Sus características climáticas, geomorfológicas, geográficas y socioeconómicas y la mala gestión ambiental, potencian el riesgo a los desastres naturales, principalmente de origen hídrico, como inundaciones, deslizamientos y sequías.

Esta situación se puso en evidencia cuando en 1998, el huracán Mitch pasó por Centroamérica, afectó a 3 millones de personas y causó pérdidas estimadas en US\$ 3,000 millones. Este desastre se vio agravado porque el uso de los recursos hídricos y de la tierra no había contemplado la vulnerabilidad de la región. Este hecho constituye una oportunidad para que la población tome conciencia de la necesidad de manejar adecuadamente estos recursos (SG-SICA, 1999).

Los retos de la gobernabilidad eficaz del agua, en los países de la región, son: evaluar características naturales de distribución temporal y espacial; balancear la oferta y la demanda; evaluar y mejorar la calidad del agua, proteger a la población de los riesgos ante eventos extremos; y reconocer la importancia de llegar a acuerdos en el caso de los recursos hídricos transfronterizos (Astorga, 2004).

En este sentido, los países centroamericanos se encuentran en diferentes etapas dentro del proceso institucional y en el desarrollo de planes nacionales de gestión hídrica (Astorga, 2004). En 1997, se decidió establecer un Plan de Acción Centroamericano para el Desarrollo Integrado de los Recursos Hídricos (PACADIRH), mediante un proceso participativo. Con esta iniciativa se busca llevar a Centroamérica hacia una gestión integrada de recursos hídricos y lograr: mayor eficiencia en el uso de recursos humanos y económicos; reducción de los costos generados con la suma de acciones individuales; compartir experiencias aprendidas; y posibilitar la coordinación horizontal (Astorga, 2004).

1.1.2 Recursos hídricos en Honduras

Honduras, como el resto de los países centroamericanos, cuenta con un potencial hídrico importante; ventaja que debe a ser un país montañoso, ubicado entre dos océanos. El capital hídrico anual de Honduras es de 15.211 m³ per cápita, proveniente de una escorrentía media anual de 92.813 millones de m³ y su extracción para usos domésticos, industriales y agrícolas es de 1,6%. Hidrográficamente, el territorio hondureño se ha dividido en 19 cuencas principales; entre las que se incluyen las transnacionales que comparte con Guatemala, El Salvador y Nicaragua. Las cuencas mayores desaguan hacia el Mar Caribe; y hacia el Golfo de Fonseca, los ríos Nacaome y Choluteca, éste último, que incluye en su cuenca el área de estudio, tiene con 7.580 km² y un caudal medio anual de 84 m³/s. Las cuencas que desaguan hacia el Pacífico son las de mayor degradación y menor riqueza hídrica, y representan el 12,5% del territorio nacional (SERNA, 2000).

Sin embargo, este potencial hídrico ha sido subutilizado porque Honduras carece de una red de captación, almacenamiento y distribución apropiada, que reduzca el déficit de agua estacional a nivel nacional. La disponibilidad limitada de agua se debe a la insuficiente infraestructura y también a la escasez de agua saludable provocada por deforestación, erosión, contaminación y construcción inadecuada de carreteras. Por otro lado, el suministro de agua que usa procedimientos de desinfección, beneficia al 51% de la población urbana y sólo al 14% de la población rural (Sistema de las Naciones Unidas en Honduras, 2003).

En muchos lugares de Honduras, las microcuencas son la principal fuente de agua; y por eso, es de suma importancia cuidarlas, para proteger la calidad y cantidad de agua. Existen múltiples problemas relacionados con el manejo de las microcuencas; los cuales tienen que ver con la administración de los recursos naturales como bosque, suelo, fauna, minería y agua (Sistema de las Naciones Unidas en Honduras, 2003). El marco operativo se caracteriza por: baja eficiencia del uso del agua y agotamiento de fuentes; falta de regulación hídrica ambiental; bajo nivel de esfuerzo tecnológico para el uso múltiple, retención y almacenamiento del agua y limitadas acciones para controlar la contaminación y conservar las cuencas (CATIE, 2002). La problemática del agua tiene implicaciones en la salud, la producción y economía (Sistema de las Naciones Unidas en Honduras, 2003).

En el escenario descrito, y a raíz de la vulnerabilidad hídrica que queda al descubierto, luego del paso del Huracán Mitch por territorio centroamericano, surge el programa FOCUENCAS. Este programa es un convenio entre el CATIE y ASDI, teniendo énfasis en realizar acciones para fortalecer la capacidad de gestión local en manejo de cuencas y prevención de desastres naturales (FOCUENCAS, 2003). El programa se implementó en Honduras y Nicaragua, los países más afectados. En cada país se desarrolló un proceso para seleccionar las áreas de intervención. En Honduras se ubicó la acción de FOCUENCAS en la Subcuenca del Río Copán y la Microcuenca del Río La Soledad. Esta última pertenece a la Subcuenca del Río Yeguaré y a la Cuenca del Río Choluteca, una de las cuencas hondureñas más afectadas durante el paso del Huracán Mitch.

1.1.3 Recursos hídricos de la Microcuenca del Río La Soledad

La Microcuenca del Río La Soledad tiene la ventaja que nueve de las corrientes que la conforman se encuentran ubicadas dentro del territorio del Parque Nacional de La Tigra, protegido por el Decreto ley No. 976 del año de 1980; hecho que facilita actividades de protección de dichas fuentes a los actores locales. Las corrientes que se encuentran dentro del territorio del parque La Tigra son: La Cartuchera, La Chanchera, Las Golondrinas, El Matasano, Los Jutes, Quebrada Agua Amarilla, La Mina, Escóbales y el Encinal. Están fuera del territorio: El Suizo, Las Martitas, San Francisco, Quebrada de Bellos, Las Escaleras, Buena Vista, El Mozotillal, Chinacla y Las Manzanas, entre otras (Espinal, 2004). El Cuadro 1 muestra las principales fuentes de abastecimiento de agua de uso doméstico para la microcuenca.

El deterioro de las zonas de recarga, fuente del agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, obedece a los conflictos de sobre uso del suelo, generalmente en laderas expuestas a

la erosión por malas prácticas agrícolas e incremento de asentamientos humanos. Aunque la degradación en la Microcuenca del Río La Soledad no es aún muy alarmante, sugiere la implementación de instrumentos y mecanismos que orienten el actuar de las autoridades locales, organizaciones y grupos interesados, para revertir los actuales indicios de degradación (Espinal, 2004).

Cuadro 1. Estado físico y uso del suelo en zonas de recarga de las principales fuentes de agua de uso doméstico en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Microcuenca	Estado Físico	Uso de la Zona de Recarga
El Suizo	Algunos Sectores Deforestados	Agricultura
Las Martitas	Algunos Sectores Deforestados	Agricultura (Asentamientos humanos, y establecimiento de fincas de café)
La Cartuchera	Regular estado	Agricultura
San Francisco	Bueno	Extracción de Leña (Cerca de la fuente de agua se siembra fincas de café)
La Chanchera	Sectores deforestados	Agricultura (Cultivo de café, hortalizas, plátanos, Papa)
Las Golondrinas	Sectores deforestados	Área protegida
Quebrada Agua Amarilla	Deforestadas	Área protegida y zona urbana
Buena Vista	Bueno	Agricultura

Fuente: Fundación Vida (2004).

Asimismo, muchas de las fuentes de agua, ubicadas dentro del parque nacional La Tigra, también están bajo la presión de los pobladores; quienes ocasionan el avance de la frontera agrícola sobre las zonas de recarga y usan el bosque como leña. Por consiguiente, las fuentes de agua para uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad están siendo degradadas; hecho que amerita la toma de decisiones de los actores locales y de las autoridades municipales (Espinal, 2004).

1.1.4 Planteamiento del problema

La Microcuenca del Río La Soledad se ubica en el departamento de Francisco Morazán. La mayor parte del área de la misma, pertenece al municipio de Valle de Ángeles, aledaño al Distrito Central. Esta microcuenca cuenta con un paisaje hermoso, fácil acceso a Tegucigalpa y la visita frecuente de turistas nacionales y extranjeros. Todos estos factores le dan ventaja comparativa y oportunidad de crecimiento económico, especialmente ecoturístico. En contraste, en esta zona se tiene un índice de desarrollo humano muy bajo (0,675), aún menor que el promedio departamental (Espinal, 2004). Además, a pesar de ser considerada una microcuenca productora de agua, porque más del 64%

de su territorio es parte del Parque Nacional La Tigra (Rivera, 2002), existen conflictos por el aprovechamiento del agua de uso doméstico entre los diferentes prestadores del servicio.

Algunos de los problemas ilustrados en el

Cuadro 2 están relacionados directamente con el tema del agua. En la primera línea se menciona la contaminación en las quebradas San Francisco y Agua Amarilla. En algunos casos el deterioro cualitativo es tan severo, que la fuente ya no puede ser utilizada para abastecimiento de agua de uso doméstico. En consecuencia, los pobladores suplen su necesidad, con fuentes asignadas a otras comunidades. Por tanto, el problema de la calidad también reduce la oferta real del agua para uso doméstico de los usuarios de la microcuenca.

Cuadro 2. Principales problemas biofísicos existentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.

Problemas	Causas u orígenes	Limitantes y restricciones	Efectos o consecuencias	Soluciones
Contaminación de las quebradas San Francisco y Agua Amarilla	Quebrada San Francisco: Vertido de aguas servidas en su cauce. Quebrada Agua Amarilla: después del MITCH la fuente quedó en contacto con el subsuelo que es rico en metales pesados, incluido Cadmio.	Hay 54 viviendas con derecho a permanecer en el sitio. Zona de recarga intervenida por crecimiento urbano.	En 2001: 900 unidades fecales/ml de agua; en 2005: demasiadas para contarlas. Problemas de daños a la salud por exposición y consumo de metales pesados.	Construir una planta potabilizadora para el casco urbano del pueblo; establecer un sistema de monitoreo de la calidad del agua; establecer acuerdos municipales que protejan las zonas de recarga; cambio de fuente de agua para Cerro Grande.
Ambientales	Incendios, presión urbanística, falta de tenencia de dominio pleno, terrenos para el agricultura y pastoreo de ganado, explotación de bosque y materiales pétreos, restricción en actividades económicas para proteger el parque nacional, actividades agrícolas con uso intensivo de plaguicidas.	Los dueños de propiedad temen perder la tierra si dejan la cobertura forestal. La ley forestal del estado dice, la tierra es del hombre pero el bosque del estado entonces el hombre elimina el bosque.	Disminución de la zona de recarga de acuíferos; aumento de la vulnerabilidad a deslizamiento del suelo por la deforestación y explotación de materiales pétreos.	Establecer un plan de ordenamiento territorial, aplicar lo que manda la ley contra los delitos ambientales, Fortalecer la unidad de catastro municipal en el manejo del OT Dar a conocer a la corporación municipal de la problemática actual.

Hídricos	Falta de atención al otorgar permisos de legalización de tierras y construcción en zonas de recarga. Deforestación, incendios, agricultura tradicional con uso de agroquímicos.	Hace falta dinero para indemnizar y para sanear las microcuencas menores. incendios forestales recurrentes en algunos sitios	Deslizamientos de tierra, aumento de caudales pico de los ríos y quebradas, alta vulnerabilidad a desastres naturales.	Establecer un OT cuanto antes, así como un sistema de tasas y multas para los infractores.
----------	---	--	--	--

Fuente: FOCUENCAS II (2005).

Por otro lado, los sistemas usados para distribuir agua en la Microcuenca del Río La Soledad son obsoletos. Es así, que el tiempo de operación de los acueductos va desde 20 hasta 50 años. Por lo tanto, se puede considerar que estos sistemas ya sobrepasaron su vida útil; pues la demanda de los mismos ha crecido por el aumento de poblacional de las comunidades servidas. Además, los problemas de contaminación de las fuentes y disminución de caudales en época seca reducen la oferta de agua disponible para una cantidad de usuarios cada vez mayor.

No obstante esta situación, los acueductos no han sido readecuados para servir a la demanda actual. Las organizaciones que administran el agua no tienen capacidad técnica ni administrativa, para hacer los cambios necesarios, a fin de satisfacer las necesidades de la población actual; ni tampoco, para proveer soluciones rápidas en caso de emergencia.

Pero la problemática general del manejo del recurso hídrico va más allá, pues la gestión eficiente y equitativa, que se busca, tiene muchas limitaciones; entre ellas se puede mencionar: falta de infraestructura adecuada; inadecuado nivel técnico en el diseño de las redes hidráulicas, carencia de conciencia de los actores respecto a la relación entre el uso de suelo y la calidad y cantidad de agua disponible; escasez de datos de cantidad y calidad del agua en diferentes épocas; falta de coordinación entre los diferentes organismos involucrados en esta temática; y un marco institucional no adecuado, como ya ha sido mencionado.

1.1.5 Justificación e importancia de la investigación

El agua producida por la Microcuenca del Río La Soledad es aprovechada por diferentes usuarios, tanto dentro como fuera de la misma. Dentro de la microcuenca, los usuarios predominantes son los acueductos destinados al servicio de agua de uso doméstico, administrados por tres diferentes tipos de organizaciones: el SANAA, las juntas de aguas y la Alcaldía Municipal (Espinal, 2004). Entre los usuarios también se puede encontrar algunos sistemas de riego, que sirven agua a productores de

hortalizas y granos. Además, el agua de uno de los afluentes tiene un fin turístico, a través del Parque recreativo El Obrero. Es así, que los tipos principales de aprovechamiento, en esta zona, son: agua de uso doméstico y sistemas de riego. Y por otro lado, las actividades económicas más importantes son y el turismo y la agricultura, ambas muy relacionadas a la accesibilidad al agua como insumo básico.

Otro aspecto a considerar es que la Microcuenca del Río La Soledad está ubicada en la parte alta de la Subcuenca del Río Yeguaré, y de la Cuenca del Río Choluteca. Por lo tanto, el tipo de manejo de esta zona tendrá impacto importante en esas áreas. En este sentido se debe considerar que la Subcuenca del Río Yeguaré tiene un importante uso agrícola, que depende, en parte, del agua del Río La Soledad; y que la Cuenca del Río Choluteca es una de las cuencas con mayores problemas de inundaciones, aridez, contaminación y escasez de agua en Honduras.

Por otro lado, la Microcuenca del Río La Soledad también exporta agua potable a otras microcuencas vecinas: algunos habitantes de la aldea Las Cañadas, del municipio de Valle de Ángeles, sirve agua potable al 30% de la población del Municipio del Distrito Central, y también al municipio de Santa Lucía, Villa de San Francisco y Morocelí (Fundación Vida, 2003). En conclusión, esta microcuenca es de vital importancia para áreas sensibles dentro del ámbito nacional, desde puntos de vista sociales, económicos y ambientales.

Es por esto que vale la pena revisar la eficiencia en el aprovechamiento del agua, pues éste es uno de los criterios que se desprende del Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Entre los beneficios está reducir los costos por el servicio de agua y que un número mayor de usuarios tengan acceso a agua de buena calidad, combinando el aprovechamiento con la conservación. También se pretende que el sistema de aprovechamiento del recurso hídrico sea sostenible y reducir los conflictos por aprovechamiento de este recurso, ya que el acceso al agua segura significa desarrollo.

En este contexto, es importante conocer los sistemas organizativos y económicos que controlan el aprovechamiento del agua de uso doméstico en esta región y determinar cuáles son los sistemas más eficientes. Además, es importante conocer la percepción de los usuarios respecto al servicio que reciben, pues sin su participación y sin concertación entre todos los actores, no se puede alcanzar las metas de manejo sostenible del recurso hídrico que se pretende obtener.

También debe conocerse los límites naturales para el aprovechamiento, oferta del recurso, asignación del agua y la cantidad y tipo de usuarios, para poder maximizar los beneficios de manera

sostenible. Asimismo, se justifica analizar los sistemas ingenieriles de transporte del agua y corregir las eventuales deficiencias de análisis y diseño. El abastecimiento hídrico óptimo, desde las perspectivas económica, social y técnica, no se puede lograr sin el uso de herramientas modernas de modelación que permitan evaluar adecuadamente la elevada complejidad técnica de las redes hidráulicas.

1.2 Objetivos del estudio

1.2.1 Objetivo general

Analizar la eficiencia en el manejo de los recursos hídricos en la Microcuenca del Río La Soledad, con énfasis en la problemática del servicio de agua de uso doméstico, desde el punto de vista biofísico y socioeconómico, y proponer estrategias de solución.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar y seleccionar las principales quebradas de la microcuenca, a partir del aprovechamiento que la población local hace de ellas, e identificar el uso predominante que se les da actualmente.
2. Identificar y describir la oferta y demanda de agua de uso doméstico en las quebradas seleccionadas.
3. Evaluar los sistemas de conducción y almacenamiento de agua de uso doméstico y seleccionar un acueducto para analizar su conducta hidráulica. En caso de detectarse deficiencias, rediseñar el sistema.
4. Analizar los aspectos socioambientales y socioeconómicos del sistema de abastecimiento de agua de uso doméstico y el desempeño de los diferentes prestadores de este servicio.
5. Proponer estrategias de manejo de los sistemas de abastecimiento de agua de uso doméstico.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

Es necesario administrar el agua cuando la demanda es más grande que la oferta; para producir un mayor bienestar social, por cantidad de agua de una manera equitativa, sin comprometer la conservación de los ecosistemas vitales; para salvaguardar su calidad; y porque es insumo básico para producir comida y en diferentes actividades económicas (Astorga, 2004). La clasificación y priorización de los usos del agua es el proceso por medio del cual se establece un orden jerárquico de adjudicación del uso de recurso (Ferrera *et al.* 2005).

Alrededor del mundo, el manejo de recursos hídricos presenta singulares retos para los seres humanos (Ferrera *et al.* 2005). Dichos retos han sido enfrentados mediante guías y normas de uso de los recursos, que han tenido como fin principal el desarrollo económico de las naciones y el bienestar social. Tales políticas son cursos definidos de acción, seleccionados entre varias alternativas y bajo condiciones dadas, con el propósito de guiar y determinar decisiones presentes y futuras. Debido a las características del agua, las políticas hídricas pueden ser parte de muchos instrumentos creados por el gobierno para su funcionalidad y con el propósito de beneficiar de manera equitativa a sus pobladores (Ferrera *et al.* 2005).

La noción general, de lo que es una política de agua, ha cambiado mucho durante los últimos treinta años (Figura 1). En el pasado, éstas eran un conjunto de guías que buscaban de manera casi exclusiva el crecimiento económico de las sociedades. Tal enfoque llevó a los países desarrollados a la construcción de proyectos, con el objetivo de aumentar la generación de energía, facilitar el acceso a recursos, aumentar la inversión e incrementar la producción (Hunter, Salzman y Zaelke, 1998 citado por Ferrera *et al.* 2005). Posteriormente, países en vías de desarrollo, también dirigieron sus esfuerzos al desarrollo de los recursos hídricos bajo el mismo enfoque, con el propósito de lograr un crecimiento macroeconómico (Ferrera *et al.* 2005).

Sin embargo, gracias a la evaluación a nivel global de la situación de los recursos hídricos, desde finales de la década del 70 ha existido una transformación en las políticas hídricas, las cuales ahora gozan de un enfoque más socio ambiental que considera la necesidad de poner los recursos a beneficio de los sectores sociales y productivos de manera sostenible. El aprendizaje constante, basado en este enfoque, ha llegado a inculcar una forma más apropiada de administración del agua; la cual es

llamada Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Este concepto reconoce la integración sectorial; la participación activa de la sociedad en la gestión de los recursos; y sobre todo, reconoce a la cuenca como la unidad administrativa del agua (Ferrera *et al.* 2005).

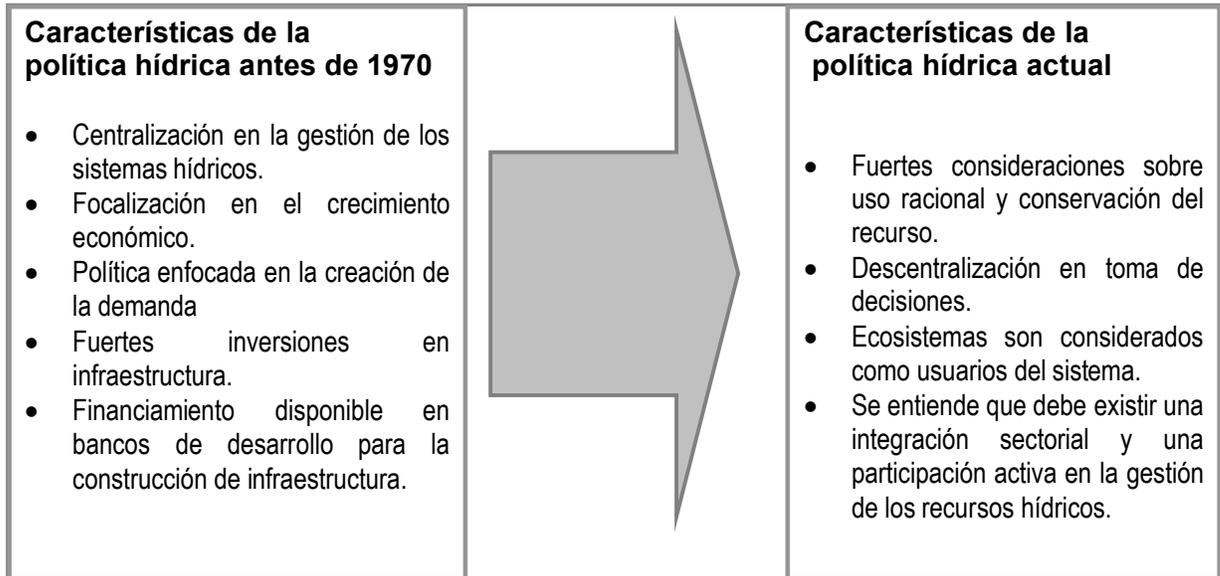


Figura 1. Evolución de las políticas hídricas en el mundo.

Fuente: Ferrera *et al.* (2005).

En la actualidad, se realizan esfuerzos alrededor del mundo para diseñar políticas nacionales orientadas a la Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH); que aseguren un enfoque de planificación comprensivo, una distribución racional y equitativa de los recursos y garantizar las posibilidades de participación de los habitantes en el diseño de tales instrumentos (Ferrera *et al.* 2005). Existe también el interés de que los marcos políticos reconozcan una perspectiva a largo plazo en la que consideren que el agua es un recurso finito y vulnerable y, además, que se aprecie de manera unitaria el ciclo hidrológico. Estas políticas también tratan de establecer los roles de comportamiento a todos los niveles de gobierno y usuarios, así como de los parámetros de monitoreo a usarse en la planificación y manejo del recurso (Benveniste, 1989 citado por Ferrera *et al.* 2005).

De manera primordial, la política hídrica supone la confrontación de los retos que han de ser superados por el bien de las sociedades. Los retos a ser considerados en un Marco Nacional de Política Hídrica, son aquellos relacionados con la demanda, el recurso físico y la incertidumbre sobre el futuro. La demanda se refiere de manera directa a la cantidad y calidad de recurso que debe de ser proveído

para satisfacer las necesidades de la región. En este sentido, es necesaria la determinación de las demandas presentes y futuras de agua por parte de las distintas poblaciones, una estimación de las necesidades de agua de los distintos sectores productivos del país, y una estimación de la cantidad necesaria de agua para preservar los ecosistemas existentes (Ferrera *et al.* 2005).

Por otro lado, el reto referente al recurso físico está relacionado con el entendimiento de los distintos sistemas hídricos que comprenden el territorio; así como de las estimaciones pertinentes de la cantidad de agua que es posible ofertar. Finalmente, el reto de la incertidumbre acerca del futuro se refiere al limitado conocimiento sobre las situaciones futuras tanto de la demanda como de la oferta disponible de los recursos hídricos. Son factores de incertidumbre la ocurrencia de significativos fenómenos naturales (por ejemplo cambio climático) y cambios en la economía local y global (Ferrera *et al.* 2005).

Tales desafíos son los que caracterizan el diseño de una política nacional, considerando que la oferta, la demanda y la incertidumbre sobre el futuro es exclusiva de cada lugar, no pudiendo así diseñarse una política que responda de manera favorable a las necesidades de todas los países o cuencas del mundo (Ferrera *et al.* 2005).

La GIRH es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra 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 (Agarwal *et al.* 2000).

2.1.1 Principios de la GIRH

El agua que es esencial para la vida, presenta entre sus características, una excepcional facilidad de cambio de estado físico, alta movilidad, interconexión entre los distintos “tipos” de recurso, así como una interrelación y causalidad muy fuerte entre ella y la naturaleza. Del concepto que se tenga del agua y de la consideración de los elementos mencionados, depende el marco legal que, respecto a su administración, se haga en determinado país (Ferrera *et al.* 2005).

El Estado de Honduras, a través del reconocimiento de la Agenda 21, aprobada en la “Reunión Cumbre de la Tierra de 1992”, también ha aceptado los principios fundamentales para la gestión integrada del agua, conocidos comúnmente como los “Principios de Dublín”. En el contenido de tales principios rectores de la gestión del agua, se considera a ésta un recurso finito, vulnerable y esencial

para la vida, el desarrollo y el medio ambiente. De aquí se deriva el concepto de integralidad del agua, el cual indica que en la gestión de los recursos hídricos, debe de observarse en todo momento la unidad física del ciclo hidrológico y la conservación de todos los medios para que tal ciclo se cumpla (Ferrera *et al.* 2005).

2.1.2 Criterios y elementos importantes para la GIRH

La GIRH reconoce la necesidad del manejo integral de los recursos hídricos, aplicando tres criterios básicos: equidad social, eficiencia económica y sostenibilidad ecológica y medioambiental. La equidad social se refiere al derecho de todas las personas al acceso al agua, en la cantidad y calidad necesarias para la vida, salud y desarrollo. La eficiencia económica significa que, dada la escasez de los recursos financieros, la naturaleza vulnerable y finita del agua como recurso y su creciente demanda, el agua debe ser utilizada con la máxima eficiencia posible. La sostenibilidad ecológica y medioambiental implica que el uso del recurso en el presente, debe ser manejado de manera que no reduzca su rol en la sustentabilidad de la vida, ni comprometa el uso del recurso por parte de las futuras generaciones (Agarwal *et. al.* 2000).

El marco y enfoque de la GIRH reconocen que los elementos complementarios de un sistema de manejo de recursos de agua efectivo debieran desarrollarse y fortalecerse concurrentemente. Estos elementos complementarios incluyen:

- *El ambiente propicio*, el marco general de las políticas nacionales, legislaciones y regulaciones y la información del manejo de los recursos de agua para los interesados.
- *Los roles institucionales* y las funciones de los varios niveles administrativo y los interesados.
- *Los instrumentos de manejo*, incluyendo instrumentos operacionales para una regulación efectiva, monitoreo y cumplimiento que permitan a los gestores de política realizar decisiones acertadas entre distintas alternativas de acción. Estas decisiones deben basarse en políticas acordadas, recursos disponibles, impactos medioambientales y consecuencias sociales y económicas (Agarwal *et. al.* 2000).

2.1.3 La gestión del recurso hídrico dentro del manejo de cuencas hidrográficas

La cuenca, independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada en la gestión integrada de recursos hídricos (Dourojeanni, 2002). Un enfoque integrado de gestión de tierra y agua tiene como punto de partida el ciclo hidrológico que transporta el agua entre compartimentos aire, tierra, vegetación y fuentes superficiales y subterráneas. Como resultado, los desarrollos vinculados a los usos de la tierra y cubierta vegetal, influyen sobre la calidad del agua y su distribución física y deben ser considerados en el manejo y la planificación global de los recursos hídricos (Agarwal *et. al.* 2000). Otro aspecto es el hecho que el agua es un determinante clave del carácter y la salud de todos los ecosistemas, y por lo tanto, los requerimientos de calidad y cantidad de agua en la asignación global de los recursos disponibles de agua, deben ser tomados en cuenta.

La promoción de la gestión de las zonas de captación y las cuencas de los ríos es un reconocimiento de que éstas son unidades de planificación lógicas para la GIRH, desde la perspectiva de un sistema natural. El manejo de las zonas de captación y las cuencas es importante, como medio para integrar los temas del uso de la tierra y el agua y también son críticos en el manejo de la relación entre cantidad y calidad y entre los intereses de aguas arriba y aguas abajo (Agarwal *et. al.* 2000).

2.1.4 Manejo integrado de cuencas hidrográficas

Cuenca hidrográfica es el espacio de terreno que drena sus aguas hacia un punto determinado, y es limitado por la línea divisoria o parteaguas de las montañas, laderas y colinas, desarrollándose un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal el cual se integra al mar, lago, u otro río más grande. La cuenca hidrográfica como sistema dentro del medio ambiente, está compuesta por las interrelaciones entre los subsistemas social, económico, demográfico y biofísico (Jiménez, 2005).

El concepto moderno de manejo de cuencas plantea una definición que trata de representar las funciones socioambientales y los criterios de sostenibilidad de los recursos naturales, promoviendo demostrar, a nivel de campo, los beneficios del manejo de cuencas como una realidad concreta, pragmática y con resultados inmediatos. El manejo de cuencas requiere movilización social para crear continuidad y sostenimiento. Se conduce un énfasis en las interrelaciones de los recursos naturales y el hombre. El manejo de cuencas se define como “una ciencia o arte que trata de lograr el uso apropiado de los recursos naturales en función de las intervención humana y sus necesidades, propiciando al

mismo tiempo las sostenibilidad, la calidad de vida, el desarrollo y el equilibrio medioambiental” (Faustino y Jiménez, 2000).

Cuando el agua es un recurso limitado, la familia debe emplear un significativo tiempo y recursos para lograr el abastecimiento diario. El manejo de cuencas presenta alternativas de tratamiento, propiciando la regulación hídrica, intensificando la recarga de acuíferos, con variedades resistentes a la sequía, con uso eficiente del agua (riego, doméstico e industrial), también preparando a la población para que participe en el manejo de los desastres naturales asociados con el agua (Faustino, 2002).

La contaminación de aguas, en sus diferentes modalidades: química, física o bacteriológica, influye en las enfermedades de personas y animales. Este hecho genera costo adicional de tratamiento para garantizar una calidad adecuada para el consumo. Sin embargo, mediante el manejo de cuencas, con prácticas (racionalidad y alternativas orgánicas), educación ambiental, concientización y monitoreo se pueden minimizar los riesgos de la contaminación (Faustino, 2002).

En general, en el manejo de cuencas tropicales existen muchas externalidades que se pueden generar, entre las más importantes están la cantidad y calidad del agua. Y uno de los factores claves para lograr un ciclo hidrológico en equilibrio con las necesidades humanas y su respectiva base natural, es la condición de la vegetación en la cuenca. En este sentido, autores e investigaciones demuestran que la vegetación juega un papel importante en muchos elementos del ciclo hidrológico y esencialmente en la infiltración, escorrentía y protección de los suelos de las cuencas (Faustino, 2002).

2.2 Gestión de recursos hídricos en Honduras

En la parte institucional, el marco jurídico de los recursos hídricos en Honduras se está reestructurando. Se pretende fomentar la participación de los usuarios, especialmente a través de un tipo de organización que considere la cuenca como la unidad de gestión del recurso. Asimismo, se iniciará la administración integral de las cuencas hidrográficas con mayores problemas, tal es el caso del Río Choluteca. En cuanto al marco legal, existe una propuesta de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente para actualizar la Ley de Aguas, la cual marcará una moderna base legal, técnica e institucional para el manejo integrado de los recursos hídricos (GWP, 2001).

Por otro lado, el Artículo No. 100 de la Ley General del Ambiente de 1993, crea la Red Nacional de Cuencas Hidrográficas (RENACH), la cual tiene como objetivo coordinar la administración de los recursos hídricos, mejorar su calidad y cantidad, con el propósito de garantizar el uso permanente del recurso a la población (Ferrera *et al.* 2005).

Los roles de los entes de cuencas son fortalecidos por el Proyecto de Ley General de Aguas Nacionales la cual en su contenido cita entre otras responsabilidades las siguientes:

- La coordinación de la administración de los recursos hídricos
- Aprobación de financiamientos para la cuenca hidrográfica
- Evaluación de la ejecución del Plan Hídrico de la Cuenca
- Establecimiento de criterios y aprobación de costos de obras de aprovechamiento múltiple previstas en la cuenca (Ferrera *et al.* 2005).

A nivel local se ha desarrollado, en los municipios, instancias conocidas como Juntas de Agua, que se ocupan de la construcción, administración, mantenimiento y operación de redes de distribución de agua potable. Con la aprobación de la Ley de Municipalidades, en 1990, se faculta a estas instituciones a ejecutar las funciones descritas; y además, a la construcción y mantenimiento de alcantarillado para aguas negras y alcantarillado pluvial. Se estima que en Honduras existen, hoy, alrededor de 4000 Juntas de Agua. Además, la vigencia de la Ley de Municipalidades brinda elementos básicos para la descentralización del manejo del agua; proceso que ha estimulado una mayor participación de gobiernos locales y Juntas de Agua, en la gestión de los servicios públicos de agua y manejo de recursos hídricos en general (Sistema de las Naciones Unidas en Honduras, 2003).

En resumen, en Honduras existen escenarios de planificación tanto a nivel de cuenca como a nivel de municipio. Aún cuando la planificación debe ser complementaria tomando en consideración la autonomía municipal, no se vislumbra en el actual marco político-legal una armonización eficiente entre los planes hidrológicos a nivel de cuenca y los planes municipales de ordenamiento territorial. Debido al proceso de descentralización y de fortalecimiento de municipalidades es posible que en el futuro cercano se manifiesten dificultades en cuanto a la ejecución de planes efectivos de manejo de recursos debido a la limitada armonización antes mencionada (Ferrera *et al.* 2005).

2.3 Eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos

La forma en que los usuarios aprovechan el agua tiene repercusiones en el derecho que otros usuarios tienen sobre el mismo recurso, tanto en términos de calidad como de cantidad. Considerando lo anterior, el aprovechamiento de los recursos debe de realizarse bajo principios de racionalidad con el propósito de evitar la generación de externalidades negativas que afecten los derechos de los otros usuarios, así como el medio natural en la que el agua se encuentra (Ferrera *et al.* 2005).

La asignación de recursos hídricos por la administración pública, por lo general da lugar a importantes ineficiencias, desperdicio de agua, prestación de servicios deficientes, abastecimiento limitado de agua a los pobres e incapacidad de proteger el ambiente. Cuando el agua escasea de manera creciente, ya no es una opción factible continuar con la política tradicional de aumentar la oferta. Se requieren conceptos económicos operativos e instrumentos que puedan contribuir a la gestión, limitando la demanda de agua. En este sentido, el uso eficiente de agua se convierte en un recurso por sí mismo (GWP, 2000).

Al gestionarse eficientemente el agua en el sistema de abastecimiento para consumo humano, se obtienen impactos positivos sobre la producción de aguas residuales, ya que los caudales disminuyen al tiempo que se incrementa la concentración de los contaminantes. Este hecho presenta ventajas importantes para el tratamiento biológico de aguas residuales; puesto que se incrementa la cantidad de sustrato por unidad de volumen; con lo cual, los sistemas biológicos mejoran sus tasas de degradación, a la vez que se economiza espacio y volumen de tratamiento al requerirse sistemas más pequeños (Sánchez y Sánchez, 2004).

Dickinson (2003), citado por Sánchez y Sánchez (2004), dice que el uso eficiente del agua trae consigo múltiples beneficios para los diferentes sectores usuarios del agua: ahorro por pago de consumo, ahorros en el desarrollo y construcción de nueva infraestructura, y un mejor manejo de sequías y cortes de suministro.

Las ciudades, los centros urbanos y rurales afrontan diversos problemas relacionados con los recursos de agua tales como: el agotamiento de sus fuentes hídricas, la contaminación de ríos y acuíferos, altos costos de prestación de los servicios por consumo de energía y las distancias a fuentes seguras, y los conflictos entre diferentes usuarios. A pesar de todas estas dificultades, se presentan fugas y pérdidas de agua, se utilizan tecnologías que usan mucha agua, no se reutiliza el recurso, los

sistemas de cobro y tarifas son deficientes y algunas veces no reflejan el costo real de la prestación del servicio, existen conexiones clandestinas e ilegales. Por otra parte se detecta una limitada conciencia de esta problemática por parte de los usuarios (Sánchez y Sánchez, 2004).

En muchos casos se han identificado graves problemas de calidad en el diseño y construcción de los sistemas de abastecimiento de agua rurales y periurbanos, con grandes presiones de servicio, pérdidas físicas de agua y despilfarro por parte de los usuarios, debido a la falta de micro-medición y al no cobro del servicio. Al superarse estas limitaciones, se genera una fuente potencial, que a través de prácticas de uso eficiente de agua permitiría destinar parte del agua ahorrada a actividades productivas, sin la necesidad de grandes inversiones en obras físicas (Sánchez *et al.* 2003 citado por Sánchez y Sánchez, 2004).

Balance del sistema, detección y reparación de fugas: Para la gran mayoría de los sistemas de distribución de agua, las pérdidas son algo que no puede eliminarse completamente. Las pérdidas en los sistemas de agua potable se deben principalmente a las fugas en las redes y tomas domiciliarias, y a la imprecisión de la medición o a la ausencia de ella. En otras palabras, a la mala estimación de los consumos, a las tomas clandestinas y al agua no contabilizada que se usa en los servicios municipales, como el riego de áreas verdes o la extinción de incendios (Sánchez y Sánchez, 2004).

Gestión de la presión: De acuerdo con Farley y Trow (2003), citado por Sánchez y Sánchez (2004), la relación entre la presión y las pérdidas en el sistema puede ser aproximadamente de uno a uno. Esto quiere decir que si la presión en un sistema se reduce al 50%, las pérdidas también disminuirán en un valor cercano al 50%. También pueden reducirse las pérdidas de agua por fugas y daños en las tuberías o juntas. Por estas razones, es muy importante contar con un programa de gestión de presiones como parte fundamental de los programas de uso eficiente del agua. Esto puede realizarse a través de la planificación y ubicación estratégica de los tanques rompe cargas y válvulas reductoras de presión. Otra de las ventajas que tiene la gestión de las zonas de presión es que ayuda a racionalizar el consumo de los usuarios. Estas medidas tienen su efecto en el valor promedio de la demanda. Para lograr un adecuado control de la presión es necesario diseñar y operar los acueductos con programas especializados de cómputo.

2.3.1 El sistema de abastecimiento de agua de uso doméstico

Se presenta una breve descripción de los elementos principales, encontrados en los acueductos rurales destinados al abastecimiento de agua de uso doméstico, en la Microcuenca del Río La Soledad.

2.3.1.1 Sistema de captación

Son las estructuras diseñadas para el aprovechamiento del flujo de agua, durante todo el año. El lugar escogido, para construir la obra de captación, deberá reunir condiciones tales como: tener una elevación suficiente para asegurar buenas presiones en la red, aguas arriba del lugar escogido no existirá ninguna forma de contaminación, el lugar escogido deberá estar bien reforestado y en un tramo recto de la quebrada evitando las curvas y con pendiente suave. Los taludes a ambos lados del río no deben ser verticales para evitar los derrumbes. Se deben seguir las recomendaciones descritas a fin de ofrecer seguridad a la estructura y a la calidad del agua. Además, se le dará preferencia a los manantiales, ya que éstos garantizan una mejor calidad del agua (SANAA, 2003).

De acuerdo con la fuente escogida, se construirá la obra de toma que más se adapte a las necesidades de la comunidad. Básicamente, se utilizan dos tipos de obras de toma: cajas colectoras y presas. Las cajas colectoras son recipientes cerrados, e impermeables contruidos de ladrillos, concreto y piedra; se utilizan para la recolección de agua de manantiales mediante el uso de un canal, que lleva el flujo hasta la caja y son diseñadas de acuerdo con las necesidades de almacenaje de la comunidad. Las presas son obras para la captación en quebradas; generalmente están asociadas a una caja de toma, colocada bajo el vertedero de rebose. En el diseño de una presa intervienen varios factores; entre ellos: la producción de agua de 1a fuente, ancho del cauce de la quebrada y las características del terreno (SANAA, 2003).

Un elemento de uso frecuente, en las obras de captación, es el desarenador. Este elemento tiene por objeto eliminar, por sedimentación, las partículas mayores que 0,1 mm de diámetro. El desarenador alarga la vida útil del sistema; ya que con la retención de estas partículas, el desgaste en la tubería, válvulas y grifos, es menor. Además, para evitar que estas partículas erosionen la tubería, de la línea de conducción, es recomendable colocar el desarenador lo más próximo a la obra de toma (SANAA, 2003).

2.3.1.2 La línea de conducción

Es la línea de tubería que conduce el agua de la obra de toma hasta el tanque. En los acueductos de la Microcuenca del Río La Soledad, la línea de conducción funciona por gravedad. Este elemento se diseña para un caudal mínimo igual al consumo máximo diario. Los conductos deben ser cerrados y trabajar a presión. También la línea de conducción debe llevar todas las obras necesarias para su protección, como son: válvulas de limpieza y aire, anclajes, tanques rompecarga o válvulas reductoras de presión (SANAA, 2003).

2.3.1.3 Tanque de almacenamiento

El 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 ésta, cuando requiera efectuar reparaciones en la obra de toma o la línea de conducción (SANAA, 2003).

2.3.1.4 Línea de distribución

Se denomina línea de distribución al componente del sistema que une al tanque de almacenamiento con la red de distribución (SANAA, 2003).

2.3.1.5 La red de distribución

La red de distribución es la parte del sistema, cuya función es entregar a la población un suministro eficiente y continuo de agua, en cantidad y presión adecuada durante todo el período de diseño (SANAA, 2003).

2.3.1.6 Población

La población, a beneficiarse de cualquier proyecto de acueducto rural, deberá ser aquella resultante del levantamiento topográfico; en la mayoría de los casos, también se aplica una encuesta domiciliaria. En el levantamiento topográfico se determina el número de casas; y en la encuesta, se establece el número de habitantes por vivienda. Cuando no se aplica encuesta, se puede calcular la población multiplicando el número de viviendas por seis, que es la densidad promedio de habitantes por vivienda, a nivel nacional (SANAA, 2003).

Conociendo los factores que condicionaron el crecimiento de la Comunidad es posible aplicar éstos para estimar su población futura. Para hacer tal cálculo se puede utilizar el método aritmético o el método geométrico, ambos indicados en el Anexo 1 (SANAA, 2003).

2.3.1.7 Período de diseño

Es el tiempo que la obra debe funcionar satisfactoriamente, depende de la magnitud y tipo de obra. Tomando en cuenta la vida útil de las tuberías, accesorios y otros materiales de construcción, se ha determinado un período de diseño máximo de 22 años, para todas las partes del sistema; a excepción de los equipos de bombeo, que se diseñan para 10 años (SANAA, 2003).

2.3.2 Análisis hidráulico

En el presente estudio, como parte de las acciones a tomar para mejorar la eficiencia en el abastecimiento de agua, se considera el uso de herramientas de investigación del comportamiento del agua a través de la redes de distribución. Esto tiene como propósito: primero, evaluar alguno de los acueductos usados en la Microcuenca del Río La Soledad, verificar si las condiciones de operación son adecuadas para un aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y satisfacción de los usuarios; segundo, en caso de encontrarse alguna deficiencia, señalarla y proponer un sistema más eficiente.

2.3.2.1 EPANET

Para realizar la evaluación del comportamiento hidráulico, del acueducto seleccionado, se usó la hidráulica de tubos a presión, aplicada con el programa de cómputo EPANET.

EPANET es un programa de cómputo para redes de tubos a presión que realiza simulaciones hidráulicas, determinando los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos y los niveles en los depósitos. EPANET puede igualmente realizar simulaciones de calidad de agua (concentración de las especies químicas presentes en el agua) en redes de suministro a presión. Una red hidráulica incluye tubos, uniones, bombas, válvulas, tanques y embalses. Las redes pueden ser ramificadas, anilladas o una combinación de ambas. Además, puede simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro (Rossman, 2002).

EPANET ha sido desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua (anteriormente División de Investigación del Agua Potable) del Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de

EEUU (USEPA). EPANET contiene un simulador hidráulico muy avanzado para el cual no existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse y las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning (Rossman, 2002).

EPANET se ha concebido como una herramienta de investigación para mejorar nuestro conocimiento sobre el avance y destino final de las diversas sustancias transportadas por el agua, mientras ésta discurre por la red de distribución. EPANET puede utilizarse también para mejorar las características de la red hidráulica. Entre los posibles usos pueden citarse: la localización y dimensionamiento de tuberías, bombas y válvulas, la minimización del gasto energético, la verificación de las condiciones de suministro en caso de incendio, la realización de estudios de vulnerabilidad de la red, o el entrenamiento de los operadores (Rossman, 2002).

2.3.2.2 Principios hidráulicos

Los principios hidráulicos usados en el cálculo de redes a presión son los siguientes:

Principio de Continuidad: el agua no se crea ni se destruye, por tanto en cada uno de los nodos se debe cumplir que la suma de los caudales entrantes (representados por Q) sea igual a la suma de los salientes: $Q_{entrada} - Q_{salida} = 0$

Principio de Bernoulli: El recorrido del agua dentro de un tubo siempre representa pérdida de energía: $H_A = H_B + \Delta H$

Debe cumplirse que en un circuito cerrado la suma de pérdidas de carga o energía (representadas por H_A y H_B) sea nula: $H_A - H_B = 0$

Las pérdidas de energía se deben a la fricción en la tubería y los accesorios o piezas especiales, tales como: reducciones, tes, codos, válvulas, etc. En general: $ht = hf + hx$

Donde:

hf = Pérdidas por fricción (m)

hx = Pérdidas locales debidas a accesorios (m)

Y la ecuación trinomio de Bernoulli, que representa la carga en cualquier punto de la red es la

siguiente: $H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$

En el análisis hidráulico debe resolverse, de forma simultánea, ecuaciones de continuidad de energía y ecuaciones de comportamiento hidráulico en las tuberías. En un punto cualquiera dentro de una red de agua la energía queda definida como:

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

E = Energía disponible (m)

Z = Carga de posición (m)

$\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión (m)

$\frac{V^2}{2g}$ = Carga de velocidad (m)

P = Presión en el tubo (kg/m²)

γ = Peso específico del agua (kg/m³)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

A partir de estas ecuaciones se derivan varias fórmulas usadas para el cálculo de redes a presión. Una de las más usadas, y también por el programa EPANET, es la fórmula de Hazen Williams:

$$hf = 10,674C^{-1,852} Q^{1,852} d^{-4,871} L$$

Si la red es **ramificada**, los cálculos son inmediatos, puesto que se conocen los caudales en cada uno de los tramos y por consiguiente las pérdidas, las presiones y las velocidades. Si la red es **mallada**, o de circuito cerrado, los cálculos son un más complejos puesto que no se conocen a priori los caudales en cada uno de los tramos. Se obtiene un sistema con más de una incógnita, por lo tanto la solución se obtiene después de varias interacciones. Este proceso es muy tedioso y si la red es grande o combinada se complica más aún. La mejor opción es utilizar un programa de cálculo de tuberías a presión, como por ejemplo EPANET.

EPANET usa para el cálculo de la red un método híbrido de nudos y mallas. El objetivo del diseño de acueductos es encontrar los diámetros de tuberías que la conduzcan bajo condiciones adecuadas de operación. Para lograrlo se debe introducir valores supuestos de diámetros y luego calcular la velocidad, la presión y caudales. Si los diámetros seleccionados no generan presiones, velocidades y caudales adecuados (dentro de los límites establecidos por especificaciones técnicas), entonces debe realizarse el cálculo con otros diámetros.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La Microcuenca del Río La Soledad se encuentra a 22 km de Tegucigalpa; geográficamente se localiza entre los 14° 08' 24" y 14° 11' 24" Latitud Norte, y entre los 87° 01' 12" y 87° 06' 00" Longitud Oeste, en el Departamento de Francisco Morazán, Honduras (Rivera, 2003). La mayor parte del territorio de la microcuenca se localiza dentro del municipio de Valle de Ángeles; y áreas menores de la misma, en los municipios de Santa Lucía y el Distrito Central.

La Microcuenca del Río La Soledad tiene un área de 4603 ha, pertenece a la subcuenca del Río Yeguaré, la que a su vez, es parte de la Cuenca del Río Choluteca, en la vertiente del Océano Pacífico (Cardona, 2003). Los límites de la microcuenca son: por el Norte, con las microcuencas: San Juan de Flores, El Palillal y San Francisco; por el Sur, con las microcuencas del Río Salado y del Río el Cobre (parte baja del Río Salado); por el Este, con la microcuenca Quebrada Grande; y por el Oeste, con la microcuenca del Río Chiquito (Tábora, 2002).

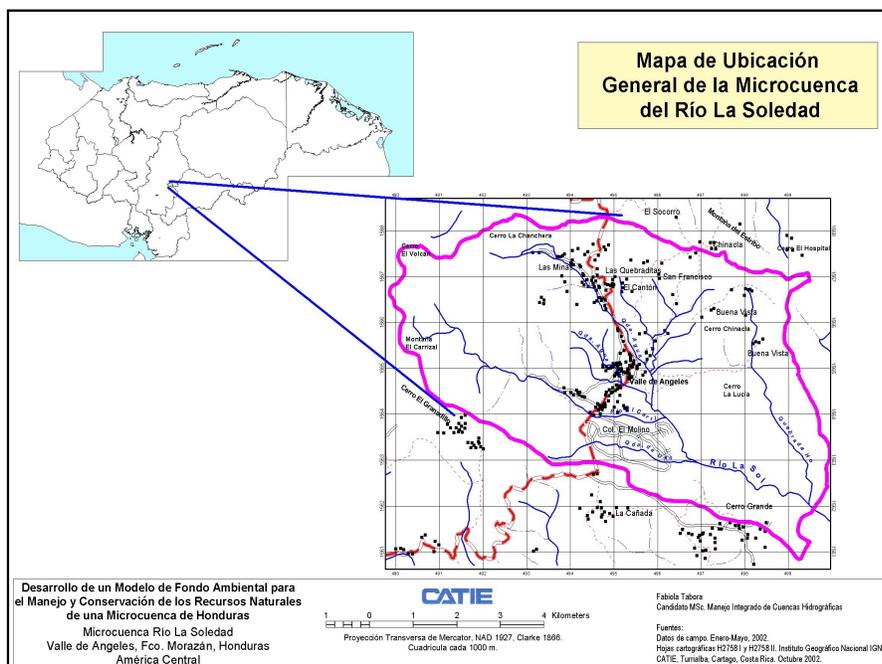


Figura 2. Ubicación de la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.

Fuente: Tábora (2002).

3.1.1 Características biofísicas

3.1.1.1 El suelo

Los suelos son medianamente fértiles, franco arcillosos, pH ligeramente ácido, húmedo y predominantemente de vocación forestal; aunque en las partes bajas de pendientes suaves son aptos para la agricultura. Una característica de los suelos de la microcuenca, sobre todo en las laderas, es su fragilidad, inestabilidad y sin conglomerados importantes en su superficie (FOCUENCAS, 2001). La mayor parte de los suelos en la microcuenca han sido desarrollados a partir de rocas sedimentarias. Otra categoría existente en la microcuenca, corresponde a los suelos desarrollados a partir de rocas volcánicas, cubiertos principalmente con bosque de pino. Finalmente, y bien diferenciados, se encuentran los suelos desarrollados de materiales aluviales (Cardona, 2003).

3.1.1.2 Uso actual del suelo

En cuanto al uso de la tierra, la parte media-alta es la que presenta una intensidad de uso apreciable. Cultivos anuales en combinación con cultivos intensivos se presentan de manera más frecuente, ubicados dentro de los límites del Parque Nacional La Tigra, donde la mayor parte del área de la microcuenca está cubierta de bosques de pinos, de hoja ancha y bosques mixtos. La degradación de los recursos ocurre a partir de la parte media y baja de la subcuenca, debido a la ubicación del casco urbano de la ciudad de Valle de Ángeles (Cardona, 2003).

El 64% del área de la microcuenca es parte de la zona núcleo del Parque Nacional La Tigra (Rivera, 2002). La mayor parte del área de la Microcuenca del Río La Soledad está cubierta de bosques, en un 72%, con predominio de los bosques de pinos. Una porción significativa son las urbanizaciones y poblados, aproximadamente el 12% del área. Finalmente, las zonas agrícolas y matorrales ocupan el 14,6% del área en las partes altas de la microcuenca. Aproximadamente, el 8% de la superficie de la microcuenca está dedicada a cultivos intensivos, anuales y ganadería, correspondientes a 46,6 ha, 291,9 ha y 14,2 ha, respectivamente (Cardona, 2003).

La mayor parte del área de la microcuenca es de aptitud forestal y de protección. Apenas el 4,7% del territorio es apto para el uso agrícola, sin embargo, estas áreas en su mayoría están ocupadas por centros poblados y planicies de inundación. En el 12% de la cuenca es posible realizar actividades agrícolas, pero a condición, de usar obras de conservación de suelos (Cardona, 2003).

3.1.1.3 El clima

El clima de la zona es fresco y agradable por su condición montañosa y porque posee bosques de pino. Se puede distinguir dos estaciones marcadas, la lluviosa entre mayo y noviembre y la seca entre diciembre y abril. La precipitación media anual varía entre 1.500 y 2.500 mm (FOCUENCAS, 2001). La temperatura promedio anual es de 18° C (FOCUENCAS, 2001) e igualmente, la humedad relativa promedio es de 84% con una evapotranspiración potencial promedio de 55 mm por mes (CONACH, 1992).

3.1.1.4 Hidrología

La red hídrica principal está compuesta por el Río La Soledad, Río El Carrizal, Quebrada Agua Amarilla, Quebrada San Francisco, Quebrada Agua Dulce, Quebrada de Dantas, y Quebrada Honda. La red hídrica se define como ríos de montaña (Figura 3).

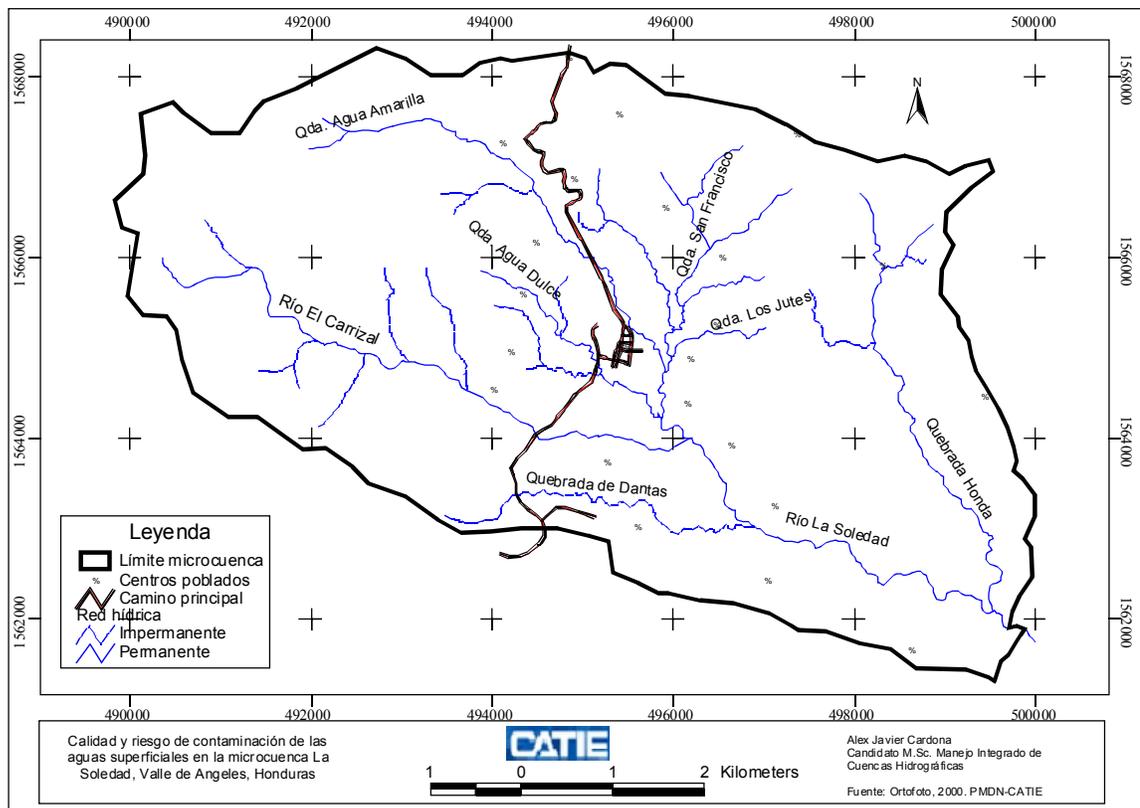


Figura 3. Mapa de los cursos de agua existentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.
Fuente: Cardona (2003).

Estos ríos presentan fuertes pendientes y lechos en forma de "V", tienen cuencas relativamente pequeñas, y combinadas con altas precipitaciones y un tiempo de concentración muy bajo, implican

caudales con una alta capacidad de arrastre de materiales gruesos, principalmente, árboles y piedras (Rivera, 2002).

El sistema principal de drenaje de la microcuenca lo constituyen justamente el Río La Soledad y la Quebrada Agua Amarilla. Esta última fuente, desde su nacimiento hasta su confluencia con el Río La Soledad, posee una extensión de 5,6 km, cruzando el casco urbano de la ciudad de Valle de Ángeles y posteriormente pasa a formar parte del sistema de drenaje del Río La Soledad. Desde ese punto hasta la salida de la cuenca, este río posee una longitud estimada en 6,7 km. Un tercer sistema de drenaje es el de la Quebrada San Francisco, la cual tiene una longitud de cauce estimada en 2,5 km. Esta quebrada es muy importante, debido a que abastece de agua de uso doméstico al 100% de la población urbana de Valle de Ángeles y parte de la población de la colonia El Molino (Cardona, 2003). Finalmente se encuentra el Río El Carrizal, cuya importancia radica en que provee agua a gran parte de los municipios Distrito Central y Santa Lucía.

3.1.1.5 Pendiente y relieve

La topografía de la microcuenca se caracteriza por ser accidentada, corresponde a zonas montañosas con pendientes pronunciadas; más del 70% de las tierras son de laderas, sin pedregosidad superficial. Un menor porcentaje (24%) son de relieve suave a casi planos, ubicadas en la parte media-baja de la microcuenca, especialmente, en los márgenes de los ríos y quebradas (Cardona, 2003). La altura de la microcuenca va desde 1.310 hasta 2.200 msnm (Tábora, 2002).

3.1.2 Características socioeconómicas de la microcuenca

3.1.2.1 Población

La población de la microcuenca está constituida principalmente por el asentamiento urbano de la ciudad de Valle de Ángeles y de los caseríos que integran la población rural. Se estima que la población total de la microcuenca es de 6.284 habitantes (INE, 2001). Las comunidades que integran el territorio de la microcuenca son: Valle de Ángeles, La Mina, San Francisco, La Leona, La Esperanza, El Carmelo, El Molino, El Tablón, La Escondida, Las Quebraditas, Las Martitas, La Cimbra, Miravalle, El Cantón, El Zarzal, Quebrada Honda, El Retiro, Cerro Grande, Piedras de Afilas, La Soledad y Buena Vista (Cardona, 2003).

La población del Municipio de Valle de Ángeles creció a un ritmo anual promedio de 2,50%; en el período comprendido entre los censos de 1971 y 2001. Este crecimiento fue de 3,27% en la cabecera municipal y de 1,92% en las aldeas. Por otra parte, el INE en su Censo de Población y Vivienda, entre los años 1970 y 2001, reporta una tasa de crecimiento, para el periodo 1988 - 2001 de 3,6% (Fundación Vida, 2004).

3.1.2.2 Servicios públicos

La microcuenca tiene diversos servicios públicos y sociales. En cuanto a medios de comunicación, se puede encontrar servicio de correo, teléfono fijo y móvil, radio, televisión, periódicos de la Capital. Hay transporte interurbano cada hora a Tegucigalpa y San Juan de Flores, y microbuses a Tegucigalpa cada media hora. El casco urbano tiene cobertura completa de energía eléctrica; sin embargo, en el resto de las comunidades la cobertura varía entre 30 y 100%. También se pueden encontrar gasolinera, restaurantes, talleres, pulperías, tiendas de artesanía, farmacias, hoteles, mercado, iglesias, colegios, escuelas, cementerio, galería de arte, centro de capacitación y parque turístico (Tábora, 2002).

3.1.2.3 Fuentes de agua

En la Microcuenca del Río La Soledad existen 25 fuentes superficiales de agua, de las cuales 11 son destinadas al consumo humano (44%) y 10 para consumo animal (40%); el resto de las fuentes poseen variados usos, entre ellos el agrícola (FOCUENCAS, 2001). Aunado a lo anterior, el Río Carrizal supe de agua a la ciudad de Tegucigalpa. No obstante, varias comunidades dentro de la microcuenca resienten la carencia del suministro del vital líquido, por lo que este problema es un tema prioritario que merece la más alta atención por parte de los pobladores involucrados (Cardona, 2003).

No existe un organismo rector ni regulador sobre el aprovechamiento del agua de la microcuenca. Diferentes usuarios la sustraen de los cauces, sin contar con autorización. Nadie paga canon de uso, no hay regulación sobre el caudal sustraído, el tipo de uso o las utilidades devengadas del recurso. La UMA no tiene control sobre la sustracción de agua, que en algunos casos provoca la sequía, de estas fuentes, en verano. No existe en los cauces de las quebradas rótulos que las identifiquen; ni tampoco, estructuras o algún sistema para medir el nivel del agua, ni el caudal de la misma.

En lo que respecta al servicio de agua, el mismo es prestado por tres tipos de agentes: el primero es la Alcaldía Municipal, que abastece 1.051 casas con un total de 7.006 habitantes; el segundo es el SANAA con 570 casas, y 2.850 habitantes; y el tercero son 9 Juntas de Agua o patronatos, los cuales abastecen 535 casas con de 2.601 habitantes, aproximadamente. Los primeros actores proveen el servicio a la mayoría de la población del casco urbano de la ciudad; los segundos proveen el servicio a las aldeas Las Cañadas y Cerro Grande; y los terceros son proveedores del agua a 5 barrios del casco urbano y 7 aldeas. Salvo una fuente, las demás no tienen sistemas de almacenamiento de agua, lo que afecta la continuidad en el servicio (Fundación Vida, 2004).

Sin embargo, los sistemas de abastecimiento de agua de uso doméstico están obsoletos o deficientes. Esta circunstancia se refleja en un mal servicio. El sistema de alcantarillado sanitario sólo cubre una pequeña sección del casco urbano; además, las tuberías se encuentran en mal estado y las aguas residuales desbordan en varios puntos. Esta red de alcantarillado descarga el agua en las quebradas de Agua Dulce y Agua Amarilla, sin recibir ningún tratamiento previo (Fundación Vida, 2004).

Por otro lado, los sistemas de servicios públicos presentan una alta vulnerabilidad física, pues se observó que de ocurrir un evento de intensidad media de lluvia, la red de conducción de agua de uso doméstico, que está instalada sobre los cauces de los ríos, sería el primer servicio básico en fallar, afectando a la mayoría de la población de Valle de Ángeles (Rivera 2003). Sin embargo, la Municipalidad de Valle de Ángeles será apoyada con un proyecto de mejoramiento y construcción de las redes de agua potable y alcantarillado sanitario de la zona urbana (Fundación Vida, 2004).

3.1.2.4 Actividades económicas

El turismo es uno de los rubros de mayor importancia, con enormes potencialidades y que genera mayores ingresos dentro de la microcuenca. Esta actividad se desarrolla en su mayoría en el casco urbano de Valle de Ángeles. Por otro lado, la agricultura presenta algunas condiciones favorables de suelo, clima y acceso para productores de granos básicos, horticultura y floricultura (Espinal, 2004).

3.1.2.5 Institucionalidad

Organización local

En la Microcuenca del Río La Soledad existen diferentes instituciones locales, como patronatos, comités, juntas de aguas y la Unidad Municipal Ambiental (UMA), son mostradas en el Cuadro 3 (Tábora, 2002).

Cuadro 3. Organizaciones Locales en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.

Organización	Cantidad	Cobertura	Actividades
Juntas de Agua	20	Casco urbano y en aldeas	Monitores del servicio, contabilidad, limpieza de tanques, gestión de proyectos.
Grupo de trabajo Fundación Vida	1	Casco Urbano del Municipio	Análisis ambiental municipal y diagnóstico municipal ambiental.
Patronatos comunitarios	13	Todo Municipio	Campañas de limpieza, reforestación, educación ambiental, elaboración de viveros, limpieza de solares.
Comités ambientales locales	8	Municipal	Por iniciar.
Sociedad civil	1	Casco urbano municipal	Transparencia institucional.
Comité de maestros ambientalistas	1	Municipal	Educación ambiental manejo de desechos sólidos.

Fuente: Fundación Vida (2004).

La UMA tiene competencia para abordar todos los problemas de ese ámbito ambiental. Sus principales actividades están concentradas en trabajar con las comunidades para organizarlas en la protección y manejo del medio ambiente, apoya la protección de las microcuencas y las actividades de las Juntas de Agua. La Unidad Municipal Ambiental tiene un encargado a tiempo completo, que se ha capacitado y tiene experiencia en la elaboración y seguimiento de proyectos locales ambientales. La UMA es reconocida y escuchada en todas las instancias de la Corporación (Fundación Vida, 2004).

Los patronatos son las instituciones locales que iniciaron, la gestión de proyectos de acueductos rurales para sus comunidades. Sin embargo, considerando la importancia de la problemática del agua, especialmente en la zona rural, algunas leyes han promovido la formación de la figura llamada Juntas de Agua. Con esto se pretende que una institución más comprometida y especializada, sea la que tenga la función de gestionar y administrar sistemas de distribución de agua para uso doméstico en la comunidad; con miembros más capaces, para cumplir esta labor.

En la Microcuenca del Río La Soledad, aún existen patronatos que tienen la función de manejar acueductos de agua para uso doméstico, tal es el caso de las comunidades de El Cantón. Sin embargo, la Ley Marco del Agua Potable, nombra a las juntas de agua como único ente facultado para cumplir esta misión a nivel local, además de las municipalidades. Las juntas de agua deben presentar personería jurídica para poder ejercer la administración de acueductos rurales y acceder a beneficios como financiamiento de préstamos y donaciones. La nueva Ley también promueve la descentralización de los acueductos rurales. Por ello, el SANAA, está en proceso de ceder su función a las municipalidades. A su vez, las municipalidades pueden traspasar la administración de los acueductos a las juntas de agua.

Organismos Externos

Dentro de la microcuenca del Río La Soledad están presentes diversos actores externos que ejecutan acciones orientadas a la gobernabilidad, el desarrollo y manejo de los recursos naturales. Entre éstos se encuentran instituciones del Gobierno de Honduras, como: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR), Instituto Nacional de Formación Profesional (INFOP), Instituto Nacional Agrario (INA), Secretaría de Recursos Naturales (SERNA), Servicio Autónomo Nacional de Acueductos, Alcantarillados y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

También laboran en la microcuenca instituciones no gubernamentales. Las actividades de estos organismos están vinculadas a la reforestación, combate de Incendios forestales, dotación de equipo y material vegetativo, charlas educativas, capacitación en la legislación relacionada con la leyes de Municipalidades y del Ambiente, formación de comités ambientales locales (CAL), asistencia financiera y prevención de desastres naturales (Fundación Vida, 2004). Algunas de éstas también participan en la capacitación y asesoramiento en la gestión de recursos hídricos, tal es el caso de AMITIGRA, PRRAC AGUA y el Ministerio de Salud. El Cuadro 4 muestra las principales instituciones externas.

Cuadro 4. Instituciones ambientales presentes en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras.

Institución	Cobertura	Actividad
CATIE- ASDI/ FOCUENCAS	Microcuenca del Río La Soledad	Apoyo a la gestión en el manejo integrado de la Microcuenca del Río La Soledad.
AMITRIGA	Parcial	Protección al Parque Nacional la Tigra, proyectos de abastecimiento de agua y promoción de protección del ambiente a nivel de comunidad.
CARITAS	Cobertura total	Reforestación, charlas educativas y asesoría técnica. apoyo alimenticio a estudiantes preescolares.
UNAH	Municipal	Investigación y diseño en bienes que administra la Municipalidad.
Fundación VIDA	Municipal	Asesoría y capacitación en gestión ambiental municipal
PRRAC AGUA	Municipal	Financiamiento de actividades ambientales y proyectos de abastecimiento de agua.
COPECO	Total	Organización y capacitación en prevención de desastres naturales.
Escuela Agrícola Panamericana	Total	Asesoría, planificación, formulación y ejecución de "Plan estratégico de desarrollo para la mancomunidad del Yeguaré".
UNITEC	Total	Capacitación en gestión ambiental municipal.

Fuente: Fundación Vida (2003).

3.1.2.6 Institucionalidad relacionada con el agua

Leyes: entre las leyes hondureñas que abordan el tema del agua están: Ley de Aprovechamiento de Aguas Nacionales, Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento,

Reglamento General de las Juntas de Agua y Saneamiento de Honduras, Ley de Municipalidades y Ley General del Ambiente.

Existe un conglomerado de leyes nacionales que abordan el tema de la tenencia, administración y explotación de los recursos hídricos. Sin embargo, no hay concordancia entre ellas, respecto a quién tiene el derecho a la explotación del agua, la priorización de sus usos, manejo de ésta y los recursos asociados. La Ley de Aprovechamiento de Aguas Nacionales, que es vigente desde 1927, no es congruente con las condiciones presentes y muestra desconocimiento del ciclo hidrológico. Dicha ley señala que el agua es un bien privado cuando se encuentre en propiedad privada; sin embargo, la Ley General del Ambiente dice que es atribución del gobierno su manejo, derecho de aprovechamiento y concesión (Ferrera *et al.* 2005).

En el ámbito nacional existen instituciones encargadas de la distribución de agua potable y saneamiento, como el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), el Ministerio de Salud, el Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS) y la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA).

Sin embargo, desde 1990 se encuentra como proyecto la formulación de la Ley General de Aguas, la cual dará origen a dos instituciones: el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CONARH) y un ente llamado la Autoridad de Agua. El CONARH será un órgano consultivo, deliberativo y de asesoría, destinado a proponer y concertar las políticas, dar seguimiento y control social a la gestión del sector hídrico, así como el de promover e impulsar iniciativas referentes al desarrollo de este sector; integrado por los Secretarios de Estado que representan los distintos sectores que tiene relación directa con los recursos hídricos del país. Dentro de sus funciones ejecutivas, la Autoridad de Agua tendrá la aplicación de las políticas y de las acciones administrativas que éstas originen.

Además, la Autoridad del Agua ha de establecer las normas técnicas y regulaciones aplicables al sector, aprobar la configuración del balance hídrico como referente de ordenamiento, planificación y gestión integral del recurso hídrico, apoyar los proyectos de investigación en el sector, aprobar los cánones, tarifas, otorgamientos de derechos de usos, así como, los procesos de concesionamientos y franquicias relacionados a los aprovechamientos de agua y apoyar administrativa y técnicamente a los consejos de cuenca (Ferrera *et al.* 2005).

Actores:

- *Administradores:* Alcaldía Municipal de Valle de Ángeles, SANAA, juntas de agua, patronatos, entes privados. Las juntas de agua, son organizaciones creadas en las comunidades, cuya motivación ha sido la problemática en torno al agua. Las juntas de agua potable de la Microcuenca del Río La Soledad están reguladas por el SANAA, bajo el reglamento para juntas de agua potable emitido por esta institución y en el cual se estipulan las pautas en que las mismas deben operar para brindar un correcto servicio a sus usuarios (Espinal, 2004). Las juntas de agua han sido facultadas en sus funciones y atribuciones por la Ley de Municipalidades (Sistema de las Naciones Unidas en Honduras, 2003).
- *Usuarios:* familias vecinas del municipio de Valle de Ángeles, habitantes de los municipios de Santa Lucía, Distrito Central y poblaciones ubicadas aguas abajo del Río La Soledad; agricultores y comerciantes de bienes y servicios; flora y fauna local.
- *ONG:* AMITIGRA, PRRAC, Fundación Vida, CATIE, BID, CARE, Plataforma del Agua, UNAH, Universidad Católica, EAP Zamorano.

Usos: servicio de agua de uso doméstico, riego, transporte de aguas servidas, entretenimiento, conservación de ecosistemas.

3.2 Métodos para el objetivo 1

Identificar y seleccionar las principales quebradas de la microcuenca, a partir del aprovechamiento que la población de la microcuenca hace de ellas, e identificar el uso predominante que se les da actualmente.

Debido a que los usuarios del agua en la microcuenca son muchos, y el costo que implicaba evaluar toda el área es alto, se tomó la decisión de priorizar las quebradas más importantes para la población de la microcuenca. Para ello, primero se consultó por medio de entrevistas a los siguientes actores clave: El encargado de la UMA de Valle de Ángeles, el coordinador de Fundación Vida y el coordinador de FOCUENCAS II. Los criterios de selección de las quebradas a analizar fueron: su importancia para los pobladores de la microcuenca y la gravedad de los problemas que presenten como fuente de abastecimiento. Las fuentes seleccionadas se muestran en Figura 4.

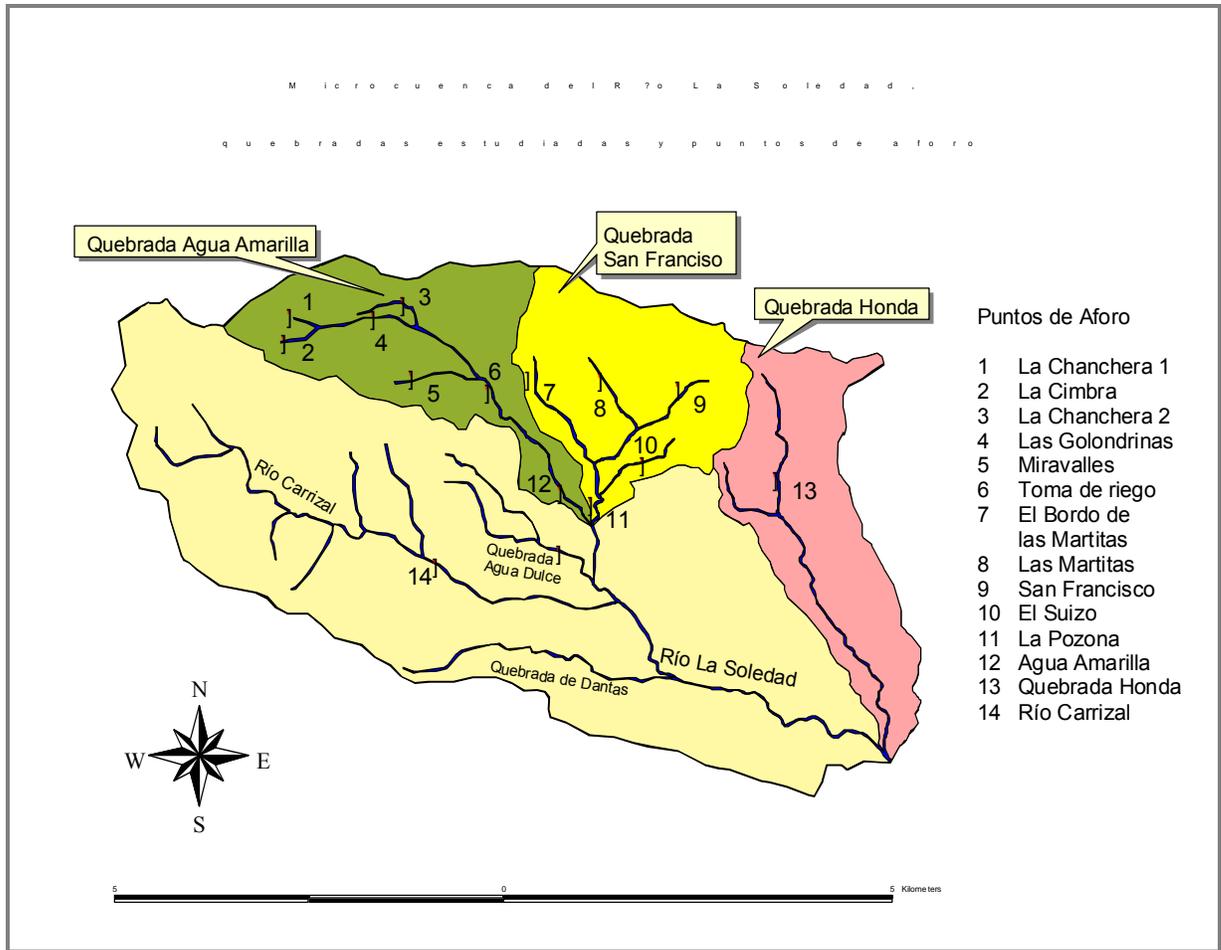


Figura 4. Mapa que muestra los puntos de aforo y la ubicación y límite de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda en la Microcuenca del Río La Soledad, Honduras. 2005.

3.3 Métodos para el objetivo 2

Análisis de la oferta y demanda del agua de uso doméstico en las quebradas seleccionadas.

La oferta de agua en las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda se determinó a través de información secundaria y con medición de caudales. La información secundaria fue recopilada en la Alcaldía Municipal e instituciones nacionales y ONG que laboran en la zona. Los aforos fueron realizados en época de estiaje, en obras de toma, tanques de distribución y cauces naturales.

3.3.1 Realización de aforos

Para la realización de aforos se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los aforos se hicieron en época de estiaje, en los meses marzo, abril y mayo (más detalle sobre las fechas de las mediciones aparecen el (Cuadro 8). Se escogió la época seca fue para conocer la oferta mínima de agua de uso doméstico, lo cual sirve para planificar una administración óptima del agua en las condiciones más desfavorables.
- Los aforos se realizaron, de preferencia en las obras de toma, puesto que el caudal es muy variable a lo largo del cauce, porque otros usuarios sustraen agua, o porque aguas negras son descargadas en la quebrada.
- Para realizar los aforos se usó el método volumétrico. La mayor parte de los aforos fueron practicados directamente en el cauce, y en algunos casos, en la red, mientras el agua era descargada a un tanque o al exterior.
- Para realizar aforo volumétrico se requirió la participación de al menos dos personas. Una de las personas midió el tiempo en que se llenó un recipiente de volumen conocido y otra más sostuvo el recipiente bajo el chorro de agua. La mayor parte de los aforos se realizaron con la colaboración de los fontaneros, empleados de la Alcaldía Municipal, quienes conocen muy bien la ubicación de las redes de abastecimiento de agua.

3.3.2 Recorrido por las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda

Se realizó un recorrido por el cauce de las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, y por el Río La Soledad. Este procedimiento se hizo en los meses de febrero y marzo con el objeto de observar, de forma superficial, la calidad y cantidad de agua disponible a diferentes tipos de usuarios, así como el estado de los cauces y diferentes actores de la Microcuenca del Río La Soledad, en general.

3.3.3 Demanda de agua en las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda

3.3.3.1 Demanda actual

Para conocer la demanda se requirió número y tipo de abonados que registra el SANAA, las juntas de agua, patronatos y La Alcaldía Municipal. También, fue necesario conocer la asignación de

agua establecida para cada usuario, según el reglamento de la Ley de Aguas, vigente en Honduras. Además, se reconoce que muchos usuarios utilizan agua en actividades diversas, a pesar de no contar con una conexión regular; por eso se calculó la demanda real, tomando en cuenta a estos usuarios.

Con el registro de tipo y número de abonados, que tiene cada ente administrador, se hizo el cálculo de la demanda de agua de uso doméstico en los sistemas de distribución actuales. También se calculó el tiempo necesario para que la demanda sobrepase la oferta, usando como datos: la tasa de crecimiento demográfico, la población actual, la asignación de agua para cada tipo de usuario y los modelos matemáticos usados por el SANAA para proyectar la demanda de agua en el futuro.

Por otro lado, en el recorrido efectuado en los cauces de ríos y quebradas de la microcuenca, se identificó otros usuarios del agua, además de los acueductos; y el efecto que tiene el uso del agua en la parte alta y media, para los usuarios de la parte baja de la microcuenca.

3.3.3.2 Demanda futura

Para calcular la demanda futura se multiplicó la población futura por la dotación por habitante establecida, luego se comparó la demanda futura con la oferta actual. De esta forma se diseñó un sistema que pretende satisfacer las necesidades de los usuarios, durante el tiempo de vida útil de la tubería. También la proyección de la demanda futura es útil para tomar decisiones acerca de planes de manejo y protección del recurso hídrico y controlar la explotación a que es sometido.

Estos cálculos se llevaron a cabo, asumiendo que la cantidad y calidad del agua no cambiará en el futuro y se utilizó las normas de diseño aceptadas por el SANAA, para diseño de acueductos rurales Anexo 1.

Este cálculo se hizo considerando que todos los abonados actuales son de tipo habitacional. Se eligió un periodo de diseño de 22 años, según la recomendación del SANAA, para cubrir la vida útil de la tubería. Se usó la tasa de crecimiento máxima registrada en Valle de Ángeles: 3,60% (Fundación Vida, 2004).

3.4 Métodos para el objetivo 3

Evaluación de los sistemas de conducción y almacenamiento de agua de uso doméstico en la microcuenca de Río La Soledad, quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, y selección de un acueducto para analizar la parte hidráulica y proponer un diseño más eficiente del mismo.

En este estudio se requirió datos de diseño y construcción de los acueductos existentes. Esta información se encontró en memorias de cálculo y planos constructivos, proporcionados por administradores, organismos donantes o ejecutores de los proyectos de esta índole, realizados en la zona. La información obtenida fue revisada, con el propósito de seleccionar un acueducto que tuviera los datos de entrada completos para el modelo matemático, que fue la herramienta de análisis hidráulico del acueducto. El programa aplicado para el análisis hidráulico fue EPANET.

Los datos necesarios para la aplicación de EPANET son: levantamiento topográfico, desde la obra de captación hasta los extremos finales de la red; ubicación de casas y otros centros de consumo, con respecto a la red. Además, las elevaciones en cada punto donde inicia o termina un tramo de tubería, válvulas, tanques, obras de toma o tanque, el punto donde se ramifica la tubería, cambia de diámetro o material.

3.4.1 El uso de EPANET

3.4.1.1 Datos requeridos

- De la tubería: longitud por tramo entre dos nudos conectados; diámetro en ese tramo; y material de los tubos, para conocer el factor de rugosidad de los mismos.

Cuadro 5. Coeficientes de rugosidad de la tubería, requeridos en la fórmula de Hazen-Williams.

Coeficiente de rugosidad "C"	
Tubería de Hierro Galvanizado (HG)	100
Tubería de Polivinilo (PVC)	140

- De los nudos: los nudos son las uniones entre dos tubos y los datos requeridos son elevación (en metros) de cada nudo y demanda en cada uno. La demanda es el caudal de salida en cada nudo y se obtiene multiplicando el número de personas por la dotación asignada por habitante.

En el cuadro 6 puede verse la fórmula y los datos necesarios para el cálculo de la población de diseño, que es la población futura, que existirá cuando la tubería llegue a su vida útil.

Cuadro 6. Parámetros de diseño relativos a la población, para calcular el consumo medio diario.

Cálculo de población de diseño, método aritmético	
$P_f = P_o \left(1 + \frac{kt}{100} \right)$	Donde: Pf: Población futura Po: Población actual k: Tasa de crecimiento anual t: Período de diseño
Se tomará como índice de crecimiento anual 3,6 %.	
La población se calculará multiplicando la cantidad de viviendas por 6 habitantes por casa.	
Período de diseño de 22 años como máximo, para todas las partes del sistema.	

El cuadro 7 muestra la fórmula y los factores usados para el cálculo del consumo máximo diario y el consumo máximo horario de la población. El primero se usa para el diseño de la línea de distribución y el segundo en la línea de conducción del acueducto.

Cuadro 7. Tipos de consumo considerados en el diseño de acueductos de agua potable.

Tipos de consumo		Fórmula	Factor K	
Consumo Medio Diario (QMeDi)	Demanda promedio requerida para satisfacer las necesidades.	Pf * Dotación / 1.440 min		
Consumo Máximo Diario (QMaDi)	Valor de la demanda máxima diaria durante el año.	Consumo Medio Diario * K1	K1 = 1,5	Se utiliza en el diseño de la línea de conducción.
Consumo Máximo Horario (QMaHo)	Valor del consumo máximo horario en el día de máxima demanda del año.	Consumo Medio Horario * K2	K2 = 2,25	Se utiliza en el diseño de la línea y red de distribución.
El factor K se usa para estimar las variaciones de consumo ocurridas a lo largo del día, o en el transcurso del año; y depende de las distribución en el tiempo de las actividades de la población.				
La Dotación es el volumen de agua diario, asignado a cada habitante de la comunidad; y es igual 113,7 litros.				

- Depósitos: también se requiere conocer las características hidráulicas de los depósitos que fueron: tanques, cajas colectoras y obras de toma, como son: dimensiones internas de los depósitos, nivel mínimo, inicial y máximo del agua dentro del mismo y los accesorios que tienen, como válvulas, tubería de salida y rebalse.

3.4.1.2 Instalación de la versión española de EPANET

La Versión 2 de EPANET está diseñada para trabajar bajo los sistemas operativos Microsoft® Windows 95/98/NT en computadoras personales compatibles IBM/Intel®. La traducción al español de esta versión se distribuye en un solo archivo, EN2inst_esp.exe1, el cual contiene un programa de instalación auto extraíble. Las instrucciones que se presentan a continuación, fueron seleccionadas del manual de EPANET en español, cuyo original en inglés fue hecho por Rossman (2002). Sólo se incluye las partes que fueron aplicadas en este estudio. El programa y el manual se encuentran disponibles, de forma gratuita, en la siguiente página Web: www.idmh.upv.es/psoftware.html.

Para instalar la versión española de EPANET:

1. Se entra a la página Web y se selecciona la opción EPANET 2.0 Esp.
2. Se secciona Ejecutar.... desde el Menú de Inicio de Windows.
3. Se introduce la ruta completa; la carpeta por defecto es c:\Archivos de programa\EPANET2_Esp y el nombre del archivo EN2inst_esp.exe.
4. Pulsar el botón Aceptar para comenzar el proceso de instalación.
5. Para ejecutar EPANET simplemente se selecciona esta entrada, y a continuación la opción EPANET 2.0 Español del submenú mostrado.

3.4.1.3 Dibujo de la red

Para dibujar la red se usó los botones de la Barra de Herramientas del Esquema, o se buscó en el menú principal: Ver >> Barras de Herramientas >> Esquema. En la Barra de Herramientas del Esquema aparecen nudos, tanques, bombas, tubos, embalses y válvulas.



1. Sobre el área de dibujo se ubicó los nudos, en orden igual a la dirección del flujo. Los nudos pueden ser: uniones, embalses o tanques. Para ello se usó la Barra de Herramientas del Esquema, donde se seleccionó el símbolo que representa cada uno de estos elementos y se ubicó en el área de dibujo usando el ratón. No importó que el dibujo no tuviese dimensiones proporcionales a las reales, pues la geometría de la red se introduce al programa en forma digital.



Las uniones son los puntos en los que se unen los enlaces y donde entra o sale un caudal. Las Propiedades de las uniones son: elevación sobre un nivel de referencia y demanda de agua (si es positiva el agua sale y viceversa). Los resultados obtenidos son: carga hidráulica y presión. El símbolo de unión, en la Barra de Herramientas del Esquema es el siguiente: 

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, o sea, que el volumen de agua puede variar durante la simulación, ya sea porque está entrando o saliendo agua del tanque. Los datos de entrada de los tanques son: elevación de solera (el fondo), diámetro o su geometría si el tanque no es circular, nivel del agua inicial, mínimo y máximo. El resultado obtenido fue la carga hidráulica y el caudal que entra o sale del tanque. El tanque detiene la salida del agua si el nivel es mínimo y detiene la entrada del agua si el nivel es máximo. El símbolo para tanque en la Barra de Herramientas del Esquema es: 

Los embalses representan una fuente externa teóricamente infinita, y se usan para modelar lagos, ríos o acuíferos subterráneos. El dato de entrada es la carga hidráulica, igual al nivel de la superficie del agua y no hay resultados; o sea, que la carga no varía en función del consumo en la red. Esto significa que los embalses son de dimensiones tales, que el consumo de agua no es suficiente para variar significativamente el nivel del agua. El símbolo para embalse en la Barra de Herramientas del Esquema es: 

2. Luego, se unió a los nudos con enlaces. Los enlaces pueden ser: tubos, bombas o válvulas. Para efectuar esto se selecciona, con una pulsación en el botón izquierdo del ratón en la Barra de Herramientas del Esquema, el símbolo que corresponda. A continuación se da una pulsación con el botón izquierdo del ratón en el nudo inicial y luego en el nudo final. No se debe invertir este orden.

Los tubos son enlaces que conducen agua de un nudo a otro.  Los datos de entrada para los tubos son: longitud, coeficiente de rugosidad, nudo inicial, nudo final, situación abierto o cerrado (si contienen una válvula). Los resultados que se obtienen para los tubos son: caudal del tubo, velocidad de flujo y pérdida de carga. Las tuberías pueden programarse para estar cerradas o abiertas, para

tiempos predefinidos o cuando la presión se sale de un rango preestablecido. La ecuación de Hazen Williams es la más usada y se aplica para flujo turbulento.

Las bombas son artefactos que aportan energía al fluido elevando su carga hidráulica. Sin embargo, como no se utilizan en ninguno de los acueductos de La Microcuenca del Río La Soledad, no se consideró este tema. 

Las válvulas son enlaces que limitan la presión y/o el flujo en determinados puntos de la red. Los datos de entrada son: nudo inicial y final (en dirección del flujo), diámetro (el diámetro de la tubería aguas arriba), programación (presión deseada aguas abajo), estado y los resultados son: caudal y pérdida de carga.  Los tipos de válvulas son:

- Válvula reductora de presión (PRV)
- Válvula de mantenimiento de presión (PSV)
- Válvula de quiebra de presión (PBV)
- Válvula de control de presión (FCV)

Válvula reductora de presión (PRV). Se usó este elemento para limitar la presión en un punto de la red. La única válvula considerada en el presente análisis es la PRV; se usó para representar los tanques rompe carga, con la presión de programación igual a cero. Los diferentes estados de la PRV son:

- Parcialmente abierta, para lograr la presión preestablecida agua abajo, cuando la presión aguas arriba excede un valor preestablecido.
- Totalmente abierta, si la presión aguas arriba es menor que un valor preestablecido.
- Cerrada, si la presión aguas abajo excede a la presión aguas arriba (no se permite el flujo inverso).

3.4.1.4 Edición de las propiedades de los objetos

A medida que los objetos fueron añadidos al proyecto, éstos adquirieron, automáticamente, las propiedades por defecto. Para cambiar el valor de una propiedad determinada de un objeto, se seleccionó antes con el Editor de Propiedades (Figura 5). Existen diversas formas de hacerlo. Si el

Editor ya está visible, bastará pulsar sobre el objeto elegido, o seleccionarlo desde la página de Datos del Visor. Si el Editor no está visible, se puede abrir de alguna de las siguientes maneras:

Propiedad	Valor
*ID Nudo de Caudal	2
Coordenada X	1184,28
Coordenada Y	7908,28
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	210
Demanda Base	0
Curva Modul. Demanda	
Tipos de Demanda	1
Coeficiente del Emisor	
Calidad Inicial	
Intensidad de la Fuente	

Figura 5. Ventana de editor de propiedades del programa EPANET.

- Efectuando una doble pulsación con el ratón sobre el objeto en el esquema.
- Pulsando el botón derecho del ratón sobre el objeto y eligiendo la opción Propiedades del menú emergente.
- Seleccionando el objeto desde el Visor de Datos, y pulsando sobre el botón Editar  de dicha ventana (o bien efectuando una doble pulsación sobre el mismo).

3.4.1.5 Guardar y reabrir el proyecto

Una vez completado el diseño inicial de la red, se guardó todos los datos antes de seguir adelante. Si la red es grande es conveniente guardar los datos periódicamente.

1. Desde el menú Archivo se seleccionó la opción Guardar como.
2. En el diálogo Guardar el Proyecto Como, se seleccionó una carpeta y un nombre de archivo para guardar el proyecto (la extensión .net será añadida si no se declara).
3. Se Pulsa Aceptar para guardar el proyecto en dicho archivo. Los datos del proyecto fueron almacenados en el archivo en un formato binario especial. Si se quiere guardar los datos en un archivo de texto legible, utilizar la orden Archivo >> Exportar >> Red... en lugar de la anterior. Para abrir el proyecto de nuevo más tarde, se seleccionó la orden Abrir del menú Archivo.

Para rotular los diferentes elementos de la red o hacer las notas que se crean pertinentes, se usó un comando para agregar texto al dibujo. Se selecciona pulsando con el ratón el botón en la Barra de Herramientas de Esquema:  y pulsando otra vez con el botón izquierdo de ratón en el lugar donde se desea el rótulo.

3.4.2 *Análisis en régimen permanente*

El régimen permanente es el comportamiento de la red hidráulica en la que las variables no cambian con el tiempo, tales como la presión, el caudal y la velocidad del agua. Para llevar a cabo una simulación del comportamiento hidráulico de una red en régimen permanente, se seleccionó la opción Proyecto >> Calcular de la barra de menús o pulsar el botón Calcular  de la Barra de Herramientas Estándar. (Si la Barra de Herramientas no estuviera visible, seleccionar Ver >> Barra Herramientas >> Estándar en la barra de menús).

Si la simulación no tuviera éxito, aparecería la ventana de Informe de Estado indicando cuál ha sido el problema. Si la simulación es correcta, los resultados pueden verse en una amplia variedad de formatos.

3.4.3 *Parámetros de evaluación y diseño hidráulico*

Para realizar los cálculos descritos en el párrafo anterior y uniformizar el diseño de acueductos, consideraron una serie de normas o parámetros. Los parámetros de diseño son el resultado de pruebas hechas a los materiales para conocer la resistencia máxima de los mismos, a diferentes esfuerzos. Este proceso sirve para garantizar que la resistencia máxima de los materiales no sea sobrepasada por los esfuerzos de operación, que deberán resistir durante su vida útil; también sirven para asegurar el mejor desempeño de operación posible.

En el presente estudio se utilizó la metodología y normas de diseño aprobadas y recopiladas por el SANAA, en un manual de normas técnicas; el cual ha sido preparado de acuerdo con las necesidades del medio rural de Honduras y su realidad socio-económica. Estas normas se presentan en el Anexo 1; y una síntesis de las mismas se presenta a continuación:

3.4.3.1 Caudal de diseño

El diseño de tuberías consiste en elegir aquellas con los diámetros mínimos que satisfagan los requerimientos, establecidos de presiones y velocidades de flujo. Para la determinación de las pérdidas por fricción en la tubería, se utiliza la fórmula de Hazen Williams.

3.4.3.2 Línea de conducción

Fórmula de Hazen-Williams para el diseño de tuberías

$$hf = 10,674C^{-1,852}Q^{1,852}d^{-4,871}L$$

Donde:

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

d = Diámetro de la tubería (m)

L = Longitud de la tubería (m)

Q = Caudal (m³/s)

- La presión de trabajo máxima fue de 112 mca para tuberías de PVC.
- El diámetro mínimo aceptable en la línea será fue de 19,05 mm.
- Para la línea de conducción, además de calcular la gradiente hidráulica de diseño, se calculó la gradiente hidráulica real.
- Las presiones no sobrepasaron los límites de presión de trabajo de la tubería usada.
- Dónde fue necesario romper presiones se utilizó tanques rompecargas.
- Las líneas de presión, en ningún momento aparecer abajo del nivel del terreno.
- Se llegó al tanque con una altura de presión de 5,00 mca, como previsión de alteraciones en las características de la tubería.
- Se asumió como longitud de tubería, para calcular las pérdidas, la distancia inclinada.

3.4.3.3 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento se debe colocar en un lugar con suficiente altura que permita una presión mínima de 10 mca en el punto más desfavorable de la red. Además, de preferencia, se coloca el tanque en una área grande, plana y a una distancia que facilite el mantenimiento del mismo. Se ha

determinado que la capacidad del tanque representará de un 30% a 40% del consumo medio diario en los sistemas por gravedad.

3.4.3.4 Línea de distribución

El caudal de diseño es el máximo horario. La velocidad máxima fue de 2 m/s.

3.4.3.5 Red de distribución

- Por la topografía es irregular se separó las redes, mediante tanques rompecargas ó válvulas reductoras de presión.
- La presión mínima hidrodinámica fue de 10 mca y la presión máxima hidrostática, 60 mca.
- A velocidad mínima fue de 0,60 m/s y la máxima de 3 m/s.
- El diámetro mínimo de la red fue de 24,5 mm en circuitos cerrados y tubería de relleno, y hasta de 12,70 mm en extremos muertos que alimenten hasta tres viviendas.

3.5 Métodos para el objetivo 4

Análisis de los aspectos ambientales y socioeconómicos del sistema de abastecimiento de agua de uso doméstico y el desempeño de los diferentes administradores de este servicio.

3.5.1 Aplicación de entrevista a los prestadores del servicio de agua de uso doméstico

La entrevista semiestructurada (Anexo 12), se aplicó a todas los prestadores del servicio de agua de uso doméstico, cuyas fuentes son parte de las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda. La entrevista fue dividida en diferentes secciones de preguntas, que incluyeron las variables independientes elegidas. Las secciones generales fueron: información general, los mecanismos administrativos, forma de operación, descripción del o los sistemas, número de abonados por acueducto, cantidad y calidad del agua que asignan, costo del servicio para los abonados, sistema de medición y sistema tarifario, continuidad del servicio y vulnerabilidad del sistema.

Las instituciones entrevistadas fueron: La Alcaldía Municipal de Valle de Ángeles, El SANAA, El Patronato de la Comunidad de El Cantón, La Junta de Agua de las comunidades La Esperanza, El Carmelo y La Leona, La Junta de Agua de la Comunidad del Bordo de Las Martitas, La Junta de Agua

de Cerro Grande y Las Cañadas y La Sociedad Vida y Agua S. A. de C. V. Las entrevistas fueron realizadas en diferentes fechas en los meses de mayo, junio y julio, según la disposición de los entrevistados.

3.5.2 Aplicación de una entrevista a los usuarios

La entrevista a los usuarios del agua de uso doméstico tuvo un propósito múltiple: triangular la información brindada por los organismos administradores, sobre el servicio brindado; conocer la percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio recibido; conocer el efecto de la calidad de servicio de agua de uso doméstico sobre la calidad de vida de los usuarios; y la percepción de éstos sobre la problemática del agua. El número de muestra para los abonados fue 75, que es aproximadamente el 5% de la población. Este porcentaje fue aplicado a cada uno de los acueductos, para que la muestra fuera equitativa. Por coincidencia, una estratificación de la muestra en partes altas media y baja de la microcuenca, corresponde casi exactamente a los sistemas administrados por juntas de agua, Alcaldía Municipal y SANAA, respectivamente.

3.5.2.1 Diseño de la estructura de la entrevista para los usuarios

La estructura de la entrevista para los abonados fue dividida en diferentes secciones de preguntas, que incluyeron las variables independientes elegidas. Las secciones generales de la entrevista fueron: información general del entrevistado, costo y calidad del servicio de agua de uso doméstico que recibe, aspectos económicos del usuario, aspectos de salud relacionados con el agua y la conciencia ambiental del usuario respecto al recurso hídrico.

Para aplicar la entrevista se contó con el auxilio de registros de la Alcaldía Municipal sobre el número de usuarios por cada barrio. De esta forma, el número de entrevistas se calculó con base en el número de usuarios por barrio. Así, pudo asegurarse que la entrevista tuviera una mejor distribución. La distribución de la entrevista es muy importante porque las condiciones particulares de cada zona influyen en el servicio recibido. Algunos ejemplos son: la presión es afectada por la diferencia de altura entre la vivienda y el tanque de distribución.

3.5.2.2 Diseño de muestra de la entrevista para los usuarios

Para aplicar la entrevista semiestructurada se utilizó el muestreo aleatorio simple, de tal manera que cada uno de los abonados tenga la misma posibilidad de ser seleccionado. La unidad de muestreo fue la vivienda y el marco muestral fue el listado de todos los abonados seleccionados, por cada

acueducto. Se utilizó variables dicotómicas (bueno, malo), variables cuantitativas y variables descriptivas. La fórmula para calcular el tamaño de muestra es la siguiente:

$$n = (N\sigma^2) / \left[(N-1) \frac{B^2}{4} + \sigma^2 \right]$$

Donde:

n= número de muestra

$\sigma^2 = p \times q$

p = buena percepción

q = mala percepción

4 = nivel de confianza del 95%

B = error de estimación

El error de estimación usado depende de la facilidad de aplicación de la entrevista. Se consideró aceptable un rango de error de estimación entre 5 y 10%, lo que dio como resultado de tamaño de muestra, valores entre 73 y 146 entrevistas, para una población total de 1.457 abonados activos. Este tamaño de muestra se tomó con base en el método de varianza de proporciones máximas con un nivel de confianza del 95%. La variable de proporción es la percepción buena o mala que tienen los abonados acerca del servicio de agua de uso doméstico. En el presente estudio se entrevistó a 75 abonados del servicio de agua de uso doméstico y a todos los entes que distribuyen agua para uso doméstico y para riego (cinco en total).

Luego se obtuvo la proporción: número de muestra / población total; para que la distribución de la muestra fuera proporcional al número de abonados por acueducto. La implementación de la entrevista se realizó para cada uno de los acueductos, a través de visitas directas a las viviendas de los abonados.

3.6 Métodos para el objetivo 5

Propuesta de estrategias de manejo más eficiente de los sistemas de abastecimiento de agua de uso doméstico

Se analizó el marco institucional, referente al abastecimiento de agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, con el objeto de identificar debilidades institucionales. Asimismo, se

analizó la administración del servicio de abastecimiento de agua de uso doméstico para comparar el desempeño de diferentes proveedores e identificar las fortalezas y debilidades de cada uno.

Con el recorrido realizado por el cauce de ríos y quebradas y por la microcuenca, en general, se analizó la relación entre los diferentes usos del agua y el tipo de manejo en la actualidad y las repercusiones que esto tiene con la calidad de vida de la población.

Con base en la información expuesta en los párrafos anteriores sobre institucionalidad, sistemas administrativos, usos y tipos de usuarios del agua, características físicas de los acueductos y aspectos de vulnerabilidad, se hizo una serie de propuestas como pauta para lograr mayor eficiencia en la administración del recurso hídrico en la microcuenca.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Selección de las quebradas para el estudio

En el proceso de consulta, previo a la selección del área de estudio; las personas entrevistadas estuvieron de acuerdo, en que las quebradas que mayor uso brindan a la población de la Microcuenca del Río La Soledad, son la Quebrada San Francisco y la Quebrada Agua Amarilla. También se seleccionó la Quebrada Honda, no por cobertura, sino, por la problemática de escasez que sufren sus usuarios, especialmente en época de verano.

La fuente que tiene mayor demanda es San Francisco, que junto a El Suizo/Las Martitas (con 468 usuarios); y El Bordo de las Martitas¹ (con 498 usuarios); son parte de la misma quebrada San Francisco, y suman 5.062 usuarios. Para la quebrada Agua Amarilla se tiene los sistemas: Quebrada Agua Amarilla, con 2.850; y La Chanchera, La Cartuchera y Las Golondrinas, con 1.356; con un total de 4.206 usuarios. Entre las dos quebradas cubren, aproximadamente, el 73% del servicio de agua de uso doméstico mostrado en la tabla (Fundación Vida, 2004). El uso primordial que se les da a estas quebradas, es como fuentes de agua de uso doméstico. Las tres quebradas suman ocho acueductos; de los cuales, siete son para agua de uso doméstico, y proveen agua a una población aproximada de 1.540 familias; y uno de ellos está destinado a un sistema de riego, que sirve a la parte urbana del municipio de Valle de Ángeles.

4.2 Oferta y demanda

4.2.1 *Oferta actual de agua para los sistemas de agua de uso doméstico*

En el Cuadro 8 se muestra los resultados de los aforos realizados en época de estiaje, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en el cauce principal y también en afluentes. En la Quebrada Agua Amarilla, los puntos de aforo llamados Las Golondrinas y Toma de riego están en el cauce principal, mientras que los sitios llamados La Chanchera y La Cartuchera son afluentes de dicha quebrada. Por otro lado, en la Quebrada San Francisco, sólo el punto llamado La Pozona está en el cauce principal; y contiene la suma de las aguas de los afluentes: San Francisco, El Suizo, Las Martitas

¹ Los usuarios del acueducto El Bordo de las Martitas no aparecen en la figura porque el sistema está en construcción.

y un cuarto afluente llamado Las Quebraditas que no es usado para agua de uso doméstico. Por otro lado, la Quebrada Honda tiene una sola obra de toma, ubicada en la comunidad de Buena Vista.

Todos los sitios de aforo, mostrados en el Cuadro 8, son obras de toma, excepto La Pozona. La gran mayoría del agua está destinada a sistemas de agua de uso doméstico. Como puede verse, los datos fueron obtenidos en verano cuando los caudales eran mínimos. En la mayor parte de las obras de toma, se aprovecha el total del caudal de la fuente; y cuando no es así, es por que la obra presenta fugas no deseadas. Un resumen con el total del recurso hídrico derivado de las tres quebradas estudiadas, se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 8. Resultado de aforos en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Quebrada Agua Amarilla			
Punto de aforo	Caudal (l/s)		fecha del aforo
	Derivado	No derivado	
Las Golondrinas	8,65	0,83	7 de mayo de 2005
La Chanchera 1	0,97	0,00	11 de mayo de 2005
La Chanchera 2	1,77	0,00	30 de abril de 2005
La Cartuchera	1,09	0,00	30 de abril de 2005
Toma para riego	4,45	1,85	7 de mayo de 2005
Total	16,93	1,85	
Quebrada San Francisco			
Punto de aforo	Caudal (l/s)		fecha del aforo
	Derivado	No derivado	
San Francisco	11,47	0,00	15 de abril de 2005
El Suizo	4,29	0,00	15 de abril de 2005
Bordo de Las Martitas ²	1,57	0,00	junio de 2005
Las Martitas	3,11	0,00	3 de mayo de 2005
La Pozona	0,00	14,45	1 de mayo de 2005
Total	17,33	14,45	
Quebrada Honda			
Punto de aforo	Caudal (l/s)		fecha del aforo
	Derivado	No derivado	
Buena Vista	1,39	0,00	26 de marzo de 2005

En general, agua que corre es usada para transportar las aguas servidas, del sistema de alcantarillado sanitario, de la ciudad de Valle de Ángeles; vertidos individuales de los habitantes de la

² El caudal de El Bordo de las Martitas no se refleja en la suma total de caudal derivado, porque este acueducto aún no está en operación.

microcuenca; y desechos sólidos de diferentes tipos. Sin embargo, el diseño y construcción de acueductos no contempla el mantenimiento de un caudal ecológico para el uso de la flora y fauna local. Muchas de las corrientes superficiales desaparecen en el verano debido al aprovechamiento total del agua, usada para alimentar a los acueductos.

Cuadro 9. Resumen del agua derivada en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Caudal derivado de La Quebrada Agua Amarilla	12,48	l/s
Caudal derivado de La Quebrada San Francisco	18,87	l/s
Caudal derivado de La Quebrada Honda	1,39	l/s
Total	32,74	l/s

Los acueductos que proveen agua a la población de la parte alta de la Microcuenca del Río La Soledad, en el área seleccionada en este estudio, son los correspondientes a: El Patronato de la Comunidad del Carmelo, La Junta de Agua de las comunidades de La Esperanza, El Carmelo y La Leona, y El Acueducto de La Cartuchera y La Chanchera, administrado por la Alcaldía Municipal. Mientras tanto, en la parte media de la microcuenca, La Alcaldía Municipal abastece de agua de uso doméstico, con el acueductos San Francisco y el acueducto El Suizo/Las Martitas. La Sociedad Agua y Vida abastece de agua para riego. Por último, en la parte baja de la microcuenca, las aldeas Cerro Grande y Las Cañadas, reciben agua de La Quebrada Agua Amarilla. Todas las obras de toma de los acueductos de agua de uso doméstico se encuentran en la parte alta de la microcuenca; no así, la obra de toma para agua de riego, que se encuentra en la parte media.

Sin embargo, si se toma en cuenta el problema de contaminación de la Quebrada Agua Amarilla, ésta no debería considerarse, como parte de la oferta real de agua de uso doméstico, para los habitantes de las aldeas Cerro Grande y Las Cañadas. Por otro lado, el caudal no derivado de la Quebrada San Francisco, cuya contaminación no es tan severa, es suficiente para cubrir la demanda de agua de uso doméstico de la Quebrada Agua Amarilla.

4.2.2 La demanda de agua de uso doméstico

4.2.2.1 Demanda actual

La quebrada San Francisco provee agua de uso doméstico a la mayor parte de los vecinos del casco urbano de Valle de Ángeles (473 abonados). En la actualidad la comunidad de Las Martitas tiene

en construcción su propio acueducto, cuya fuente es afluente de la quebrada San Francisco, y que servirá de agua de uso doméstico a 83 familias. Asimismo, la quebrada Agua Amarilla provee a cuatro acueductos, tres de agua de uso doméstico para las comunidades del Cantón, para 200 familias aproximadamente; las aldeas Cerro Grande y Las Cañadas, con 411 usuarios activos; La Cimbra y Miravalle, para 73 familias y un quinto acueducto para riego, que provee a 120 familias. Por último, La Quebrada Honda abastece a un número aproximado de 300 familias.

Tanto durante el proceso de recorrido de la microcuenca, como en la realización de las entrevistas, se observó que muchas familias no cuentan con el servicio de agua de uso doméstico y se ven obligadas a usar fuentes alternas. Generalmente las familias que se encuentran en esta situación viven en zonas alejadas del centro de las comunidades y de poca densidad de población.

Entre las diferentes fuentes que usan las familias no abonadas al servicio regular de agua de uso doméstico, se encuentran: pozos, corrientes de agua superficial, agua de lluvia; agua purificada comercial y acueductos pertenecientes a otras zonas, accesibles a través de algún vecino o pariente. Si este grupo de usuarios estuviera abonado a cualquiera de los sistemas de distribución existentes, la demanda sobre éstos sería mayor. Por otro lado, la calidad y la cantidad de agua son variables que dependen del manejo que se da a la microcuenca.

El Cuadro 10 muestra los usuarios abonados a los diferentes sistemas de abastecimiento de agua de uso doméstico, en la actualidad. Sin embargo, la demanda real va mucho más allá, pues existen muchos usuarios que no cuentan con una conexión a ningún sistema, y tienen que hacer uso de fuentes no establecidas formalmente. También se incluye el Cuadro 11, que muestra la población, abastecida por las quebradas seleccionadas.

Por otro lado, la tasa de crecimiento de Valle de Ángeles es mayor que la tasa de crecimiento nacional. Por su cercanía con Tegucigalpa, el Municipio de Valle de Ángeles es alternativa habitacional, para muchos capitalinos; y por tanto tiene una tasa crecimiento urbano alta.

Cuadro 10. Prestadores del servicio de agua de uso doméstico, fuentes utilizadas, comunidades servidas y número de abonados en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

	Prestador del servicio	Fuente	Barrio o comunidad	Abonados
Parte alta	Junta de Agua de las comunidades La Esperanza, El Carmelo y La Leona	Quebrada Honda (Buena Vista)	La Esperanza	115
			El Carmelo	80
			La Leona	100
	Junta de Agua de la Comunidad Las Martitas		El Bordo de Las Martitas	83
Patronato de la Comunidad El Cantón	La Chanchera No.1 y Quebrada Agua Amarilla	El Cantón Quebraditas	200	
Parte media	Alcaldía Municipal	La Cartuchera y La Chanchera No. 2	Miravalle	59
			La Cimbra	14
		San Francisco	Barrio Abajo	56
			El Edén	22
			La Lomita	12
			Agua Dulce	17
			San Francisco	6
			El Centro	39
			El Sunteco	36
			El Carmelo	10
			Barrio Abajo	33
			La Cruz	15
			El Molino	69
Parque Obrero	15			
Las Martitas y El Suizo	Aldeas S. O. S.	10		
	El Zarzal	133		
		El Edén	23	
		Subtotal	546	
Parte baja	SANAA	Quebrada Agua Amarilla (Las Golondrinas)	Aldeas Cerro Grande y Las Cañadas	411
		Total		1.535

Fuente: Todos los prestadores del servicio de agua de uso doméstico mencionados en el cuadro.

Cuadro 11. Población total de usuarios, por comunidades, en los años 2001 y 2005, para las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Fuente	Aldea/Barrio	Población Total 2001	Población Total 2005
Quebrada San Francisco	El Centro	282	325
	Bordo de las Martitas	433	498
	El Molino	175	202
	Abajo	204	235
	Arriba	336	387
	El Banco	144	166
	El Zarzal	790	910
	El Sunteco	22	25
SUBTOTAL		2.386	3.012
Quebrada Agua Amarilla	Cerro Grande	370	426
	El Macuelizo	396	456
	EL Retiro	317	365
	Las Cañadas	446	514
	El Empalme	482	555
SUBTOTAL		2.011	2.317
Quebrada Honda	La Esperanza	579	667
	El Carmelo	230	264
	La Leona	484	558
SUBTOTAL		1.293	1.489
TOTAL			6.818

Fuente: ERP (2001), citado por Araya (2005).

4.2.2.2 Cálculo de la demanda futura

Utilizando las normas de diseño, aceptadas por el SANAA, se puede calcular el caudal de la demanda futura. La fórmula para el método aritmético se incluye en el Anexo 1 y el cálculo está en el

Cuadro 12, donde 113,7 lppd es la dotación de agua potable recomendada por el SANAA para poblaciones mayores de 2000 habitantes (Anexo 1) y 3,60% es la tasa anual de crecimiento poblacional

$P_0 (2005) = 1.604 \text{ viviendas} \times 6 \text{ habitantes/vivienda} = 9.624 \text{ habitantes}$ $P_f (2027) = 9.624 \text{ habitantes} (1 + 22 (0,036)) = 17.246,21 = 16.010 \text{ habitantes}$ $Q (2027) = 17.246 \text{ habitantes} \times 113,7 \text{ lppd} = 1.960.893,85 \text{ lpd} = 22,69 \text{ l/s}$

de Valle de Ángeles según ERP (2003).

Cuadro 12. Cálculo de población futura con la fórmula aritmética, para las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

$P_0 (2005) = 1.604 \text{ viviendas} \times 6 \text{ habitantes/vivienda} = 9.624 \text{ habitantes}$ $P_f (2027) = 9.624 \text{ habitantes} (1 + 22 (0,036)) = 17.246,21 = 16.010 \text{ habitantes}$ $Q (2027) = 17.246 \text{ habitantes} \times 113,7 \text{ lppd} = 1.960.893,85 \text{ lpd} = 22,69 \text{ l/s}$

El Cuadro 13 se ha utilizado para clasificar el número y tipo de abonados. Este proceso debe hacerse cuando las dotaciones para cada tipo de abonado son diferentes. Para todos los cálculos se han usado unidades del Sistema Internacional.

Cuadro 13. Resumen de abonados del servicio de agua de uso doméstico, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

	Habitacional	Comercial	Gobierno	Especial
Alcaldía Municipal	546	62	6	1
SANAA	284	125	2	0
Otros	578	0	0	0
Total	1.408	187	8	1

Este cálculo se hizo considerando que todos los abonados actuales son de tipo habitacional, y se eligió un período de diseño de 22 años; según la recomendación del SANAA, para cubrir la vida útil de la tubería. El caudal estimado, requerido para abastecer de agua de uso doméstico a la población de las tres quebradas seleccionadas, para el año 2027 es de 22,69 l/s. El mismo cálculo para un período de diseño de 16 años resulta en un caudal de 19,96 l/s. Puede verse que el caudal de demanda proyectado para el año 2021 es un poco menor que el caudal de captación registrado para el año 2005, en las quebrada San Francisco y Honda, en época de estiaje. Este cálculo demuestra, que la oferta de agua sí cubre la demanda actual y la demanda en 16 años. Lo que pone en evidencia la poca eficiencia de los sistemas de distribución actuales.

4.3 Análisis hidráulico del acueducto El Bordo de las Martitas con EPANET

Los datos señalados fueron proporcionados por AMITIGRA, institución que realiza proyectos que incluyen diseño y construcción de acueductos rurales, en calidad de donación; y entregan planos y memorias de cálculo a las comunidades beneficiarias. Con la información del acueducto seleccionado se realizó el análisis hidráulico que se describe a continuación:

Previo al uso del programa EPANET, es necesario realizar algunos cálculos, a fin de obtener todos los datos de entrada que el programa requiere. Estos datos aparecen en la memoria de cálculo del acueducto en estudio; sin embargo, los mismos fueron evaluados para comprobar que fueran correctos; éstos son:

- En este caso, el cálculo de población se hizo, partiendo del número de viviendas (83) y suponiendo que hay seis habitantes por vivienda.
- Población futura se determinó con la fórmula aritmética (Anexo 1); y como datos: período de diseño, 22 años; tasa de crecimiento anual de Valle de Ángeles, 3,60 %; y población actual.
- El Caudal de dotación, según la norma del SANAA para acueductos rurales, es de 113.7 lppd (30 gppd).
- Caudal de diseño de la red de conducción y caudal de diseño de la red de distribución
- Demanda por vivienda.
- Cuadro de atributos de nudos y tubos del diseño original.

4.3.1 Evaluación hidráulica de la red de distribución

El cuadro del Anexo 3 muestra los atributos o propiedades, de los nudos y de los tubos de la red de distribución. En el programa EPANET se le llama atributos a los datos de entrada. Estos datos se introdujeron al programa a través de la ventana “Editor de propiedades”, después de dibujar el esquema de la red sobre el área de dibujo del programa.

La Figura 6 muestra el esquema de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas. El esquema se dibujó, a partir del plano y memoria de cálculo del proyecto, facilitado por AMITIGRA. El coeficiente de rugosidad, correspondiente a la fórmula de Hazen Williams, para tubería de PVC es de 130. Se usó 130, considerando que este dato conservador, absorbe cualquier pérdida

menor causada por accesorios. Los tanques rompecargas fueron sustituidos con válvulas reductoras de presión (figuran con nomenclatura VRP1, VRP2, etc.). Se usó válvulas reductoras de presión, para la modelación hidráulica de los tanques rompecarga, pues no actúan como nudos con entrada o salida de caudal, no tienen un almacenamiento significativo y su función es disipar la energía de exceso, haciendo que la presión sea igual a 0 mca. Los tanques rompecarga evitan daños en las tuberías de la red y en los artefactos domésticos, como son lavatorios, servicios sanitarios y baños.

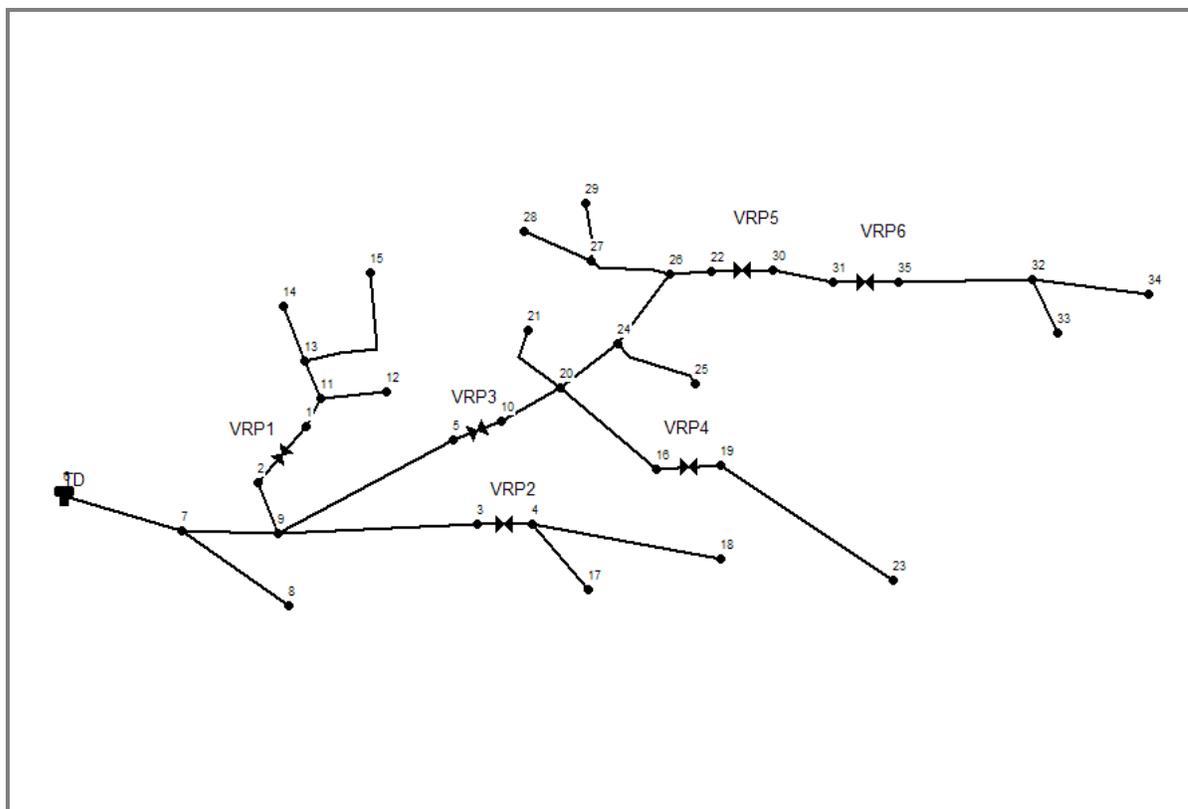


Figura 6. Red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, trazada sobre el área de dibujo del programa EPANET, se muestra los nudos (numerados), las válvulas reductoras de presión (VRP) y los enlaces (líneas que representan tubos). Microcuenca del Río La Soledad, Honduras. 2005

Los nudos y enlaces del esquema no fueron dibujados en escala de las dimensiones reales; esto no es necesario, para que el programa realice el análisis con éxito. Se dibujó tramos continuos de tubería entre dos puntos, donde existen derivaciones de caudal, válvulas reductoras de presión o cambios en el diámetro del tubo.

Después de dibujar el esquema de la red, se hizo correr el programa para ver los resultados del análisis hidráulico. La Figura 7 muestra los resultados. Los diferentes colores de nudos y enlaces que se pueden observar en la figura, corresponden a diferentes valores de presión para los nudos y de

velocidad para los tubos, según las escalas de colores. Para ver en el esquema los valores de presión y velocidad en nudos y líneas, respectivamente, fue seleccionado en el visor del menú Ventana y la opción visor; luego seleccionado en las ventanas del visor “nudos”, los valores de presión; y en la ventana “líneas”, los valores de velocidad.

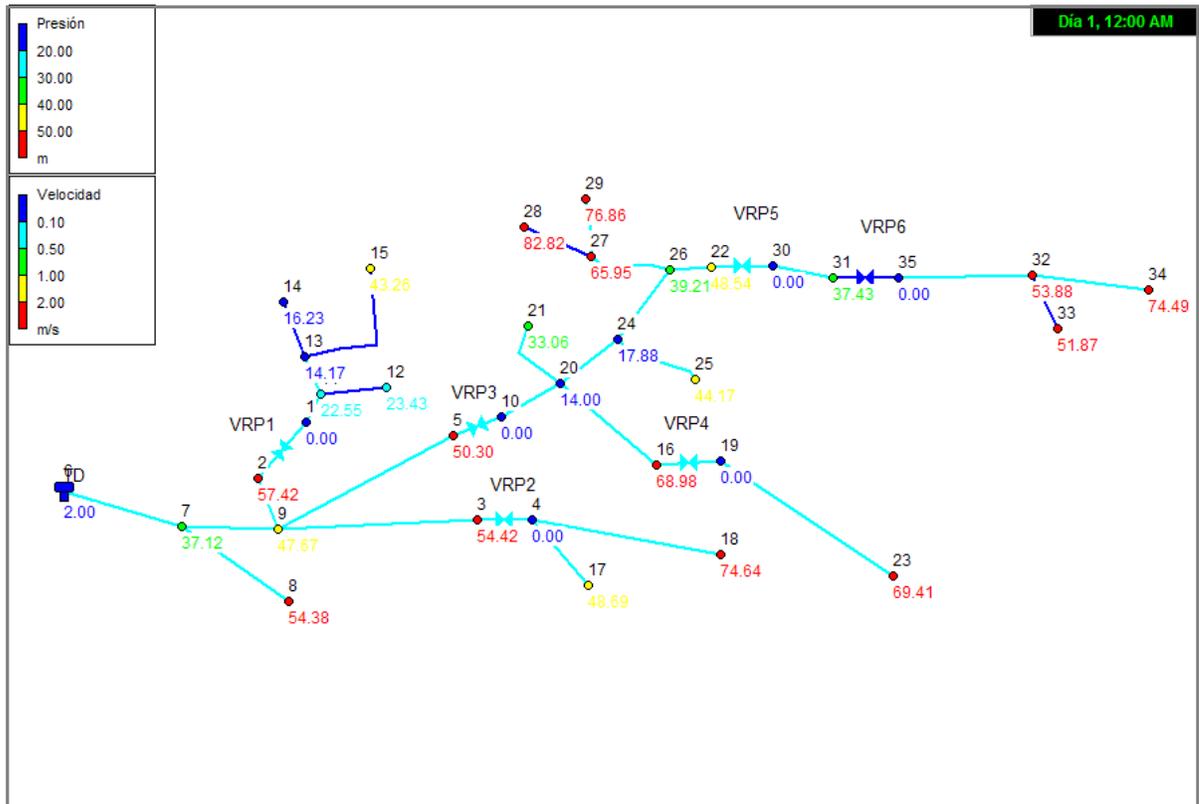


Figura 7. Presiones y velocidades de flujo en la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, después de efectuado el cálculo en EPANET. Cada rango de presión se representa con un color diferente en los nudos y VRP, y cada rango de velocidad es un color diferente en los enlaces (líneas). Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Según los datos obtenidos en el análisis hidráulico, con EPANET, existen siete nudos donde la presión excede los 60 mca (Figura 7 y Anexo 3), que indican, como valor máximo admisible, las normas de diseño del SANAA. También se observa en el esquema, que todas las velocidades en los tubos, están por debajo de los 0,6 m/s que es la velocidad mínima aceptable, según las normas mencionadas. Ninguna velocidad supera a la velocidad máxima permisible. Estos resultados indican que la red está inadecuadamente diseñada, con un sobredimensionamiento que encarece innecesariamente la red.

En vista que el diseño original, del acueducto El Bordo de las Martitas, presentó diferencias entre las condiciones de operación y los valores especificados por las normas del SANAA, se procedió a realizar modificaciones en el mismo. Este proceso se hizo procurando que los resultados de un nuevo

análisis hidráulico, arrojen valores que sí estén dentro de los rangos permisibles de operación. Para ello, se cambió la ubicación y número de tanques rompecarga (VRP). También se redujo el valor de diámetro en algunos tubos, con el propósito de abaratar los costos del proyecto y reducir las presiones.

También, en el Anexo 4 se puede ver, que todos los valores de velocidad de flujo, en la red, están por debajo del valor admisible.

A causa del análisis anterior, se procedió a hacer un diseño nuevo de la red de distribución, del acueducto El Bordo de las Martitas. Para realizar un nuevo diseño, se puede, simplemente, hacer modificaciones sobre el diseño original. Lo anterior se ilustra en la Figura 8; y seguidamente, los cambios realizados.

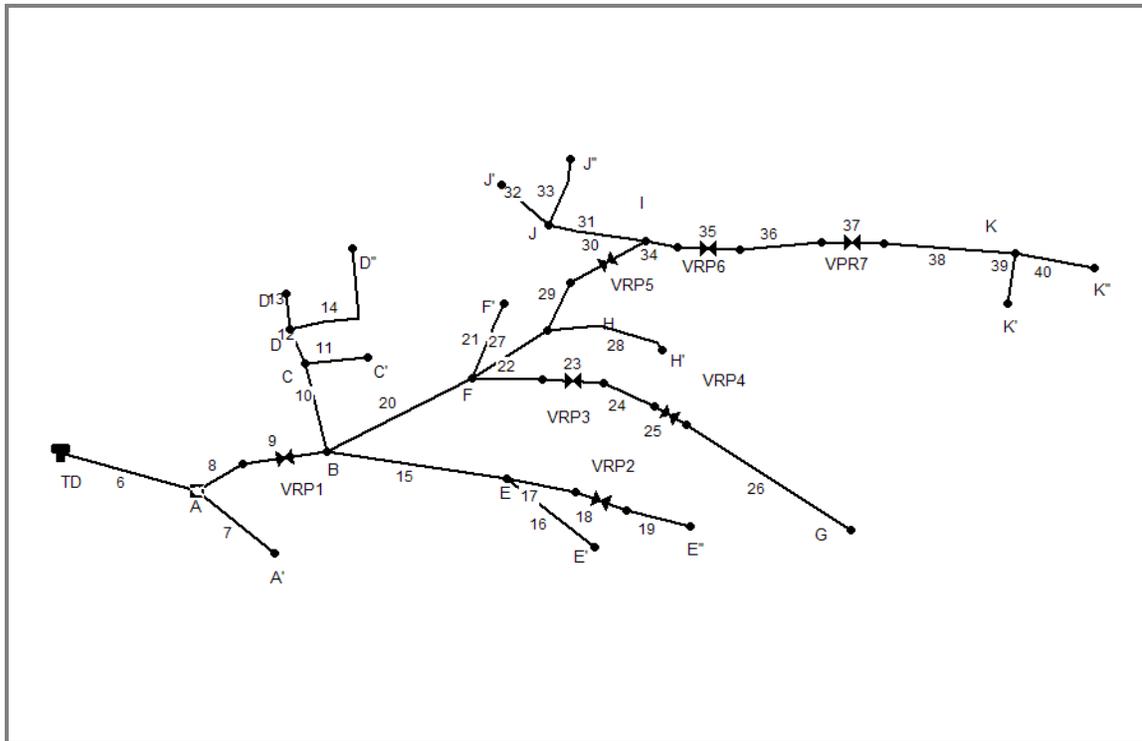


Figura 8. Esquema modificado, de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, que muestra nudos (letras), válvulas reductoras de presión (VRP) y enlaces (líneas numeradas). Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

- Primero, se cambió la ubicación de las VRP; de manera, que luego del análisis hidráulico, no se obtengan valores de presión mayores que 60 mca. Sin embargo, por economía, hay que asegurarse, que el número final de elementos de este tipo sea mínimo. Sólo con el cambio de ubicación se logró reducir el número de nudos que sobrepasaban el valor límite, de siete a uno.

- Fue necesario agregar una VPR para que todos los nudos estuvieran en el rango de presión aceptable. Luego, se procedió a reducir los valores de diámetro de tubo; esto, para reducir la presión dinámica en la red, y a la vez, abaratar los costos de construcción.
- Después de cada modificación, es necesario correr el programa, para ver si se ha encontrado valores de velocidad que no sobrepasen a 1 m/s, que es el valor máximo recomendado.

La Figura 9 muestra el esquema de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, con modificaciones; y después de haber sido realizados los cálculos hidráulicos con EPANET. Se puede ver, con las escalas de colores, ninguno de los valores de presión sobrepasa 60 mca. También hay variaciones en la velocidad de flujo en los tubos; si se compara con los valores de la red original, se puede notar un incremento.

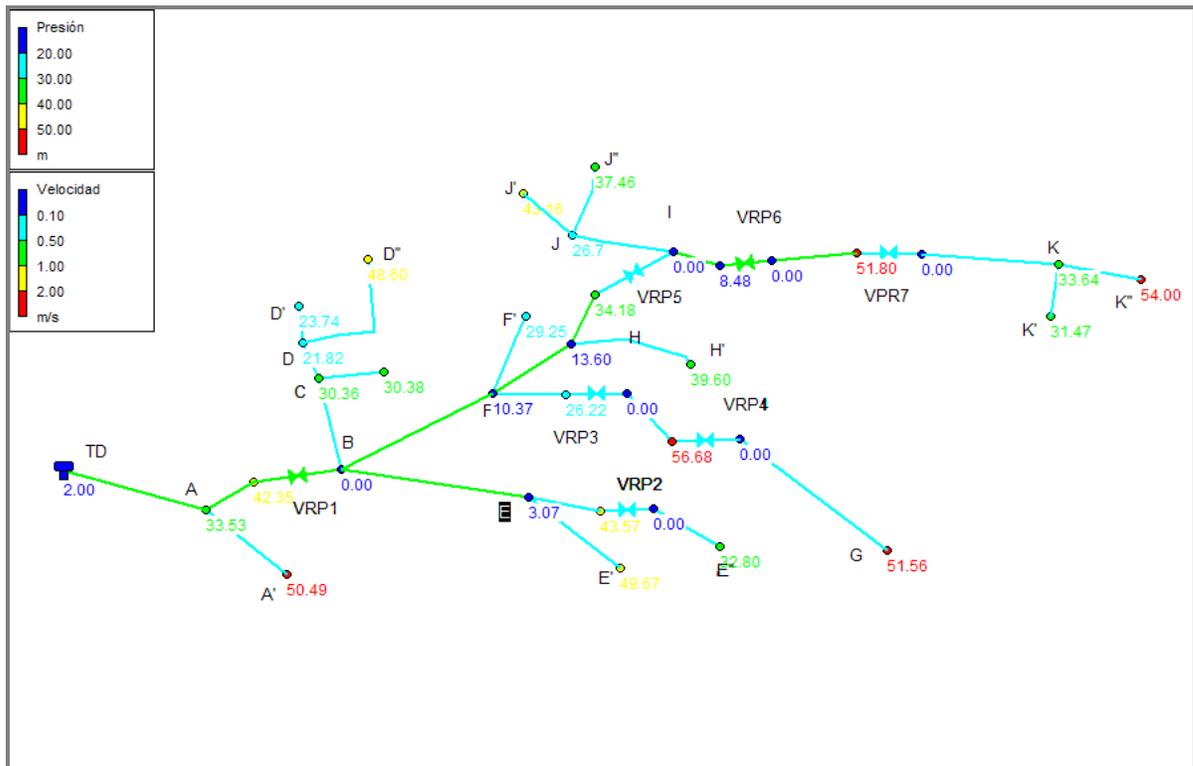


Figura 9. Esquema modificado, de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, mostrando nudos (letras), válvulas reductoras de presión (VRP) y enlaces (líneas numeradas). Se ven los resultados de presión hidrodinámica en los nudos, con diferente color para cada rango y diferentes colores en los enlaces para diferentes rangos de velocidad. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

En los cuadros 14 y 15 se muestra los cambios efectuados en los tubos y nudos de tubería, al modificar la posición y número de los tanques rompecarga. En el Cuadro 15, además, se puede

observar que en los nuevos resultados de presión, no hay valores mayores que 60 mca. También se logró encontrar valores de diámetro de tubería menores, sin afectar la operación (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados de caudal y velocidad en los tubos, para el diseño modificado del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de las líneas de la red						
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad	Caudal l/s	Velocidad m/s	Estado
Tubería 6	205,00	56,60	130,00	2,36	0,94	Abierta
Tubería 7	126,20	23,50	130,00	0,09	0,20	Abierta
Tubería 11	85,00	15,80	130,00	0,06	0,29	Abierta
Tubería 12	41,00	23,50	130,00	0,11	0,26	Abierta
Tubería 13	50,00	15,80	130,00	0,03	0,14	Abierta
Tubería 14	227,30	15,80	130,00	0,06	0,29	Abierta
Tubería 21	80,00	23,50	130,00	0,09	0,20	Abierta
Tubería 27	91,80	45,30	130,00	0,94	0,58	Abierta
Tubería 28	123,40	23,50	130,00	0,09	0,20	Abierta
Tubería 31	92,00	30,40	130,00	0,20	0,27	Abierta
Tubería 32	45,00	15,80	130,00	0,06	0,29	Abierta
Tubería 33	50,00	23,50	130,00	0,11	0,26	Abierta
Tubería 39	60,00	15,80	130,00	0,03	0,14	Abierta
Tubería 40	107,10	23,50	130,00	0,09	0,20	Abierta
Tubería 16	187,80	23,50	130,00	0,20	0,46	Abierta
Tubería 26	201,00	30,40	130,00	0,11	0,16	Abierta
Tubería 38	135,00	30,40	130,00	0,23	0,31	Abierta
Tubería 34	55,00	30,40	130,00	0,43	0,59	Abierta
Tubería 36	371,70	30,40	130,00	0,40	0,55	Abierta
Tubería 8	112,50	56,60	130,00	2,19	0,87	Abierta
Tubería 10	162,90	23,50	130,00	0,20	0,46	Abierta
Tubería 20	272,30	45,30	130,00	1,45	0,90	Abierta
Tubería 15	212,20	30,40	130,00	0,45	0,63	Abierta
Tubería 17	161,50	23,50	130,00	0,17	0,39	Abierta
Tubería 19	150,50	23,50	130,00	0,09	0,20	Abierta
Tubería 22	58,30	30,40	130,00	0,23	0,31	Abierta
Tubería 24	223,20	30,40	130,00	0,23	0,31	Abierta
Tubería 29	133,00	45,30	130,00	0,82	0,51	Abierta
Válvula 25	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,11	0,16	Activa
Válvula 37	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,23	0,31	Activa
Válvula 35	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,40	0,55	Activa
Válvula 9	Sin Valor	56,60	Sin Valor	2,10	0,84	Activa
Válvula 18	Sin Valor	23,50	Sin Valor	0,09	0,20	Activa
Válvula 23	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,23	0,31	Activa
Válvula 30	Sin Valor	45,30	Sin Valor	0,62	0,39	Activa

Cuadro 15. Resultado de presión en los nudos del diseño modificado del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de los nudos de la red				
	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	l/s	m	m
Nudo 7	943,78	0,09	977,31	33,53
Nudo 8	926,41	0,09	976,90	50,49
Nudo 10	932,90	0,00	932,90	0,00
Nudo 11	900,00	0,03	930,36	30,36
Nudo 12	899,09	0,06	929,47	30,38
Nudo 13	908,32	0,03	930,14	21,82
Nudo 14	906,25	0,03	929,99	23,74
Nudo 15	879,13	0,06	927,73	48,60
Nudo 17	875,95	0,20	925,62	49,67
Nudo 20	849,79	0,09	882,59	32,80
Nudo 21	915,67	0,20	926,04	10,37
Nudo 22	896,53	0,09	925,78	29,25
Nudo 27	789,66	0,11	841,22	51,56
Nudo 28	911,41	0,03	925,01	13,60
Nudo 29	885,01	0,09	924,61	39,60
Nudo 31	889,65	0,00	889,65	0,00
Nudo 32	862,50	0,03	889,24	26,74
Nudo 33	845,61	0,06	888,77	43,16
Nudo 34	851,51	0,11	888,97	37,46
Nudo 39	788,00	0,11	821,64	33,64
Nudo 40	790,00	0,03	821,47	31,47
Nudo 41	767,29	0,09	821,29	54,00
Nudo 16	925,47	0,09	928,54	3,07
Nudo 25	841,54	0,11	898,22	56,68
Nudo 26	841,54	0,00	841,54	0,00
Nudo 37	822,41	0,17	874,21	51,80
Nudo 38	822,41	0,00	822,41	0,00
Nudo 35	880,17	0,03	888,65	8,48
Nudo 36	880,17	0,00	880,17	0,00
Nudo 9	932,90	0,09	975,25	42,35
Nudo 18	883,08	0,09	926,65	43,57
Nudo 19	883,08	0,00	883,08	0,00
Nudo 23	899,49	0,00	925,71	26,22
Nudo 24	899,49	0,00	899,49	0,00
Nudo 30	889,65	0,20	923,83	34,18
Depósito 6	979,61	-2,36	981,61	2,00

Es importante reducir las presiones para evitar fugas de fluido en la red. Las presiones altas, aún cuando la tubería tenga la capacidad para resistirlas, ocasionan la separación de los tubos y accesorios en las juntas. Otro aspecto a considerar es que las instalaciones domiciliarias son más

propensas a sufrir daños por efecto de las presiones. Lo anterior provocaría gasto por reparaciones domiciliarias a los usuarios, y fugas más difíciles de controlar por parte de los administradores de los acueductos. Por otro lado, las presiones altas provocan mayor consumo regular, de parte de los usuarios.

Aunque el análisis se realizó con datos de la demanda proyectada a 20 años; y en consecuencia, se puede pensar que con la demanda actual, la presión no tomará valores que sobrepasen el límite. En este cálculo, también se supuso un consumo por habitante de 113,7 litros diarios; sin embargo, ante la ausencia de medidores y otras formas de control, nada garantiza que se respetará este límite de consumo supuesto.

4.3.2 Evaluación hidráulica de la red de conducción

Para el análisis hidráulico de la red de conducción, se hizo el mismo procedimiento que con la red de distribución, explicado antes. Se dibujó la red, se editaron las propiedades de los elementos a partir de las tablas de atributos preparadas previamente, usando como base la información contenida en los planos y memoria de cálculo del proyecto.

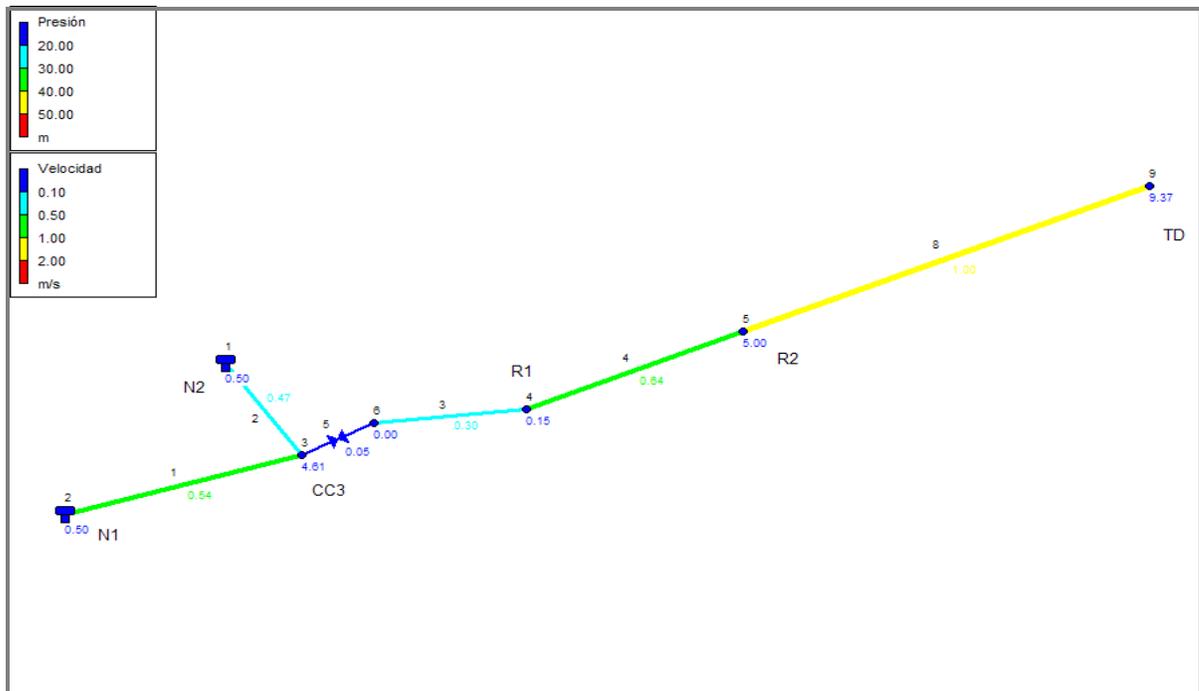


Figura 10. Esquema de la red de conducción original del acueducto El Bordo de las Martitas, se muestra velocidades con diferentes colores en las líneas, para cada rango de velocidad y los colores en los nudos representan la presión según la escala mostrada en el esquema. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Sin embargo, en el Anexo 5 se observa que en la mayor parte de tramos de tubería la velocidad es menor que el valor mínimo admisible (0,60 m/s). En la Figura 10 también se puede ver, usando las escalas de colores mostradas en el esquema, que los valores de velocidad son menores que el valor mínimo admisible. Por otro lado, el Anexo 6 se muestra que en ningún nudo la presión alcanza valores mayores que 60 mca.

Por lo tanto no fue necesario modificar la ubicación del elemento nombrado Caja Colectora 3 (CC3), que también funciona como un tanque rompecarga, por tener las mismas características físicas. La diferencia entre ambos elementos es únicamente que la CC3, será alimentada por el agua que descargarán dos tuberías, procedente de las dos nacientes: N1 y N2. Sin embargo, sí se hizo cambios en los valores de diámetro de los tubos, con el propósito de buscar costos menores a los presentados en el presupuesto original, que es parte de la memoria de cálculo. Los cambios obtenidos se muestran en la figura 11.

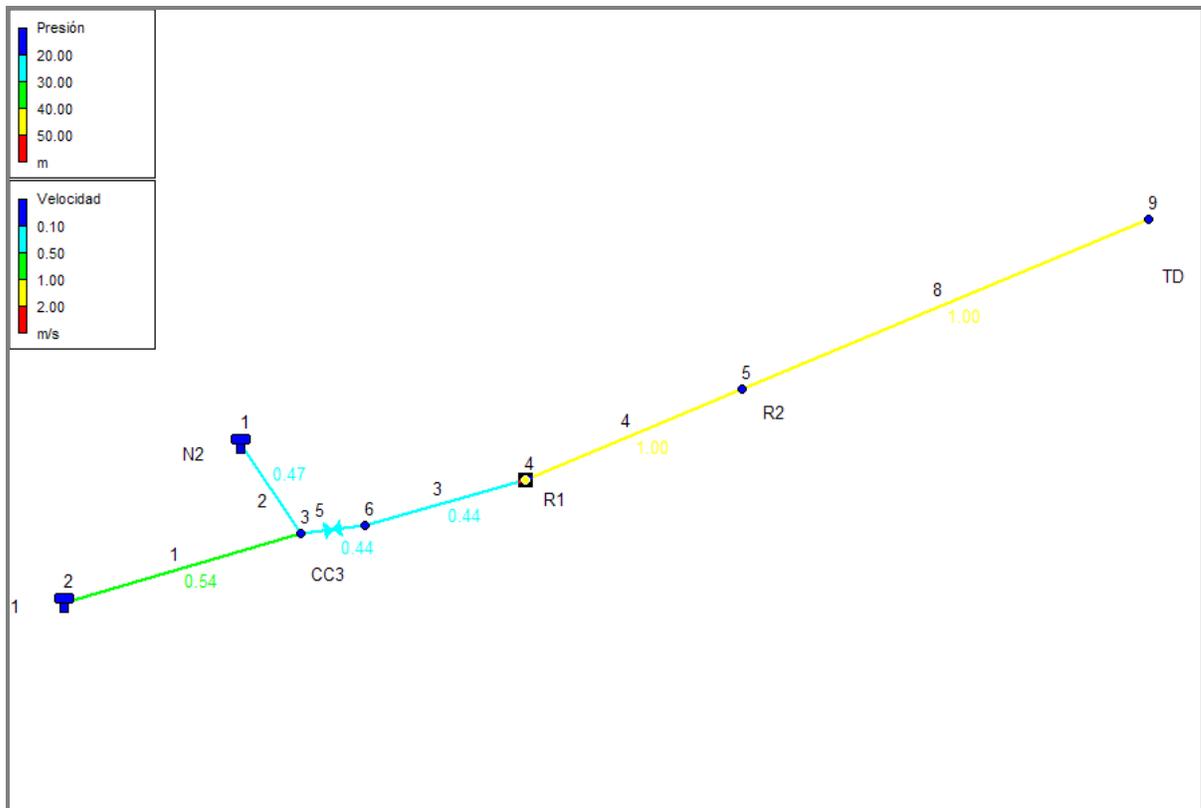


Figura 11. Esquema de la línea de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, que muestra el resultado de presiones en los nudos (nombrados mediante números o letras) y velocidades en las los enlaces (líneas numeradas), con colores diferentes para cada rango de estas variables, según las escalas que aparecen en el esquema. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Cuadro 16. Atributos y resultados de velocidad, en los tubos de la red de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de las Líneas de la Red						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
ID Línea	m	mm		l/s	m/s	
Tubería 4	71,4	44,6	130	1,57	1	Abierta
Tubería 8	166,6	44,6	130	1,57	1	Abierta
Tubería 1	68,9	44,6	130	0,84	0,54	Abierta
Tubería 2	17,0	44,6	130	0,73	0,47	Abierta
Tubería 3	42,3	67,4	130	1,57	0,44	Abierta
Válvula 5	Sin Valor	67,4	Sin Valor	1,57	0,44	Activa

En la figura 8 y en los cuadros 18 y 19 se observa los resultados finales del diseño de la línea de conducción propuesto para el acueducto El Bordo de las Martitas. Se observa que las presiones bajas de operación que resultaban en el diseño original obedecen a un sobredimensionamiento de la tubería.

Cuadro 17. Atributos y resultados de presión en los nudos de la red de conducción modificada, del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de los Nudos de la Red				
	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	l/s	m	m
Nudo 4	994,84	0	994,88	0,04
Nudo 5	989,23	0	992,63	3,40
Nudo 9	979,61	1,57	987,38	7,77
Nudo 3	995,06	0	999,67	4,61
Nudo 6	995,06	0	995,06	0
Depósito 1	999,30	-0,73	999,80	0,50
Depósito 2	999,85	-0,84	1000,35	0,50

4.3.3 Análisis de costos del acueducto El Bordo de las Martitas

Después de diseñar nuevamente, ambas redes del acueducto El Bordo de las Martitas, se efectuó un análisis económico, para saber qué tan significativa es la diferencia entre el presupuesto original y el presupuesto del nuevo diseño. La comparación considera los costos dominantes: costos por materiales y mano de obra calificada, de instalación de tubería. Los cálculos del presupuesto

correspondiente a las tuberías de la línea de conducción se presentan en el Anexo 7 y en el Anexo 8. En el Anexo 9 se muestra los cálculos del diseño de la línea y red de distribución y los cálculos para este elemento para el nuevo diseño aparecen en el Anexo 10.

En el Cuadro 18 se presenta un resumen de los costos de instalación de tuberías, del acueducto El Bordo de las Martitas. En el cuadro mencionado, aparecen sumados los costos totales de esta actividad, para ambos diseños: el original y el nuevo incluyendo materiales y pago de mano de obra calificada. En la comparación mostrada, en las dos últimas líneas, puede apreciarse que la reducción en gasto de dinero, por tuberías es bastante apreciable. Este ahorro de dinero representa más de 46% en la línea y red de distribución, y casi 45% en el presupuesto total por instalación de tuberías. Esta reducción de inversión se logra a pesar de usar criterios de diseño conservadores. Por otra parte, la operación de la red rediseñada no presenta problemas hidráulicos de operación por exceso de presiones o velocidades excesivamente bajas.

El nuevo diseño plantea, también, adicionar un tanque rompecargas. Esto es con el propósito de reducir las presiones y obtener los beneficios que han sido expuestos en líneas anteriores.

Cuadro 18. Resumen de costo de tuberías en la línea de conducción del acueducto El Bordo de las Martitas, y comparación entre el presupuesto original y el presupuesto para el nuevo diseño. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

COMPARACIÓN DE COSTOS	Distribución (Lps)	Conducción (Lps)	Total (Lps)
Costo total en tubería, de todo el acueducto, diseño original.	73835,45	6571,19	80406,64
Costo total de tubería, de todo el acueducto, diseño nuevo.	39776,52	4597,17	44373,69
Reducción de costos de tuberías con el diseño nuevo.	34058,93	1974,02	36032,94
Porcentaje de reducción de costos (%).	46,13	30,04	44,81

4.4 Análisis general de la problemática del agua, en las quebradas seleccionadas

4.4.1 Análisis de la calidad del servicio de agua de uso doméstico, en la zona de estudio

Algunos de los parámetros utilizados para determinar la calidad del servicio de agua de uso doméstico recibido por la población usuaria de las quebradas seleccionadas fueron:

- Continuidad del servicio.
- La calidad del agua.
- El uso que el usuario le puede dar.
- Si el agua recibe tratamiento antes de llegar al usuario.
- Atención brindada a los usuarios por los administradores de los sistemas de abastecimiento.
- Si la cantidad es suficiente para cubrir las necesidades de los usuarios.

A través de la encuesta semiestructurada practicada a usuarios en todos los barrios y comunidades servidas se logró obtener los siguientes datos:

La Figura 12 muestra que solamente el 60% de los abonados consultados reciben agua con tratamiento. En este punto, se debe recordar que el 20 de los 75 abonados entrevistados reciben agua de la Quebrada Agua Amarilla. Aunque el agua de este acueducto pasa por una planta potabilizadora, esta condición no resuelve el problema de calidad. Un indicador es que 18 de los 20 abonados no la ingieren. Aproximadamente el 55% los usuarios que sí ingieren el agua, la reciben sin tratamiento previo. Además, el 17% del total de abonados entrevistados usa agua embotellada para beber, lo cual incrementa drásticamente el costo del agua, sin reflejarse en la tarifa.

En la Figura 12, también se observa que el 44% de los abonados usan fuentes de agua adicionales. Asimismo, un 47%, de los abonados opinó que el agua que recibe no es suficiente para sus necesidades básicas. Ellos, usan fuentes alternas para solventar sus necesidades.

Por otro lado, la cobertura de servicio de alcantarillado sanitario es escasa. Este servicio está disponible, parcialmente, para el casco urbano; cuyos pobladores entrevistados representan el 22,67% del total, valor que aparece en la Figura 12. El hecho que las comunidades de las zonas altas, no tengan acceso a este servicio, tiene impacto en la calidad del agua que corre aguas debajo de éstas. En efecto, es común el vertido aguas servidas, directa e indirectamente, a las corrientes superficiales.

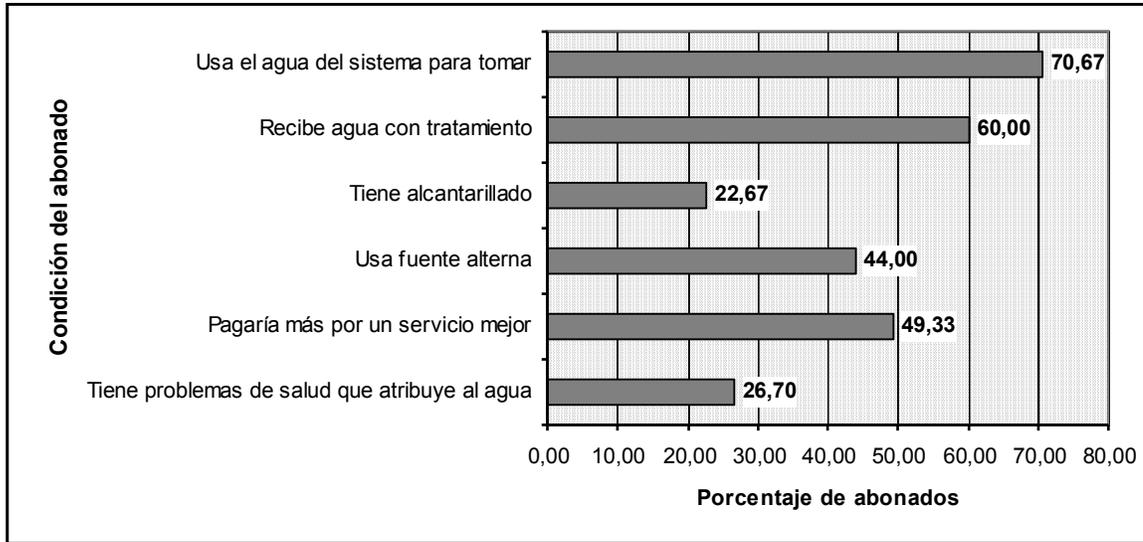


Figura 12. Datos generales, en base a la percepción de los usuarios, sobre el servicio de agua de uso doméstico prestado a éstos, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Se puede ver en el Cuadro 19, que el promedio de abonados entrevistados, tiene una capacidad de almacenar agua de 4,37 m³. Sin embargo, la gran mayoría de los usuarios tiene escasa capacidad de almacenamiento; la cifra mostrada se ve alterada, por una minoría de usuarios que exceden, por mucho, el promedio de esta variable. La poca capacidad de almacenar agua, hace que los usuarios requieran el servicio de forma continua. Sin embargo, el promedio de los abonados tiene agua, solamente, el 17,55% del tiempo, en verano; y casi el doble de este porcentaje, en invierno. Estos datos se pueden ver en el Cuadro 20.

Cuadro 19. Tarifa mensual, habitantes por vivienda y capacidad de almacenamiento de los usuarios del servicio de agua de uso doméstico, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Tarifa mensual por vivienda	L. 29,20	US\$ 1,55
Número de habitantes por vivienda	6,04	
Capacidad de almacenamiento por vivienda (m ³)	4,37	

Cuadro 20. Tiempo de servicio efectivo promedio (en horas por mes y porcentaje), brindado por los sistemas cuyas fuentes son las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda; en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

	% de tiempo	horas/mes
Verano	17,55	126,36
Invierno	33,06	238,03

La Figura 13 muestra la opinión de los abonados, respecto a la calidad del agua y la calidad de la atención recibida. En general se requiere la colaboración del personal de mantenimiento para reparar averías en la instalación, fugas de agua en la red, y cuando el servicio es suspendido de forma irregular. Aunque la mayoría de los usuarios piensa que la atención es buena, no existe un funcionario que atienda ese tipo de demandas. Ni siquiera la Alcaldía Municipal cuenta con personal encargado de atención al público. Normalmente los abonados deben buscar al fontanero para hacer la petición directamente y de manera informal.

Especialmente en los acueductos manejados por juntas de agua y patronatos, la tarifa mensual establecida por servicio de agua de uso doméstico, apenas cubre el salario del fontanero. El pago mensual a los fontaneros que trabajan para patronatos y juntas de agua, es aproximadamente la mitad o un tercio del salario mínimo en Honduras. Por lo tanto esta persona tiene que realizar otras actividades para poder sobrevivir, y no puede considerarse personal de tiempo completo.

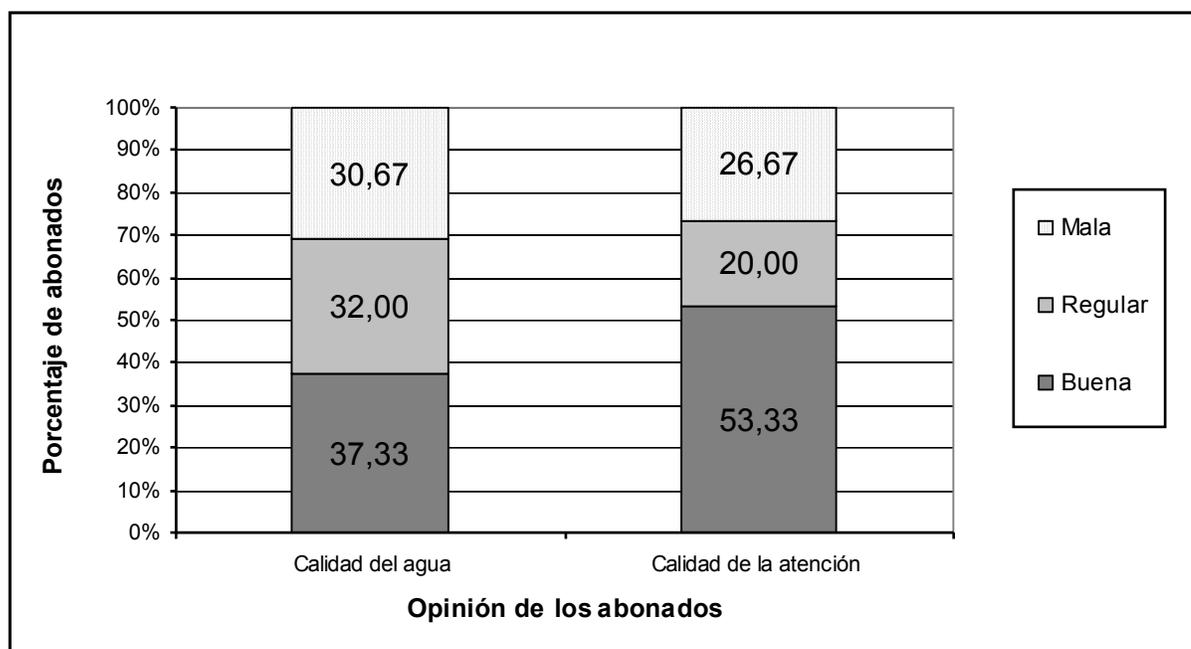


Figura 13. Opinión de los abonados acerca de la calidad del agua y la calidad de la atención para el servicio de agua de uso doméstico de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

En cuanto a la calidad del agua, la mayoría de los abonados que manifestó inconformidad, pertenece a las Aldeas Cerro Grande y Las Cañadas. Del resto de entrevistados, muchos dijeron que el

agua que reciben es buena; aún cuando, también, aseguran que tiene gran contenido de sedimentos, especialmente en invierno.

4.4.2 **Análisis de la calidad del servicio de agua de uso doméstico, en diferentes partes de la microcuenca, en las quebradas seleccionadas**

La Figura 14 muestra, como la parte media de la microcuenca, cuenta con mayor tiempo efectivo de servicio. Un servicio de buena calidad requiere continuidad, y como puede observarse en el gráfico, la parte media, que es la más favorecida, recibe un promedio aproximado de 12,6 horas diarias de abastecimiento de agua. Mientras que la parte alta recibe en promedio aproximado de 5,1 horas diarias de servicio. Y por último la parte baja recibe apenas un promedio aproximado de abastecimiento diario de 0,6 horas. Estos datos muestran, en parte, deficiencias en la prestación del servicio de agua uso doméstico, en todos los sectores de las quebradas analizadas; pero también, la inequidad existente en el aprovechamiento del recurso.

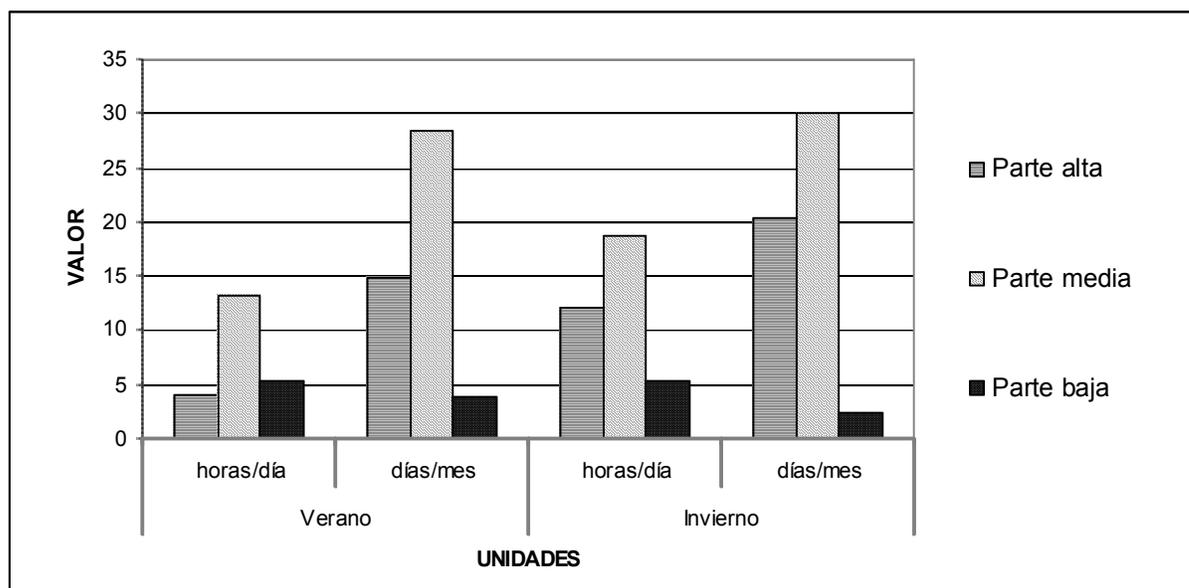


Figura 14. Tiempo de servicio en horas diarias y días por mes, en invierno y verano; observado por los usuarios de agua de uso doméstico, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en diferentes partes de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras, 2005.

La Figura 15 ilustra diferentes parámetros de la encuesta de aplicada a los usuarios, para determinar falencias en el servicio de agua de uso doméstico en las distintas partes de la zona analizada. Partiendo de estos aspectos negativos, se puede comparar las diferencias de calidad de

servicio, que existen entre las partes (alta, media y baja) de la microcuenca. Las causas de estas diferencias son:

- En la parte alta las quebradas o arroyos usados como fuente, tienen un caudal menor.
- Gran parte del agua producida por las quebradas es sustraída con obras de toma construidas en la parte alta, para acueductos que abastecen a la parte media y baja de la microcuenca.
- El agua de la microcuenca, cuando pasa por las partes media y baja de la misma recibe descargas contaminantes.
- Cada parte de la microcuenca, del área en estudio, tiene un prestador del servicio de agua de uso doméstico diferente: en la parte alta, aproximadamente el 86% de los usuarios son abastecidos por acueductos manejados por juntas de agua, y el resto, por la Alcaldía Municipal; en la parte media, el único administrador del servicio es la Alcaldía Municipal; en la parte baja, solamente el SANAA presta el servicio.

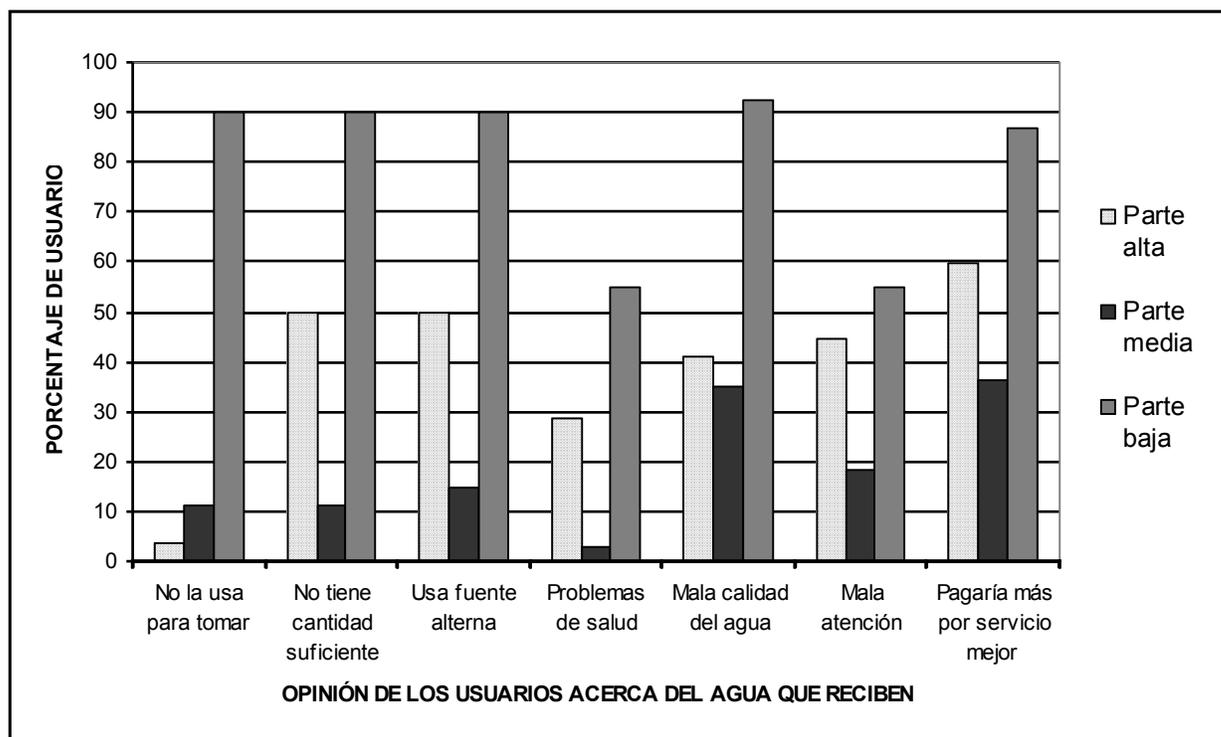


Figura 15. Opiniones desfavorables más frecuentes acerca del de agua recibida, vertidas por los usuarios de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, partes alta, media y baja, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

La renuencia de los usuarios del servicio de agua de uso doméstico, de la parte baja de la microcuenca (aldeas Cerro Grande y Las Cañadas) a ingerirla, es consecuencia de altas concentraciones de elementos que alteran sus propiedades como color, sabor y su capacidad como diluyente, y la convierten en no apta para el consumo. Esta condición del agua se debe a un proceso de contaminación, desencadenado por las fuertes precipitaciones ocurridas durante el paso del Huracán Mitch. Según algunos pobladores, las prolongadas lluvias causaron movimientos de tierra en una zona con desechos de actividad minera, ubicada en las riveras y cauce de la Quebrada Agua Amarilla, en la parte alta. Este problema ha sido evidenciado por estudios de TYP SA LYPSA (2001) y Araya (2005).

Otra de las consecuencias, de la presencia de estos metales pesados en el agua, es que aumenta la acidez de la misma y provoca la corrosión de la tubería metálica. Por este motivo se han dañado, paulatinamente, las cañerías y accesorios de la red de distribución; lo que a su vez provoca, reducción del caudal e interrupciones en el servicio. Los usuarios también reportaron daños en los aparatos sanitarios, por formación de sarro y deterioro de válvulas, debido a los metales contenidos en el agua.

En pleno verano, el acueducto de Cerro Grande y Las Cañadas puede sustraer 8,65 l/s de la fuente llamada Las Golondrinas, ubicada en La Quebrada Agua Amarilla (caudal que corresponde al aforo realizado como parte de este estudio). Si esa cantidad de agua fuera distribuida equitativamente entre los 411 abonados actuales del servicio, con seis habitantes por casa, correspondería a cada persona, aproximadamente 300 litros diarios. Esta cantidad es más del doble que la asignación de agua que realiza el SANAA en zonas urbanas.

La Figura 16 muestra los problemas relacionados con el suministro de agua de uso doméstico, identificados por los usuarios con mayor frecuencia. Entre los problemas mencionados están: escasez de agua, especialmente en verano; gran contenido de sedimentos en el agua, especialmente en invierno; y contaminación.

El problema de escasez es evidente en el acueducto de La Esperanza, La Leona y El Carmelo; pues en época seca, sólo tiene capacidad para servicio efectivo por algunas horas cada cuatro días. Esta situación obliga a los usuarios a acudir a fuentes alternas, como el río y los lavaderos públicos construidos por la Alcaldía Municipal, especialmente para lavar ropa. Por otro lado, los usuarios del acueducto de Cerro Grande y Las Cañadas se quejan de recibir agua solamente unas horas, cada dos o cuatro semanas, en cualquier época del año; a pesar de que el acueducto es capaz de captar más de

8 l/s de la fuente y en la oficina del SANAA reportan más de 6 l/s de agua entregado. Los abonados al servicio del SANAA tienen que recurrir al uso de agua de pozo, agua lluvia, el río, agua purificada y otros sistemas para suplir esta necesidad.

Otro problema mencionado en Figura 16, es la gran cantidad de sedimentos contenidos en el agua. Esta situación se explica, porque ningún acueducto cuenta con un sistema de pre tratamiento en el sistema de captación. La mayoría de las obras de toma están averiadas, con fisuras, tienen un filtro muy rudimentario hecho de malla metálica, no tienen desarenador, ni están tapadas. En las visitas realizadas a las obras de toma se encontró que la mayoría de ellas estaban llenas de lodo, arena y hojas. El único sistema de distribución que cuenta con planta de tratamiento es el acueducto de Cerro Grande y las Cañadas; y el único tratamiento aplicado, en algunos de los otros acueductos, es la desinfección con hipoclorito de calcio.

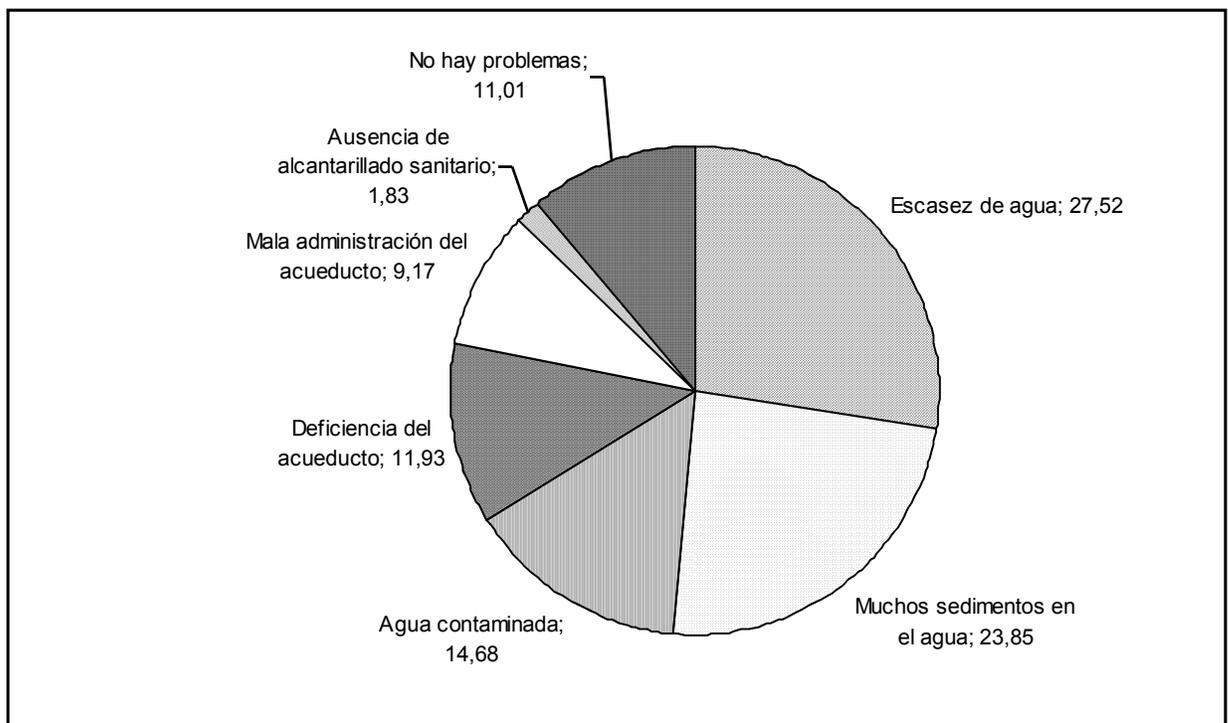


Figura 16. Opiniones más frecuentes de los abonados acerca de los problemas existentes en el servicio de agua de uso doméstico de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

El tercer problema en importancia (ver Figura 16), a criterio de los usuarios, es la contaminación. En este sentido, cabe mencionar que la población de la parte baja de la microcuenca, servida por el SANAA, es la que sufre más este problema. Esto se nota en estudios practicados al agua

en diferentes años y por la planta de tratamiento que fue necesaria para tratar de aliviar esta situación. En el momento de la visita a la planta de tratamiento de Cerro Grande, esta tenía cuatro meses de haber iniciado operaciones, pero aún no había podido eliminar el sabor ácido del agua. En las entrevistas a los usuarios, se comprobó que los mismos se quejan de la dureza y mal sabor del agua. Los usuarios del acueducto del Cantón, también sufren un problema similar en invierno, cuando se ven obligados a tomar agua de la Quebrada Agua Amarilla, ante la escasez de la otra fuente.

En la Figura 17 se ilustra las causas a los problemas relacionados con el abastecimiento de agua de uso doméstico. Entre los motivos identificados, los tres mencionados con mayor frecuencia son: crecimiento poblacional, pérdida del bosque y deficiencia mecánica del sistema de abastecimiento.

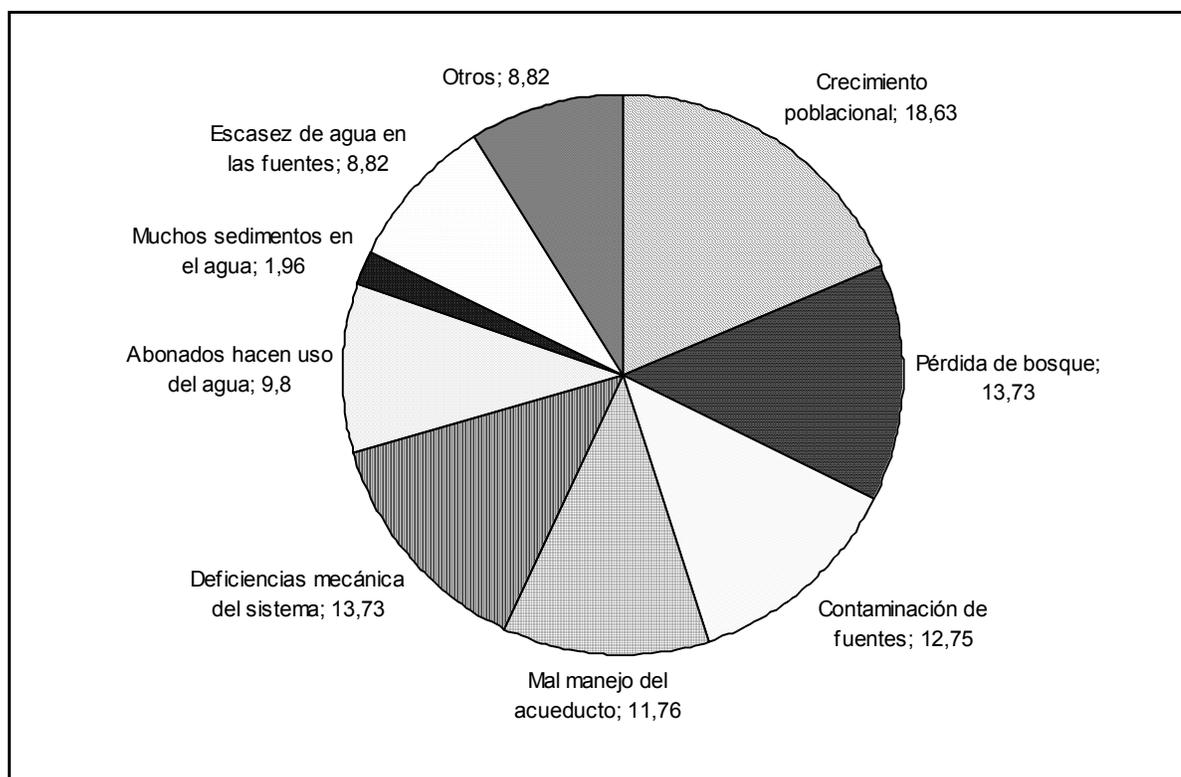


Figura 17. Opiniones más frecuentes acerca de las causas de los problemas en el abastecimiento de agua de uso doméstico, en las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

En Valle de Ángeles hay muchos inmigrantes, especialmente de Tegucigalpa, quienes gustan del clima y paisaje. Muchas de estas personas tienen mayores ingresos que los nativos y construyen casas con jardines, cisterna y piscina. Lo que demanda más agua, que la dotación especificada por el SANAA. Dado que no hay medidores, la tarifa no contempla variaciones en el consumo. Otro caso es el acueducto de La Esperanza, el cual en nueve años ha duplicado el número de usuarios.

El segundo problema más mencionado es la pérdida de bosque (Figura 17). De aquí se deduce que los usuarios de agua sí perciben una relación de la disposición del recurso hídrico y la cobertura del suelo. En este sentido, La Quebrada Agua Amarilla está dentro del área protegida por AMITIGRA, aunque no deja de tener cierta explotación, especialmente por los buscadores de leña. Por otro lado, La Quebrada San Francisco (que abastece a la mayor cantidad de usuarios de la microcuenca) y La Quebrada Honda, con serios problemas de escasez, no tienen ningún tipo de protección. El suelo en la zona de recarga de estas quebradas, está siendo usado para actividades agrícolas y asentamientos humanos. Y no existe, hasta la fecha, ningún plan de ordenamiento territorial que frene estas tendencias. El cuadro 21 muestra el uso actual de las quebradas estudiadas. Los datos revelan el predominio que tiene la agricultura como uso de suelo en la zona. Lo anterior demuestra la falta de un plan de manejo integrado de la microcuenca.

Cuadro 21. Estado físico y del suelo en las zonas de recarga, de las principales fuentes de agua de uso doméstico, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Microcuenca	Estado Físico	Uso de la Zona de Recarga	Aforo (l)	
			Invierno	Verano
El Suizo	Algunos Sectores Deforestados	Agricultura	6,08	3,92
Las Martitas	Algunos Sectores Deforestados	Asentamiento humanos y fincas de café	3,50	2,70
La Cartuchera	Regular estado	Agricultura	2,48	1,92
San Francisco	Bueno	Extracción de Leña fincas de café)	13,80	9,46
La Chanchera	Sectores deforestados	Cultivo de café, hortalizas, plátanos, papas	-	1,89
Las Golondrinas	Sectores deforestados			
El Matasanos	Buena	-----	5,41	3,20
Los Jutes	Buena	-----	3,80	2,45
Quebrada Amarrilla	Deforestadas	-----	-	20,00
Quebrada de Bellos	Deforestada	Agricultura	-	-
Cerro El Hospital	Deforestada	Agricultura	-	-
Buena Vista	Bueno	Agricultura	-	-
El Mozotillal	Sectores deforestados	Agricultura	-	-
El Encinal	Buena	-----	-	-
Escóbales	Buena	Agricultura	5,85	3,95
Chinacla	Buena	Agricultura	-	-

Fuente: Fundación Vida (2004).

Otro de los problemas más mencionados por los usuarios es la mala condición de los acueductos (Figura 17). Muchos de los abonados atañen sus problemas de escasez a la deficiencia del acueducto, para distribuir el agua equitativamente. Esto, por que el sistema misma carece de un diseño eficiente o porque ha sufrido daños que no han sido reparados, por falta de un mantenimiento eficaz.

La Figura 18 muestra las soluciones que los abonados plantearon ante la problemática del abastecimiento de agua de uso doméstico. La mayoría de los usuarios entrevistados identificó como solución la conservación del bosque y la reforestación, especialmente en áreas cercanas al cauce de las quebradas. Los usuarios perciben que hay una relación entre la cobertura del suelo y la cantidad de agua que las corrientes superficiales transporta en verano, pero no comprenden que las zonas de recarga también deben ser conservadas. Los usuarios están acostumbrados a proyectos de reforestación, del área aledaña a la obra de toma; en consecuencia, ellos perciben como cuenca hidrográfica a los cauces de las quebradas y sus riveras, únicamente.

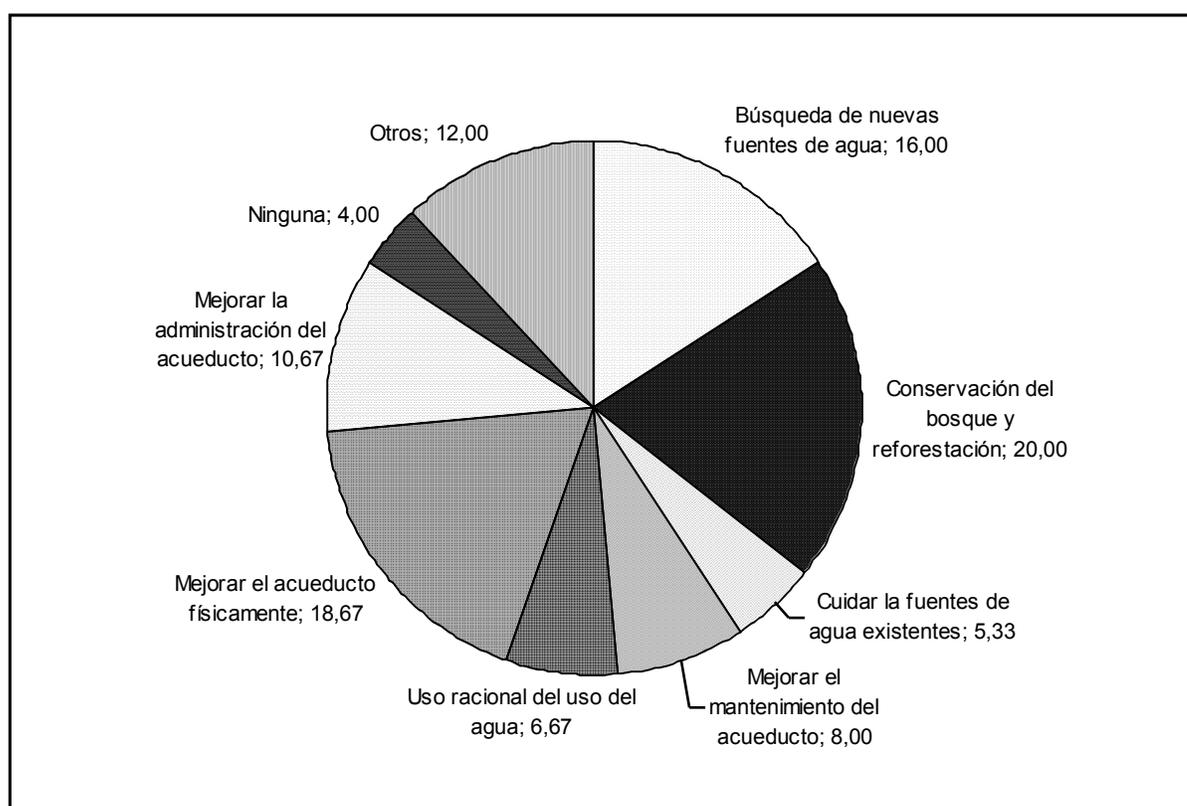


Figura 18. Soluciones ante la problemática del abastecimiento de agua de uso doméstico, planteadas con mayor frecuencia por los usuarios de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Otra solución planteada (Figura 18) fue: Mejora física del acueducto. Esto significa modificar sus características hidráulicas, reconstruir la red de forma que pueda cumplir su función con la mayor eficiencia posible, según las circunstancias de cada caso. Además, que pueda cubrir las demandas proyectadas en el futuro hasta el tiempo de vida útil de la tubería. Para lograr esto se debe evaluar los componentes actuales y determinar cuales son funcionales aún, de manera que la obra de remodelación del acueducto sea lo más económica posible.

La búsqueda de nuevas fuentes de agua (Figura 18) fue la tercera solución enunciada, principalmente por los usuarios que residen en las aldeas Cerro Grande y Las Cañadas. Es conocido que el agua que se les suministra no cumple con los requisitos mínimos de calidad que ellos demandan. Esta situación persiste, no obstante que la planta de tratamiento tenía cuatro meses de operación al momento de realizar las entrevistas en dicha localidades.

4.4.3 Análisis de vulnerabilidad de los sistemas

La información obtenida a partir de la entrevista aplicada a los prestadores del servicio de agua de uso doméstico se muestra a continuación, clasificada en varios cuadros, de acuerdo a la temática.

El

Cuadro 22 muestra una descripción de los componentes básicos de los acueductos que sustraen agua de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad. También es posible observar en este cuadro las deficiencias de los diferentes elementos. Entre éstas se puede ver que ninguna de las obras de toma, que actualmente está en funcionamiento, cuenta con un desarenador, ni otro ningún sistema para separar los elementos sólidos del agua, antes de que ésta llegue a los usuarios. La mayoría de las personas encargadas de estos acueductos aduce que los desarenadores fueron destruidos durante el paso del Huracán Mitch, desde hace siete años, problema que no ha sido solucionado. La única obra de toma que no está abierta y expuesta a la entrada de lodo y desechos orgánicos exteriores es la caja de captación del acueducto de Las Martitas; sin embargo, aún ésta presentaba, una capa de lodo y arena en el fondo de la misma.

En cuanto a las líneas de conducción y distribución, éstas carecen casi en su totalidad de válvulas de aire, las cuales deben estar ubicadas en los vértices de la tubería, para evitar que el aire acumulado en los puntos altos obstaculice el movimiento del agua. Esta situación provoca que el sistema interrumpa el servicio, por lo que los fontaneros se ven obligados a solucionar de forma rudimentaria, con pequeñas perforaciones en la tubería, lo que a su vez provoca fugas continuas de agua en esos puntos. También es frecuente, según los fontaneros entrevistados, que ocurran rupturas en las tuberías; pues existen muchos tramos de tubería de PVC expuestos en la superficie, situación que los fabricantes no recomiendan. Un ejemplo típico es el acueducto La Cartuchera: según los aforos realizados, el caudal que llega al tanque es la mitad del que sustrae en la obra de toma.

Cuadro 22. Resumen de las condiciones físicas de los sistemas de distribución de agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Acueducto	Componentes del sistema				
	Captación	Red de conducción	Tanque de distribución	Tratamiento	Red de distribución
San Francisco	Presa de concreto, sin tapa, filtro ni desarenador; con fisuras y pérdidas de agua.	Aproximadamente 40 m de tubería HG de 152,4 mm de diámetro y 310 m de tubería de PVC de 152,4 mm de diámetro.	Dos tanques de 235 m ³ y 210 m ³ , unidos con tubo HG de 152,4 mm de diámetro.	Los tanques tienen hipoclorador y aplican hipoclorito de calcio.	Tubería de HG de 203,2 y 152,4 mm de diámetro; tubería de PVC de 152,4; 101,6 y 76,2 mm de diámetro
El Suizo	Caja de toma en el fondo del cauce, sin filtro ni desarenador; en mal estado.	Tubería de HG en 101,6; 76,2 y 50,8 mm de diámetro; tubería de PVC de 50,8 mm de diámetro.	El tanque de 18,93 m ³ está fuera de servicio, pues su nivel es muy bajo respecto al nivel de los usuarios.	No hay	La red de conducción es la misma red de distribución. El Suizo y Las Martitas se unen para formar un mismo acueducto.
Las Martitas	Caja de toma de dos cámaras conectadas, ubicada en la naciente; sin filtro ni desarenador.	Tubería de HG en 76,2; 50,8 y 1 mm de diámetro; tubería de PVC de 76,2; 50,8 y 1 mm de diámetro; es deficiente.	No hay	No hay	
La Chanchera 2	Obra de captación de concreto, en buen estado pero sin desarenador.	Tubería de HG y PVC de 50,8; 38,1 y 24,4 mm de diámetro; es deficiente.	Tanque de 132,48 m ³ , ubicado en el Barrio La Cimbra, donde La Chanchera 2 y La Cartuchera se unen para formar un solo acueducto.	Desinfección con hipoclorito de calcio.	Tubería de PVC de 38,1 mm de diámetro.
La Cartuchera	Obra de captación de mampostería, en el propio cauce.	Tubería de HG y PVC de 76,2; 50,8 mm de diámetro; con tramos expuestos.			
El Bordo de las Martitas (en construcción)	Obra de captación será dos cajas de concreto ubicadas en las nacientes.	Tubería de PVC de 76,2, 50,8 y 38,1 mm de diámetro	Tanque de concreto para 37,90 m ³ .	Tendrá desinfección con hipoclorito de calcio.	Tubería de PVC de 38,1 mm de diámetro.
El Cantón	Presa de concreto, sin tapa, filtro ni desarenador.	Tubería de PVC y HG de 76,2 y 38,1 mm de diámetro; está expuesta y se hacen extracciones de ella.	Dos tanques de 68,78 m ³ y 26,76 m ³ , operan de forma independiente.	Hay hipoclorador, pero los usuarios prefieren el agua sin cloro.	Tubería de PVC de 1 y 38,1 mm de diámetro.
Cerro Grande y Las Cañadas	Presa de concreto, sin tapa, filtro ni desarenador; en mal estado.	Tubería de PVC y HG de 152,4 mm de diámetro; tanque rompecarga.	Dos tanques de 1.323 y 945 m ³ .	Planta de tratamiento con floculador, decantador y neutralizador.	Tubería de PVC de 152,4; 101,6; 76,2; 50,8; 38,1 y 1 mm de diámetro.
La Esperanza, La Leona y El Carmelo	Presa de concreto, sólo funciona en invierno. En verano usan otras tomas arriba de la presa.	Tubería de PVC y HG de 76,2 y 50,8 mm de diámetro; es deficiente; tanque rompecarga.	Un tanque de 85,77 m ³ , en buen estado.	Desinfección con hipoclorito de calcio.	Red de dos ramales con tubería de PVC de 25,4 y 38,1 mm de diámetro.

Fuente: Evaluación de los sistemas de abastecimiento de agua en Valle de Ángeles (SWECO-ECO, 2004).

Otro elemento frecuentemente expuesto en los acueductos evaluados, son los tanques de distribución. Casi todos los tanques, a excepción de los correspondientes a El Cantón y Cerro Grande y Las Cañadas, se encuentran expuestos y son bastante accesibles a los extraños. Un caso especial es el tanque del acueducto de San Francisco, que sirve a la población más numerosa de la microcuenca. Este tanque tiene averías en el techo, por donde entran desechos orgánicos procedentes de los árboles cercanos y agua de lluvia.

En general, en todos los acueductos evaluados, el personal contratado para atenderlos no cuenta con entrenamiento formal en fontanería. No se ha aplicado ningún programa de capacitación continua para mejorar su desempeño. Por otro lado el salario que reciben, es menor que el salario mínimo establecido por ley, ni corresponde a su labor. Tampoco se les dota de las herramientas y materiales necesarios en su trabajo, ni de medios de transporte cuando debe cubrir grandes distancias. Por lo general cada junta de agua o patronado tiene su propio fontanero. En el caso de la Alcaldía Municipal, se cuenta solamente con dos fontaneros, quienes atienden cuatro acueductos con 550 abonados. Para cumplir con su función recorren grandes distancias a pie (

Cuadro 23); además realizan labores ajenas a su oficio.

Los fontaneros de los acueductos en estudio, no usan manual, planos ni bitácora en su trabajo. Ellos realizan su labor confiando en su memoria y la experiencia de muchos años. Esta situación representa un riesgo para el manejo del acueducto, cuando ellos abandonen esta labor. Además los fontaneros, generalmente, usan sus propias herramientas y medios de transporte. Por este motivo muchas veces deben improvisar con materiales y herramientas no apropiadas para atender una avería en la red. Con frecuencia deben esperar varios días, hasta que la persona facultada haga las compras de los materiales necesarios.

Casi ninguno de los prestadores del servicio entrevistados, considera necesaria la medición de caudales del agua que sustrae o de la que entrega. Generalmente, no se realiza pruebas de calidad del agua. La excepción es el SANAA, que por el uso de la planta de tratamiento, practica mediciones de parámetros de calidad del agua, y del caudal que entra a la planta.

Cuadro 23. Resumen de las condiciones de operación de los sistemas de distribución de agua de uso doméstico de la Microcuenca del Río La Soledad, quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Acueducto	Personal de operación y mantenimiento	Uso de manual, planos y bitácora.	Herramientas	Materiales	Entrenamiento del personal	Atiende a los usuarios
San Francisco	Dos fontaneros a tiempo completo atienden cuatro acueductos, a veces, labores ajenas a este trabajo.	No usan manual, bitácora ni planos. Hacen su trabajo de memoria.	Herramientas rudimentarias, improvisadas, algunas son propiedad de los empleados; cubren la gran distancia entre sus sitios de trabajo a pie.	Mantienen algunos tubos para reparaciones menores, pegamento y cloro.	Los fontaneros han recibido instrucción en la aplicación de cloro al agua.	El fontanero
El Suizo y Las Martitas						
La Chanchera y La Cartuchera						
El Bordo de las Martitas (en construcción)	No hay personal, porque este acueducto no ha entrado en operación.	AMITIGRA entregó planos y memoria de diseño completa al presidente de la junta de agua.			AMITIGRA capacitará a la junta de agua, antes del inicio de operación del acueducto.	
El Cantón	Un fontanero	No usan manual, bitácora ni planos, hacen su trabajo de memoria.	Usa herramientas propias, pero no todas las necesarias; no tiene medio de transporte.	Compra materiales hasta que surge un problema.	Formación de la junta de agua, pero no capacitación técnica. El fontanero trabajó con el SANAA.	El fontanero
Cerro Grande y Las Cañadas	Dos fontaneros a tiempo completo y tres operadores de la planta de tratamiento.	Sólo en la planta de tratamiento	Tienen las herramientas necesarias	Material para reparaciones de la red, pero no para la planta de tratamiento.	Sólo han sido entrenados los operadores de la planta de tratamiento.	En la planta de tratamiento y el fontanero
La Esperanza, La Leona y El Carmelo	Un fontanero	Tienen planos, pero no son actuales; no usan manual, planos ni bitácora.	Tienen algunas herramientas rudimentarias, pero no todas las necesarias. No tiene medio de transporte.	Un lance (6 m) de tubería y pegamento.	Ninguno	El fontanero

Del Cuadro 24 se puede saber que algunos de los acueductos han sobrepasado la vida útil normal, de este tipo de estructuras. El acueducto de San Francisco tiene 47 años de servicio y el acueducto de El Cantón tiene 30 años. En cuanto a la situación legal de las juntas de agua, la mayoría de las que corresponden a la zona en estudio, han sido favorecidas con proyectos para mejorar el

abastecimiento de agua. Como un componente de los proyectos, se incluye el trámite de la personería jurídica.

Cuadro 24. Datos administrativos de acueductos de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Acueducto	Inicio de operación	Tipo de organización	Estado legal de la organización	Nivel de participación de los usuarios	Instituciones de apoyo	Tarifa mensual
San Francisco	1958	Alcaldía Municipal		Ninguna	La Alcaldía Municipal de Valle de Ángeles está iniciando un proyecto de remodelación de todo el sistema de abastecimiento de agua y alcantarillado sanitario, con un préstamo del BID.	Habitacional: Lps 32,00 (US\$ 1,70); Negocio: L.37,00 (US\$ 1,96); Negocio con cisterna: Lps 70,00 (US\$ 3,71); Residencia con piscina: Lps 120,00 (US\$ 6,36); Parque Obrero: Lps 4.700 (US\$ 249,07)
El Suizo y Las Martitas	1990					
La Chanchera y La Cartuchera	1990					
El Bordo de las Martitas (en construcción)	2005	Junta de Aguas	Personería Jurídica en trámite	Sesiones con la junta de agua y construcción de la red	AMITIGRA está construyendo el acueducto con fondos de la Unión Europea y con apoyo de la comunidad	La tarifa no ha sido acordada.
El Cantón	1975	Patronato	Personería Jurídica en trámite	Sesiones y limpieza anual de línea de conducción	AMITIGRA está remodelando el acueducto con fondos de la Unión Europea y con apoyo de la comunidad; el acueducto original lo construyó CARE y más tarde el FHIS construyó el segundo tanque.	Nativos: Lps 15,00 (US\$ 0,79) y Foráneos: Lps 25,00 (US\$ 1,32)
Cerro Grande y Las Cañadas	1982	Actualmente el SANAA maneja el acueducto, pero éste será traspasado a una Junta de Agua que ya ha sido formada.	Personería Jurídica de la junta de agua en trámite	Asistencia a sesiones de la junta de agua y construcción de línea de conducción; el SANAA no requiere de participación ciudadana.	La planta potabilizadora fue donada por la fundación española SETA; AMITIGRA está remodelando el acueducto con fondos de la Unión Europea y con apoyo de la comunidad.	Residencial: Lps 30,00 (US\$ 1,59) y Lps 50,00 (US\$ 2,65); Gobierno: Lps 400,00 (US\$ 21,20)
La Esperanza, La Leona y El Carmelo	1996	Junta de Aguas		Poca asistencia a sesiones de la junta de agua, reforestación	El acueducto original fue construido por el proyecto ALA/86	Lps 15,00 (US\$ 0,79); con tanque: Lps 30,00 (US\$ 1,59); con cisterna:

			ocasional y limpieza.		Lps 60,00 (US\$ 3,18)
--	--	--	--------------------------	--	--------------------------

La mayoría de los acueductos correspondientes a juntas de agua y patronatos, han sido construidos con el apoyo de alguna institución donante. En consecuencia los administradores del servicio, muchas veces desconocen el valor real de la obra y no establecen una tarifa acorde al costo de mantenimiento y sostenibilidad económica del mismo. Esta situación se puede observar, en la diferencia marcada que existe, entre la tarifa mensual pagada por el servicio de agua de uso doméstico a las juntas de agua y patronatos, y la tarifa pagada a la Alcaldía Municipal y el SANAA (ver cuadro 18). Algunas instituciones administradoras del agua para uso doméstico han establecido un sistema de penalización con multa por desperdicio o por morosidad, pero la única que aplica, parcialmente, este sistema es la Alcaldía Municipal, especialmente cuando no hay fondos para pagar a los empleados.

El Cuadro 25 resume las amenazas y vulnerabilidad, en que se encuentran los componentes de los acueductos evaluados; y en consecuencia, los usuarios del agua abastecida por los mismos. Por relatos de los encargados de dichos acueductos, se puede decir, que el evento que causó daños extremos, en estas estructuras fue el Huracán Mitch. Los daños sufridos en ese tiempo, en resumen, fueron:

- Destrucción total o parcial de las obras de captación
- Destrucción parcial de las redes de conducción y distribución, especialmente en los tramos que cruzan los cauces de quebradas o están paralelos a ellos
- Contaminación de La Quebrada Agua Amarilla.
- Deterioro el suelo de las riveras de las quebradas, por pérdidas de cobertura vegetal, que dejó el suelo descubierto, más propenso a deslizamientos y erosión
- Sedimentos en el agua.

Otros riesgos provocados por circunstancias más corrientes, es la exposición de la tubería a los incendios forestales y a los transeúntes. También existen daños continuos en las válvulas, provocados por el manipuleo clandestino de las mismas.

Hasta ahora, poco o nada se hace por mitigar el riesgo presente en los sistemas de distribución de agua de uso doméstico. Las redes que trasportan el agua no han sido reparadas a cabalidad de los

daños sufridos durante el Huracán Mitch, y ninguna obra de toma ha sido rehabilitada para prestar un servicio aceptable. La rivera y cauce de la Quebrada Agua Amarilla y del Río La Soledad que perdieron su cobertura vegetal, por el arrastre del agua, ya está en regeneración natural. Sin embargo, la zona de recarga de la microcuenca cada día pierde más árboles, incluso el área bajo protección de AMITIGRA. Sin embargo, este problema es mayor en la zona de recarga de la quebrada San Francisco, la cual no cuenta con un programa de protección.

Cuadro 25. Amenazas y vulnerabilidad en acueductos de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Acueducto	Amenazas	Elementos vulnerables	Daños pasados
San Francisco	Inundaciones, deslizamientos, incendios, daños humanos y contaminación.	El tanque de distribución tiene averías en el techo y por allí recibe desechos orgánicos.	Daños serios a las presas de captación; destrucción parcial de red de conducción y distribución. Las zonas de recarga están sufriendo cambio de uso, el bosque se convierte en zona agrícola de forma acelerada. No existe un programa de protección para la zona de recarga.
El Suizo y Las Martitas	Inundaciones, deslizamientos, incendios y daños humanos.	Obra de toma, tubería, tanque, válvulas.	
La Chanchera y La Cartuchera	Inundaciones, deslizamientos, incendios y daños humanos.	Las presas están expuestas a daños de humanos y desechos arrastrados por la lluvia.	
El Cantón	Inundaciones, deslizamientos e incendios.	La tubería de distribución pasa por propiedades privadas, la tubería de conducción sufre de extracciones clandestinas. El agua usada en verano es parcialmente contaminada.	El Huracán Mitch provocó la destrucción de la presa de captación y gran parte de la red de conducción, y la contaminación de la fuente original que era la Quebrada Agua Amarilla. Esta agua dañó la tubería metálica, por lo que hubo que cambiarla. Se cambió la fuente a la Chanchera 1, pero esta fuente no alcanza en verano, lo que los obliga a usar agua de la Quebrada Agua Amarilla, que tiene metales pesados y sabor ácido.
Cerro Grande y Las Cañadas	Inundaciones, deslizamientos, contaminación, incendios, daños humanos.	El agua contaminada no ha sido todavía tratada adecuadamente, para reducir la acidez; la red está dañada por el sarro.	Contaminación de la fuente, con metales pesados provenientes de la actividad minera que hubo en la zona y el paso del Huracán Mitch, lo que provoca daños a la salud de los usuarios y corrosión en la tubería metálica, medidores y válvulas; El paso del Mitch, también provocó la destrucción parcial de la línea de conducción.
La Esperanza, La Leona y El Carmelo	Inundaciones, deslizamientos, incendios, daños humanos, escasez.	La presa está en propiedad privada; es fácil llegar hasta ella, no hay barrera al paso de particulares. La tubería está superficial y propensa a daño de carros. Cultivos en laderas, uso de agroquímicos y riego por aspersión de la misma fuente.	El Huracán Mitch destruyó el desarenador y parte de la red; cada invierno la represa se llena de basura y sedimentos; la tubería y el tanque se tapan por el gran contenido de sedimentos; algunas personas dañan los candados para manipular las válvulas; los incendios forestales destruyen las tuberías aéreas de PVC; en verano la escasez de agua en la fuente obliga a abastecer agua cada 4 días a los usuarios.

El cuadro 26 describe el estado de las zonas de recarga, obras de toma y actividades de protección emprendidas por los usuarios del servicio de agua de uso doméstico.

Cuadro 26. Manejo la zona de recarga y obra de toma, de las quebradas Agua Amarilla, San Francisco y Honda, en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Acueducto	Fuente	Zona de recarga	Obra de toma	Actividades de conservación
San Francisco	San Francisco	Bosque, agricultura, extracción de leña	Vegetación alrededor de la obra de toma, pero está desprotegida, tiene fisuras, sin desarenador.	Ninguna
El Suizo	El Suizo , afluente de la quebrada San Francisco	Agricultura	Vegetación alrededor de la obra de toma, desprotegida, sin desarenador.	
Las Martitas	Las Martitas, afluente de la Quebrada San Francisco	Agricultura, asentamientos humanos y bosque	Vegetación alrededor de la obra de toma, tiene cerco de malla metálica, sin desarenador	
La Chanchera 2	La Chanchera, afluente de la Quebrada Agua Amarilla	Zona núcleo del Parque Nacional La Tigra	Bosque alrededor, presas con fugas, sin desarenador	Área bajo protección de AMITIGRA, los beneficiarios no participan en la conservación.
La Cartuchera	La Cartuchera 2, afluente de la Quebrada Agua Amarilla	Zona núcleo del Parque Nacional La Tigra	Bosque alrededor, presas con fugas, sin desarenador	
El Bordo de las Martitas (en construcción)	Las Quebraditas, afluente de la Quebrada San Francisco	Agricultura y asentamientos humanos	Tapadera de seguridad y desarenador previsto en el diseño	
El Cantón	La Chanchera 1, afluente de la Quebrada Agua Amarilla	Zona núcleo del Parque Nacional La Tigra	Bosque alrededor, sin desarenador	Área bajo protección de AMITIGRA, los beneficiarios no participan en la conservación.
	Quebrada Agua Amarilla	Zona núcleo del Parque Nacional La Tigra	Bosque alrededor, sin desarenador	
Cerro Grande y Las Cañadas	Quebrada Agua Amarilla	Zona núcleo del Parque Nacional La Tigra	Bosque alrededor, sin desarenador	Área bajo protección de AMITIGRA, los beneficiarios no participan en la conservación.
La Esperanza, La Leona y El Carmelo	Buena Vista, Quebrada Honda	Agricultura en ladera, uso de agroquímicos, asentamientos humanos y bosque. Riego por aspersión, de la misma fuente	Hay vegetación y cerco de malla, pero está expuesta a particulares	Construcción de cerco perimetral del área de la toma, siembra de árboles.

En la parte administrativa, ninguno de los administradores de los acueductos evaluados tiene un plan de contingencias, ni una reserva de material o herramientas a utilizar en caso de emergencia. Tampoco cuentan con una reserva de dinero destinada a emergencias, sistema de alarma, ni estructuras adecuadas para la protección de los sistemas evaluados. La Alcaldía Municipal usa los ingresos generados por la tarifa del agua en una cuenta común con otras actividades y usualmente no hay dinero disponible para gastos propios del manejo de los acueductos. El SANAA es un ente centralizado y para cualquier reparación mayor, los encargados del acueducto de Cerro Grande y La Cañadas deben pedir el material o herramientas a las oficinas en Tegucigalpa. Las juntas de agua y patronatos tienen un sistema tarifario que no cubre ni los gastos mínimos de mantenimiento de rutina.

Por lo tanto, se puede decir que los sistemas actuales operan de forma no sostenible, aún en condiciones regulares. Por lo tanto, su capacidad de reacción ante una emergencia es muy limitada.

4.4.4 Caracterización de cauces principales de la Microcuenca del Río La Soledad

Río La Soledad

En general, hay cobertura de bosque ralo de pino en la rivera del río, algunos cultivos, zonas deforestadas, incendios y viviendas, a pocos metros del cauce. También se observó cárcavas y taludes de pendiente fuerte, áreas de suelo descubierto y deslizamientos de grandes masas de suelo. Se detectó existe una cantera, donde fragmentos de roca son volcados al río, así como llantas de camión y otros desechos que obstruyen el cauce. Además, a orillas del río La Soledad se encuentra el Campamento Scout, en cuyo terreno se observó restos de fogatas y huellas de incendios. Este campamento mantiene sin cobertura vegetal, gran parte del área que pertenece al mismo.

El Río La Soledad es también usado por mujeres que lavan ropa. También por lugareños que practican la pesca. Por otro lado, muchas personas llegan al río con fines de entretenimiento. Y hay derivaciones del río hacia las casas cercanas, con fines de riego. Se constató que el río es contaminado por desechos sólidos de las viviendas y áreas de cultivo. El Río La Soledad también recibe aguas servidas, sin tratamiento, del sistema de alcantarillado sanitario de La Alcaldía Municipal. Se observó en el agua del río manchas de grasa, sedimentos amarillos y negros, y espuma de jabón. No obstante lo anterior, aún se encuentran algunas especies de peces, renacuajos y musgo. Por último, no existe ninguna toma, para agua de uso doméstico.

Quebrada Agua Amarilla

La quebrada Agua Amarilla nace en el cerro La Chanchera, dentro de la zona núcleo del Parque Nacional La Tigra y atraviesa el casco urbano de Valle de Ángeles. A todo lo largo del cauce sus aguas son derivadas por muchas tomas, para riego de cultivos y jardines. La Quebrada Agua Amarilla es usada como transporte de aguas servidas de las viviendas cercanas; y es contaminada, también, con desechos sólidos domésticos y desperdicios de construcción. El agua de esta quebrada deja sedimentos de color amarillo en su cauce.

Se observó en el cauce de la quebrada muchas rocas de gran tamaño y troncos arrastrados por los fuertes corrientes, y los taludes verticales de donde se ha desprendido gran cantidad de material.

En la toma en la parte alta de la quebrada, el acceso es difícil. No se observó ninguna obra de protección física, ni rótulo de advertencia contra la contaminación de esta fuente. También los bañistas ocasionales hacen uso de la quebrada; pero durante la Semana Santa, una persona contratada por el SANAA, protege de los bañistas, la obra de toma y la corriente aguas arriba.

Quebrada Honda

La parte alta de la quebrada Honda queda en la comunidad de Buena Vista. Allí se practica la agricultura y se cultiva zanahoria, repollo, cebollas, papas, bananos, café y flores. Algunos productores riegan por aspersión, con agua de la quebrada. La toma de agua se encuentra al descubierto, al alcance de humanos y animales; sin embargo, el área circundante se encuentra cubierta de vegetación. La comunidad no cuenta con servicio de agua potable.

Los agricultores locales usan abono orgánico como excremento de rumiante, pero también agroquímicos. Las áreas de cultivo son tierras de pendiente fuerte y las prácticas agrícolas son tradicionales, no se observó ninguna obra destinada a la conservación de suelos. Hay cobertura de bosque de pino, pero los árboles han sido talados en varias zonas.

Fuente San Francisco

La sustracción, en esta fuente, es de casi el total en verano. El escaso caudal que corre es producto de las malas condiciones de la obra de toma. El sitio de la toma se encuentra cubierto por vegetación; sin embargo, en las laderas cercanas a la fuente se observa cultivos de diferentes tipos:

mandarinas, flores y café. La obra de toma está expuesta a cualquier persona. Las tuberías son vulnerables, muchas de ellas se encuentran suspendidas y apoyadas con palos de forma precaria. Cerca de la desembocadura de la Quebrada San Francisco, el agua es contaminada de varias formas: lavado de carros, ropa y vertido de aguas servidas y desechos sólidos al cauce.

4.5 Propuesta de un sistema más eficiente

Con base en el análisis hecho, respecto a la forma en que operan los sistemas de abastecimiento de agua de uso doméstico en la microcuenca del Río La Soledad, en el área seleccionada, se puede decir que no presentan los criterios planteados por la GIRH. Por lo tanto, para mejorar la eficiencia del uso del agua y facilitar un aprovechamiento sostenible se plantean las siguientes propuestas:

4.5.1 Propuesta a nivel de la microcuenca

- El personal encargado del manejo del agua en juntas de agua y Alcaldía Municipal debe ser capacitados para ejercer mejor su papel de administradores del servicio. La capacitación debe incluir aspectos financieros como administración de ingresos y cálculo de la tarifa adecuada según los gastos operativos, de mantenimiento de la red y conservación de zonas de recarga.
- Se debe determinar cual es su zona de recarga y áreas a proteger para cada acueducto y se debe crear conciencia de cuáles son las actividades que aumentan la vulnerabilidad del sistema del uso sostenible del recurso.
- Se debe realizar aforos, y pruebas de calidad al agua periódicamente. La frecuencia y alcance dependerán de la economía de la comunidad pero deberían realizarse al menos una vez al año. Esta información servirá como indicador de la efectividad del manejo que se está llevando.
- Se debe implementar un sistema de operación, mantenimiento y atención de emergencias, disponiéndose de una reserva de materiales y herramientas adecuadas.
- El fontanero debería recibir capacitación relacionada con su función, periódicamente.
- Deberán mejorarse las condiciones de los acueductos, empezando por las obras de toma, en las que se necesita habilitar desarenadores y filtros adecuados. Estas zonas deben estar

protegidas contra extraños. Debe invertirse en reparar las tuberías empezando por las más dañadas, para evitar las fugas.

- Todos los entes administradores de servicios de agua en la Microcuenca del Río La Soledad deberían mantener una base de datos que incluya: Registro de aforos de todas las corrientes, ya sea que tengan uso actual o no, para prevenir un uso futuro, y que sirva para la planificación. Los aforos deben corresponder a la época seca (pueden ser por el método volumétrico, por lo reducido de los caudales).
- En la base de datos debería mantenerse copia de los planos, encuestas, análisis del agua que correspondan al diseño y construcción de cada acueducto. Actualmente hay dos acueductos que están siendo remodelados, uno está en construcción y todos los acueductos manejados por la Alcaldía Municipal están en proceso de diseño. Se está generando mucha información, que es muy importante preservar para que sirva de base a futuras remodelaciones y reparaciones. De esta forma, también se evita el costo por trabajos de topografía y diseño en cada remodelación o evaluación.
- Se debe dar capacitación en modelos de análisis y diseño de redes hidráulicas con modelos como EPANET. La información disponible debe ser transferida a formato digital. La Alcaldía Municipal cuenta con computadoras y también la oficina de la UMA. Se debe realizar el análisis de las redes existentes y los diseños o rediseños necesarios, como paso inicial de un programa de modernización del sistema de abastecimiento de agua potable, en forma técnica y económicamente óptima.
- La educación ambiental, orientada a la sostenibilidad del recurso hídrico es primordial para el control del desperdicio de agua y contaminación con vertido de desechos a los cauces.
- Se debe incorporar sistema de micro medición y facturación justa, por volumen de consumo. Se debe establecer un sistema de facturación escalonado para incentivar el ahorro.
- Se debe establecer medidas para evitar el vertido de desechos en las corrientes. Se debe ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario y construir una planta de tratamiento.
- Se debe establecer instrumentos legales, a nivel municipal, para la protección de las zonas de recarga. Medidas de control como sanciones y multas deben ser establecidas y aplicadas

4.5.2 Propuestas específicas por acueducto

El acueducto Cerro Grande y Las Cañadas

- Partiendo de los estados financieros mostrados por personal del SANAA, este sistema de abastecimiento de agua es económicamente insostenible. La junta de aguas de estas comunidades podría gestionar, para que el apoyo económico y técnico en el proyecto de cambio de acueducto, ofrecido por algunas instituciones, sea efectivo.
- Es aconsejable remodelar el acueducto a la nueva demanda y reparar la red de distribución comenzando en los sectores que sufren mayor escasez, a fin de mejorar la calidad del servicio y la equidad en la distribución.

El acueducto de El Cantón

- Debe buscar una fuente de agua para el verano, que sustituya a la Quebrada Agua Amarilla, por el problema de contaminación que presenta ésta. Deben usar el sistema de desinfección que tienen.
- Es aconsejable que formalicen la junta de agua y le traspasen a ésta el manejo del acueducto que ha sido, hasta ahora realizado por el patronato.

El acueducto de La Esperanza, El Carmelo y La Leona

- Se recomienda buscar una fuente alterna para reducir la escasez; una alternativa podría ser pasar a la Alcaldía Municipal la parte más baja del acueducto, que corresponde a los barrios El Carmelo y La Leona, como ya se ha hecho con algunos abonados.
- Tratar de conservar la fuente que tienen, con prácticas amigables con el ambiente. Realizar obras de protección para las tuberías que cruzan caminos, las cuales sufren daños continuamente.

Los acueductos de la Alcaldía Municipal

- Es aconsejable que La Alcaldía Municipal cuente con más personal para el mantenimiento y operación de sus acueductos, pues los empleados en este rubro están sobre saturados de trabajo. Es aconsejable dotar al personal de fontanería con los recursos necesarios para el cumplimiento eficiente de sus funciones, como herramientas adecuadas, materiales y medios de transporte. Los fontaneros deberían trabajar bajo una línea de autoridad definida y sus funciones deben ser sólo relativas a su puesto.

- Se debe considerar dejar caudal ecológico en las quebradas San Francisco, cuando esto sea posible.
- Manejar las finanzas del agua separadas y de forma transparente.

5 CONCLUSIONES

- La microcuenca del Río La Soledad es productora de agua por su clima y cobertura vegetal. El uso predominante del agua es uso doméstico y potable, para los municipios Valle de Ángeles y Distrito Central.
- Las quebradas que brindan mayor servicio a la población de la Microcuenca del Río La Soledad, en orden de importancia, son San Francisco y Agua Amarilla. Para la primera, las principales amenazas son cambio de uso de suelo y contaminación con agroquímicos y desechos humanos. Salvar esta fuente es muy importante para la población por la gran cobertura de servicio que ésta brinda.
- La Quebrada Agua Amarilla, es la fuente que representa el problema puntual mayor en el abastecimiento de agua de uso doméstico de la población de Valle de Ángeles. Su principal limitante es la contaminación, que obliga a los usuarios a buscar fuentes más costosas. La planta potabilizadora, actualmente en prueba, opera con pérdidas económicas, para el SANAA. Esto lleva a la conclusión que la junta de agua que recibirá este acueducto tendrá dificultades para mantener su nivel de operación. Además de lo anterior, el acueducto presenta daños por tiempo de operación, falta de mantenimiento y daños por la dureza del agua.
- La inequidad en la disposición de agua para los pobladores de Valle de Ángeles, es tan grande como las diferencias en el nivel económico de los mismos. En las partes alta y baja de la microcuenca (servidos por juntas de agua y SANAA, respectivamente) el goce del recurso agua está vinculado a la capacidad de almacenamiento de los usuarios, ya que la poca eficiencia del servicio impide que sea continuo. Muchos de los usuarios (especialmente en la parte alta) tienen muy pobre capacidad de almacenamiento.
- A pesar de la tendencia en Honduras de crear leyes como la Ley de Modernización del Estado, La Ley Marco de Agua Potable y Saneamiento y La Ley General del Ambiente con la formación del RENACH, a nivel local la gobernabilidad es débil. Las autoridades municipales no exigen el cumplimiento de estas leyes para proteger los recursos agua y bosque. La UMA carece de recursos suficientes para sus funciones y el uso del agua y otros recursos se hace de forma arbitraria. Las instituciones privadas, públicas y ONG, que trabajan en temas relativos al agua no lo hacen de forma coordinada. Algunos funcionarios de estas instituciones recelan compartir

información de la microcuenca con miembros de otras. La mayoría de ONG son desconocidas, muchas personas desconfían de ellos pues temen que su propósito sea especular con el agua.

- La mayoría de los usuarios percibe una relación entre cantidad de agua y conservación del bosque, pero desconoce el concepto cuenca y zona de recarga. Habitualmente se cree que las zonas a conservar son sólo riveras de ríos y alrededor de obras de toma. En todos los niveles la cultura hídrica es pobre: hay desperdicio, se usa los cauces para verter desechos, es escasa la disposición a la organización. Existe poca confianza en las autoridades e instituciones que trabajan en la gestión del agua. La mayor parte de los usuarios es optimista sobre la calidad de agua y la prefieren sin tratamiento.
- Los indicadores elegidos demuestran deficiencia en el servicio de agua de uso doméstico, para los usuarios de las quebradas San Francisco, Agua Amarilla y Honda. Casi ningún usuario goza de continuidad, en muchos casos la cantidad no es suficiente para las necesidades básicas. La calidad no es confiable, ya que generalmente no se aplica ningún tratamiento al agua y el mal estado de las obras de toma y redes permite la entrada de contaminantes. La atención a demandas de los abonados no es oportuna.
- Las principales debilidades de los sistemas de abastecimiento de agua de la zona evaluada: falta de manejo adecuado de las zonas de recarga; estructuras vulnerables y obsoletas; sistema de recuperación de costos deficiente; ninguna previsión para atender problemas cotidianos, menos aún, emergencias. El personal a cargo de los sistemas es insuficiente, en cantidad y conocimientos, no cuentan con herramientas apropiadas, para el desempeño de su trabajo, no hay datos de los acueductos.
- El caudal usado para agua de uso doméstico en las quebradas en estudio es de 29,81 l/s. El caudal total aforado en las quebradas San Francisco, Honda y afluentes de la Quebrada Agua Amarilla con mayor aceptación, es de 31,78 l/s. La cantidad de agua es suficiente para uso doméstico. Estos resultados demuestran que la oferta de agua es capaz de satisfacer la demanda actual y la que habrá dentro de varios años. Sólo las quebradas San Francisco y Honda producen suficiente cantidad de agua para cubrir la demanda razonable para la población 16 años adelante. La gran inequidad en la distribución del agua y bajo nivel de servicio no se debe a que la oferta es insuficiente, sino a la escasa eficiencia en los sistemas de distribución existentes.

- En el caso analizado en esta tesis, El Bordo de Las Martitas, la red propuesta presenta velocidades muy bajas, menores de 0,6 m/s, y presiones muy altas, mayores de 60 m. Ambas deficiencias se traducen en una operación inadecuada, con presiones que causan daños en el sistema, y costos de casi el doble de lo necesario. Con la aplicación de esta herramienta se podría abastecer, en condiciones hidráulicas mejores, aproximadamente el doble de la población. Esto es muy importante en zonas en las que el abastecimiento de agua es muy deficitario.
- El programa de cómputo EPANET demostró ser una herramienta muy útil para el análisis de las redes de abastecimiento de agua existentes, y su rediseño, en caso necesario. Además es adecuada para diseñar nuevos sistemas hidráulicos. Estos procesos ingenieriles son sumamente complejos, de modo que son prácticamente irrealizables en forma tradicional. En consecuencia se presentan diseños muy simplificados, con significativas deficiencias operativas y económicas.
- Los tanques rompecarga no pueden ser modelados como tanques convencionales, pues estos últimos presentan en el nudo variaciones de caudal de salida o entrada de flujo, y sistemas de control de caudales diferentes. Este problema pudo ser superado modelando dichos tanques como válvulas de reducción de presión, llevando esta al valor de presión atmosférica, presentando siempre en el nudo, caudales de entrada iguales a los de salida.
- El programa de cómputo para cálculos hidráulicos EPANET, es una herramienta accesible y económica para estudiantes, técnicos y profesionales de la ingeniería. Presenta la ventaja que se puede hacer cambios y correcciones sobre el diseño, y ver los resultados de forma inmediata, en el mismo esquema. Resulta muy útil para diseñar tuberías y ver el resultado sobre las presiones en diferentes partes del acueducto. De esta forma se puede diseñar un sistema que opere con condiciones favorables para la vida útil de la red y que favorezca la eficiencia en la distribución y uso del agua, al ayudar a reducir las fugas y el desperdicio.

6 RECOMENDACIONES

- Valorar el servicio fundamental que sirve la microcuenca del Río La Soledad, al sistema de abastecimiento de Tegucigalpa, y establecer una compensación económica por dicho servicio, que permita, para beneficio tanto de los usuarios de Valle de Ángeles como de los capitalinos, el manejo sostenible de la microcuenca.
- Es necesario la reparación de los acueductos que se abastecen de la Quebrada San Francisco e implementar un sistema de tratamiento del agua. En vista que la Municipalidad de Valle de Ángeles está gestionando la construcción de nuevos sistemas de distribución de agua potable, es recomendable guardar toda la información sobre las redes. Es importante conocer ubicación, características geométricas y mecánicas.
- La solución más económica para los usuarios del acueducto de Cerro Grande y Las Cañadas es encontrar otra fuente de abastecimiento. La fuente actual representa un costo alto de operación que pronto tendrían que asumir los abonados. Una alternativa de abastecimiento es el Río Carrizal, puesto que después de la sustracción que hace el acueducto de Tegucigalpa queda un caudal que podría ser aprovechado. Se recomienda hacer un estudio de la oferta que representa esta fuente y la forma más eficiente de distribuir el agua.
- La Alcaldía Municipal debería establecer un sistema de recaudación de dinero más eficiente. Los ingresos percibidos por consumo de agua de uso doméstico o potable deberían ser destinados a atender las necesidades de este servicio, en lugar de ser destinados a otras actividades, tal como de hace actualmente. También se debería implementar tarifas escalonadas que permitan la recaudación y que estimulen el ahorro de agua. Estas tarifas también deben cubrir la protección de las zonas de recarga y de captación, facilitar la contratación de más personal y la compra de materiales y herramientas para el mantenimiento y la operación de las redes.
- Dado que los sistemas de abastecimiento de agua están expuestos a amenazas como inundaciones, deslizamientos, incendios y daños causados por humanos, se debe preparar un plan de reducción de la vulnerabilidad, para las obras de toma y conducción del agua, que en la actualidad están muy expuestas. A nivel organizativo, tampoco se detecta un sistema de reacción ante ese tipo de amenazas.

- Implementar un programa de capacitación a nivel técnico y de juntas de agua, para la administración de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
- El costo de los sistemas de abastecimiento se puede reducir aún más, si se aumenta el coeficiente C de la ecuación de Hazen Williams a 140, y se ajusta la resistencia de los tubos a un SDR (Standard Diameter Ratio) más realista. El SDR se utiliza para medir la resistencia de la tubería a la presión del agua.
- Se recomienda que se dé capacitación en el manejo del modelo EPANET, que puede ser bajado gratuitamente de internet, y no tiene límite en relación al tamaño de la red. Cabe mencionar que los modelos comerciales para análisis y diseño de redes son muy caros, y su precio crece conforme aumenta el tamaño de la red. Los receptores de esta capacitación deben ser ingenieros que trabajen en el diseño de redes, tanto a nivel nacional como municipal.

7 LITERATURA CONSULTADA

Agarwal, A; Ait Kadi, M; Bhatia, R; Chéret, I; Dávila-Poblete, S; Falkenmark, M; González; Villareal, F; Jonch-Clausen, T; Kindler, J; Rees, J; Roberts, P; Rogers, P; S. de los Angeles, M; Solanes, M; Wright, A. 2000. Manejo integrado de recursos hídricos (en línea). Consultado 22 nov. 2004. Disponible en: <http://www.gwpforum.org/gwp/library/TAC4sp.pdf>

Araya, I; Núñez, ME; Valenzuela, M. 2005. Evaluación del recurso hídrico en la parte alta de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Lic. Ing. Civil. UNAH. Tegucigalpa, HN. 137 p.

Astorga, Y. 2004. Curso de gestión integrada del recurso hídrico. Maestría de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. CATIE. CR. 70 p.

Cardona, A. 2003. Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 158 p.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2002. Programa nacional de gestión del riesgo a la sequía. Servicios técnicos regionales. Secretaría de Agricultura y ganadería/Secretaría de Recursos Naturales y del Ambiente. Tegucigalpa, HN. 26 p.

CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico). 2004. IRC International Water and Sanitation Centre (en línea). Consultado 1 nov. 2005. Disponible en http://www.fotossintese.net/pdf/Uso_Eficiente_2004.pdf

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992, Río de Janeiro). 2004. Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo: Cumbre para la Tierra (en línea). New York, United States, UN Department of Economic and Social Affairs, Division for sustainable Development. Consultado 24 nov. 2004. Disponible en: www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/riodeclaration.htm

Contratos de concesión: POES (en línea). Consultado 30 nov. 2004. Disponible en:
http://www.orab.mosp.gba.gov.ar/centro_contratospoes.htm

Dourojeanni, A; Jouravlev, A; Chávez G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Seri 47 Recursos Naturales e Infraestructura. UN. Santiago, CL. 79 p.

Espinal, B. 2004. Institucionalidad y legislación en el manejo de los recursos naturales con énfasis en el recurso hídrico de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 125 p.

Estrategia para la Reducción de la Pobreza (ERP). 2001. Línea base intramunicipal (aldeas, caseríos, barrios y colonias). Valle de Ángeles, Tegucigalpa, HN.

Falk, M. 2004. El manejo integral de recursos hídricos: lecciones y oportunidades sobre la base de la experiencia aplicada de Zamorano. Proyecto "Manejo del Agua en las Cuencas de los Ríos Choluteca y Negro" Escuela Agrícola Panamericana (EAP-Zamorano). 22 p.

Faustino, J. 2002. Manejo de cuencas con enfoque en la prevención de desastres naturales. CATIE-FOCUENCAS. Managua, NI. 62 p.

_____; García S. 2001. Enfoques y criterios prácticos para aplicar el manejo de cuencas. Guía para curso corto. San Salvador, El Salvador. 123 p.

Ferrera, I; Falk, M; Beraún, M; Valarezo, A. 2005. Análisis del marco político- legal sobre recursos hídricos en Honduras: Coherencias y percepciones. Carrera de Desarrollo Socio Económico y Ambiente. 1ed. Zamorano. Tegucigalpa, HN. 73 p.

FOCUENCAS (Fortalecimiento de la Capacidad Local en Manejo de Cuencas y Prevención de Desastres). 2003a. Informe técnico de trabajo. Decisiones, estrategias y metodologías un proceso en marcha en FOCUENCAS. Tegucigalpa, Honduras. 18 p.

- _____. 2003b. Diagnóstico y línea base de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles. Tegucigalpa, Honduras. ASDI (Agencia Sueca para el Desarrollo) SE / CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), CR. 70 p.
- FOCUENCAS II. 2005. Plan de Cogestión de la Microcuenca del Río La Soledad. Valle de Ángeles, HN. 77p.
- Fundación Vida. 2004. Diagnóstico municipal ambiental y plan de acción. Valle de Ángeles, HN. 72 p.
- Geilfus, F. 1997. 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. Prochamate–IICA, San Salvador, SV. 208 p.
- GWP (Global Water Partnership). 2004. Toolbox: una herramienta para la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (en línea). Consultada 25 nov. 2004. Disponible en: <http://www.eclac.cl/drni/proyectos/samtac/drsam00403.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional. 2004. Hoja cartográfica San Juan de Flores no. 2758 I, escala 1:50,000. Tegucigalpa, HN.
- _____. 2004. Hoja cartográfica Tegucigalpa no. 2758 II, escala 1:50,000. Tegucigalpa, HN.
- Jiménez, F. 2005. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas: Enfoques y estrategias actuales. Recursos, ciencia y decisión. 2 ed. Turrialba, CR. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 4 p. Enero 2005, ISSN 1659-1224.
- Larios, F; Eveline, L; Pinel, H; Núñez, V; Escalón, R. 2003. Normas de diseño para acueductos rurales. Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA). Tegucigalpa, HN. 83 p.
- Plataforma de Diálogos en Centroamérica. 2005. Esquema para la documentación de experiencias de diálogo/mejores prácticas en el uso y manejo del agua para alimentos y ambiente. Consultada 20 sep. 2005. Disponible en: .

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2003. Informe sobre desarrollo humano Honduras 2003: la cultura: medio y fin del desarrollo. (Informe sobre desarrollo humano no. 5). 52 p.
- Proyecto ALA 86/20.1998. Manual de consultas para agua potable y saneamiento básico. Unión Europea. Secretaría de Salud de Honduras. 295 p
- Redacción de referencias bibliográficas: normas técnicas del IICA y CATIE/Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 4 ed. Turrialba, CR: Biblioteca Conmemorativa Orton. 1999. 40 p. (Documento e información agrícola/IICA, ISSN 0301-438 X; no. A1/SC-99-01.
- Rivera, L. 2002. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 158 p.
- Rossmann, Lewis A. 2002. EPANET 2.0 en español, análisis hidráulico y de calidad en redes de distribución de agua, manual del usuario (en línea). Cincinnati, US. Consultado 10 nov. 2004. Disponible en: www.idmh.upv.es/psoftware.html
- Salvador, I; Sánchez, I. 2002. Tecnologías para el abastecimiento y saneamiento de agua en proyectos de cooperación al desarrollo en zonas rurales. Módulo I, Abastecimiento (en línea). Asociación Catalana de Ingeniería Sin fronteras/Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. San Salvador, SV. Consultado 29 nov. 2005. Disponible en: http://www.isf.uva.es/cursotsd/tsd4/Agua_Saneamiento_e_Infraestructuras_I.pdf
- Sánchez, L; Sánchez, A. 2004. Ponencias sobre una perspectiva general temática. IRC International Water and Sanitation Centre (en línea). Consultado 5 nov. 2005. Disponible en: <http://www.google.co.cr/search?hl=es&q=IRC+International+Water+and+Sanitation+Centre+uso+efficiente+del+agua+S%C3%A1nchez&meta=>
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). 2000. Primer informe nacional sobre la implementación de la Convención de Desertificación en Honduras. Informe de país. Tegucigalpa, HN. 97 p.

SG-SICA (Secretaría General del Sistema de Integración Centroamericana). 1999. Plan de acción para el manejo integrado del agua en el istmo centroamericano (en línea). Consultado 20 sep. 2005. Disponible en: <http://www.ccad.ws/documentos/pacadirh/PACADIRH.pdf>

Sistema de las Naciones Unidas en Honduras. 2003. Informe técnico sobre las metas del milenio. Tegucigalpa, Honduras. 70 p.

SWECO-ECO. 2005. Trabajo de investigación para el diseño del sistema de agua potable del casco urbano del Municipio de Valle de Ángeles. Valle de Ángeles, Francisco Morazán, HN.

Tábora, F. 2002. Desarrollo de modelo de fondo ambiental para el manejo y conservación de los recursos naturales de una microcuenca de Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 114 p.

TYPSA-LYPSA (Ingenieros Consultores y Arquitectos-Lyonnaise des eaux Services Associes). 2001. Estudio de factibilidad del sistema de agua potable de la ciudad de Valle de Ángeles. Memoria de cálculo. Tegucigalpa, HN. 86 p.

UN (United Nations). 2002. Resumen del Informe de Kofi Annan: El Programa 21 y el Desarrollo Sostenible -Un buen plan, una débil aplicación (en línea). Consultado 24 nov. 2004. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/resumen.htm>

Villón Véjar, M. 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola. Cartago, CR. 433 p.

ANEXOS

NORMAS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS RURALES. V. 1.0. SANAA

PARÁMETROS DE DISEÑO

Período de Diseño

22 años para todas las partes del sistema y 10 años equipos de bombeo.

Índice de Crecimiento

Índice de crecimiento anual 3,0%, el promedio nacional según la Dirección General de Censos y Estadísticas.

Cálculo de la Población

Se deberá hacer de acuerdo con la población y número de viviendas resultante del levantamiento topográfico, y encuesta habitacional, o multiplicando la cantidad de viviendas por 6 habitantes por casa. Para calcular la población futura se utilizará el método aritmético o el método geométrico.

Método Aritmético

El método supone una variación lineal de la población en el tiempo; se utiliza la siguiente fórmula:

Cálculo de población de diseño, método aritmético

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{kt}{100} \right)$$

Donde:

P_f: Población futura

P_o: Población actual

k: Tasa de crecimiento anual

t: Período de diseño

Dotaciones

La dotación generalizada para poblaciones menores de 2.000 habitantes será de 25 gppd y para poblaciones mayores que 2.000 habitantes la dotación es de 30 gppd.

Coefficiente y variación de consumo

a.) Consumo Medio Diario: Demanda promedio requerida para satisfacer las necesidades.

b.) Consumo Máximo Diario: Valor de la demanda máxima diaria durante el año.

c.) Consumo Máximo Horario: Valor del consumo máximo horario en el día de máxima demanda del año.

En el diseño se utilizarán los siguientes coeficientes de variación:

a.) Consumo Medio Diario: 1 K

b.) Consumo Máximo Diario: 1.5 K.

c.) Consumo Máximo Horario: 2.25 K.

Coefficiente de Rugosidad

Para el cálculo de pérdidas por fricción en la tubería se utilizará la fórmula de Hazen Williams donde el coeficiente de rugosidad "C" a utilizarse será:

Tubería de Hierro Galvanizado (HG)..... 100

Tubería de Polivinilo (PVC)..... 140

OBRAS DE CAPTACIÓN

Son las estructuras diseñadas para el aprovechamiento del flujo durante todo el año. Para protección de la estructura y calidad del agua. Deberá reunir las siguientes condiciones:

a.) La elevación de la obra, sobre el pueblo deberá asegurar buenas presiones en la red.

b.) Se escogerá un tramo recto de la quebrada evitando las curvas y con pendiente suave.

c.) Se le dará preferencia a los manantiales.

d.) La cuenca debe tener problemas mínimas de erosión.

Cajas Colectoras

Son recipientes cerrados, e impermeables, se utilizan para la recolección de agua de manantiales. En su diseño, se tomarán en cuenta las siguientes condiciones:

- Se construirá la caja de un material impermeable.
- La caja se diseñará de acuerdo a la producción de la fuente garantizando el flujo del manantial.
- Deberá estar provisto de tubería de salida, rebose, limpieza, drenaje y boca de inspección.
- Todas las aberturas de la caja estarán protegidas para evitar la entrada de agentes externos.

LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Es la línea de tubería que conduce el agua de la obra de toma hasta el tanque. Preferiblemente funcionará por gravedad y se diseñará con el consumo máximo diario. Los conductos deberán ser cerrados y trabajarán a presión. Llevará todas las obras necesarias para su protección como ser válvulas de limpieza y aire, anclajes y rompecargas.

Tipo de Tubería

El diámetro mínimo aceptable en la línea será de 25,5 mm (1 pulg) HG y hasta 19,05 mm (¾ pulg) PVC y la presión de trabajo máxima será de 112 mca (160 lb/pulg²) para PVC y 245 mca (350 lb/pulg²) para HG. Para la línea de conducción además de calcular la gradiente hidráulica de diseño se calculará la gradiente hidráulica real.

Consideraciones Hidráulicas

- Las presiones no sobrepasarán los límites de presión de trabajo de la tubería usada.
- En ningún momento deberán aparecer las líneas de presión abajo del nivel del terreno.
- Para la determinación de las pérdidas por fricción de tubería se utilizará la formula de Hazen Williams.

Fórmula de Hazen-Williams para el diseño de tuberías

$$\frac{h_f}{1000} = \left(\frac{147.85 Q}{CD^{2.63}} \right)^{1.852}$$

Donde:

h_f: Pérdidas por fricción.

Q: Caudal en gal/min.

D: Diámetro en pulgadas.

C: Coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería.

5) Es recomendable llegar al tanque con una presión de 5,00 m como previsión ante una futura disminución del diámetro útil y el valor de "C" de la tubería y pérdidas menores no calculadas.

6) Se asumirá como longitud de tubería la distancia inclinada para calcular las pérdidas.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Dimensiones de los tanques de distribución según su capacidad			
Capacidad del tanque (gal)	Dimensiones del tanque (m)		
	Diámetro interno	Altura del tanque	Altura de rebose
5.000	3,60	2,36	1,86
10.000	2,78	2,78	2,28
15.000	2,98	2,98	2,48
20.000	2,97	2,97	2,47
25.000	2,96	2,96	2,46

La función principal de los tanques de almacenamiento es la de suministrar reservas que cubren las variaciones horarias del consumo de la comunidad y las necesidades de ésta cuando requiera reparaciones la obra de toma y la línea de conducción. El tanque se colocará en un lugar con suficiente altura que permita una presión mínima de 10 m en el punto más desfavorable de la red.

Se ha determinado que la capacidad del tanque representará de un 30% a 40% del consumo medio diario en los sistemas por gravedad.

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN

Se denomina "línea de distribución" al componente del sistema que une al tanque de almacenamiento con la red de distribución. Su cálculo hidráulico, detalle de tubería y accesorios serán las mismas que en la parte de la línea de conducción, con la diferencia de que el caudal de diseño es el máximo horario. La velocidad máxima será de 2 m/s, pero en el caso de altas cargas hidrostáticas y longitudes considerables deberá verificarse el "golpe de ariete" y reducir la velocidad del fluido a 1 m/s u otra más adecuada.

RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución es la parte del Sistema cuya función es poder entregar a la población un suministro eficiente y continuo de agua en cantidad y presión adecuada durante todo el período de diseño. El diseño y análisis de la red se hará para las condiciones de consumo máximo horario.

Presiones

Así la presión mínima hidrodinámica será de 10 mca y la presión máxima hidrostática de 60 mca. Esto obligará a separar redes (alta y baja), cuando la topografía es irregular mediante tanques rompecargas ó válvulas reductoras de presión.

Caudales

La asignación de caudales se hará por el método "gasto unitario", áreas tributarias y densidad de población.

Velocidades y caudales máximos por diámetro en la red de distribución

Diámetro		Velocidad Máxima (m/seg)	Caudal Máximo (gpm)
mm	pulgadas		
25	1	0.60	4.67
50	2	0.60	18.68
75	3	0.70	49.02
100	4	0.75	93.38
150	6	0.80	224.10
200	8	0.90	448.21
250	10	1.00	778.14
300	12	1.10	1,232.57

A velocidad mínima será de 0.60 m/s y la máxima de 3 m/s. Por otra parte el diámetro mínimo de la red será de 25,4mm en circuitos cerrados y tubería de relleno, y hasta de 12,7 mm en extremos muertos que alimenten hasta tres viviendas.

Análisis de Red

El objeto del análisis de la red es encontrar los caudales probables de circulación los cuales se determinarán hasta que la red esté balanceada.

Tubería

Los diámetros serán determinados en función de las velocidades económicas y de las presiones dentro de los límites anteriormente establecidos.

Anexo 2. Propiedades de nudos y líneas de la red de distribución del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de los nudos de la red		
	Cota	Demanda base
ID nudo	m	l/s
Nudo 7	943,78	0,09
Nudo 8	926,41	0,09
Nudo 9	932,90	0,09
Nudo 11	900,00	0,00
Nudo 12	899,09	0,06
Nudo 13	908,32	0,03
Nudo 14	906,25	0,03
Nudo 15	879,13	0,06
Nudo 17	875,95	0,20
Nudo 18	849,79	0,17
Nudo 20	915,67	0,03
Nudo 21	896,53	0,09
Nudo 23	789,66	0,11
Nudo 24	911,41	0,03
Nudo 25	885,01	0,09
Nudo 26	889,65	0,00
Nudo 27	862,50	0,03
Nudo 28	845,61	0,06
Nudo 29	851,51	0,11
Nudo 32	788,00	0,11
Nudo 33	790,00	0,03
Nudo 34	767,29	0,09
Nudo 1	922,96	0,00
Nudo 2	922,96	0,03
Nudo 3	925,47	0,09
Nudo 4	925,47	0,00
Nudo 5	929,06	0,17
Nudo 10	929,06	0,00
Nudo 16	859,50	0,11
Nudo 19	859,50	0,00
Nudo 31	842,10	0,17
Nudo 35	842,10	0,00
Nudo 36	889,65	0,20
Nudo 37	880,17	0,03
Depósito 6	979,61	Sin Valor

Estado de las líneas de la red			
	Longitud	Diámetro	Rugosidad
ID Línea	m	mm	
Tubería 6	205,00	82,00	130
Tubería 7	126,20	30,40	130
Tubería 8	112,50	82,00	130
Tubería 11	85,00	30,40	130
Tubería 12	41,00	30,40	130
Tubería 13	50,00	30,40	130
Tubería 14	227,30	30,40	130
Tubería 20	80,00	30,40	130
Tubería 23	91,80	55,70	130
Tubería 24	123,40	30,40	130
Tubería 26	92,00	30,40	130
Tubería 27	45,00	30,40	130
Tubería 28	50,00	30,40	130
Tubería 32	60,00	30,40	130
Tubería 33	107,10	30,40	130
Tubería 1	41,30	30,40	130
Tubería 2	121,60	30,40	130
Tubería 4	212,20	44,60	130
Tubería 5	187,80	30,40	130
Tubería 9	312,00	30,40	130
Tubería 15	193,30	82,00	130
Tubería 16	79,00	82,00	130
Tubería 18	208,10	30,40	130
Tubería 19	274,40	30,40	130
Tubería 31	248,50	44,60	130
Tubería 22	133,00	55,70	130
Tubería 25	55,00	44,60	130
Tubería 29	258,20	44,60	130
Válvula 3	Sin Valor	30,40	Sin Valor
Válvula 10	Sin Valor	44,60	Sin Valor
Válvula 17	Sin Valor	82,00	Sin Valor
Válvula 21	Sin Valor	30,40	Sin Valor
Válvula 34	Sin Valor	44,60	Sin Valor
Válvula 35	Sin Valor	55,70	Sin Valor

Anexo 3. Atributos y resultados de los nudos, de la red de distribución, del análisis hidráulico del diseño original del acueducto El Bordo de las Martitas. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de los Nudos de la Red				
	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	l/s	m	m
Nudo 7	943,78	0,09	980,90	37,12
Nudo 8	926,41	0,09	980,79	54,38
Nudo 9	932,90	0,09	980,57	47,67
Nudo 11	900,00	0,00	922,55	22,55
Nudo 12	899,09	0,06	922,52	23,43
Nudo 13	908,32	0,03	922,49	14,17
Nudo 14	906,25	0,03	922,48	16,23
Nudo 15	879,13	0,06	922,39	43,26
Nudo 17	875,95	0,20	924,64	48,69
Nudo 18	849,79	0,17	924,43	74,64
Nudo 20	915,67	0,03	929,67	14,00
Nudo 21	896,53	0,09	929,59	33,06
Nudo 23	789,66	0,11	859,07	69,41
Nudo 24	911,41	0,03	929,29	17,88
Nudo 25	885,01	0,09	929,18	44,17
Nudo 26	889,65	0,20	928,86	39,21
Nudo 27	862,50	0,03	928,45	65,95
Nudo 28	845,61	0,06	928,43	82,82
Nudo 29	851,51	0,11	928,37	76,86
Nudo 32	788,00	0,11	841,88	53,88
Nudo 33	790,00	0,03	841,87	51,87
Nudo 34	767,29	0,09	841,78	74,49
Nudo 1	922,96	0,00	922,96	0,00
Nudo 2	922,96	0,03	980,38	57,42
Nudo 3	925,47	0,09	979,89	54,42
Nudo 4	925,47	0,00	925,47	0,00
Nudo 5	930,00	0,17	980,30	50,30
Nudo 10	930,00	0,00	930,00	0,00
Nudo 16	859,50	0,11	928,48	68,98
Nudo 19	859,50	0,00	859,50	0,00
Nudo 31	842,10	0,17	879,53	37,43
Nudo 35	842,10	0,00	842,10	0,00
Nudo 22	880,17	0,03	928,71	48,54
Nudo 30	880,17	0,00	880,17	0,00
Depósito 6	979,61	-2,36	981,61	2,00

Anexo 4. Atributos y resultados de los tubos, de la red de distribución, del análisis hidráulico del diseño original del acueducto El Bordo de las Martitas. Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de las Líneas de la Red						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
ID Línea	m	mm		l/s	m/s	
Tubería 6	205,00	82,00	130,00	2,36	0,45	Abierta
Tubería 7	126,20	30,40	130,00	0,09	0,12	Abierta
Tubería 8	112,50	82,00	130,00	2,19	0,41	Abierta
Tubería 11	85,00	30,40	130,00	0,06	0,08	Abierta
Tubería 12	41,00	30,40	130,00	0,11	0,16	Abierta
Tubería 13	50,00	30,40	130,00	0,03	0,04	Abierta
Tubería 14	227,30	30,40	130,00	0,06	0,08	Abierta
Tubería 20	80,00	30,40	130,00	0,09	0,12	Abierta
Tubería 23	91,80	55,70	130,00	0,94	0,38	Abierta
Tubería 24	123,40	30,40	130,00	0,09	0,12	Abierta
Tubería 26	92,00	30,40	130,00	0,20	0,27	Abierta
Tubería 27	45,00	30,40	130,00	0,06	0,08	Abierta
Tubería 28	50,00	30,40	130,00	0,11	0,16	Abierta
Tubería 32	60,00	30,40	130,00	0,03	0,04	Abierta
Tubería 33	107,10	30,40	130,00	0,09	0,12	Abierta
Tubería 1	41,30	30,40	130,00	0,20	0,27	Abierta
Tubería 2	121,60	30,40	130,00	0,17	0,23	Abierta
Tubería 4	212,20	44,60	130,00	0,45	0,29	Abierta
Tubería 5	187,80	30,40	130,00	0,20	0,27	Abierta
Tubería 9	312,00	30,40	130,00	0,17	0,23	Abierta
Tubería 15	193,30	82,00	130,00	1,45	0,27	Abierta
Tubería 16	79,00	82,00	130,00	1,28	0,24	Abierta
Tubería 18	208,10	30,40	130,00	0,23	0,31	Abierta
Tubería 19	274,40	30,40	130,00	0,11	0,16	Abierta
Tubería 31	248,50	44,60	130,00	0,23	0,15	Abierta
Tubería 22	133,00	55,70	130,00	0,82	0,34	Abierta
Tubería 25	55,00	44,60	130,00	0,43	0,27	Abierta
Tubería 29	258,20	44,60	130,00	0,40	0,25	Abierta
Válvula 3	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,17	0,23	Activa
Válvula 10	Sin Valor	44,60	Sin Valor	0,37	0,24	Activa
Válvula 17	Sin Valor	82,00	Sin Valor	1,28	0,24	Activa
Válvula 21	Sin Valor	30,40	Sin Valor	0,11	0,16	Activa
Válvula 34	Sin Valor	200,00	Sin Valor	0,23	0,01	Activa
Válvula 30	Sin Valor	44,60	Sin Valor	0,40	0,25	Activa

Anexo 5. Atributos de los tubos de la línea de conducción del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de las líneas de la red						
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad	Caudal l/s	Velocidad m/s	Estado
Tubería 4	71,40	55,70	130,00	1,57	0,64	Abierta
Tubería 8	166,60	44,60	130,00	1,57	1,00	Abierta
Tubería 1	68,90	44,60	130,00	0,84	0,54	Abierta
Tubería 2	17,00	44,60	130,00	0,73	0,47	Abierta
Tubería 3	42,30	82,00	130,00	1,57	0,30	Abierta
Válvula 5	Sin Valor	82,00	Sin Valor	1,57	0,05	Activa

Anexo 6. Atributos de los nudos de la línea de conducción del acueducto El Bordo de las Martitas, Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Estado de los nudos de la red				
	Cota	Demanda	Altura	Presión
ID Nudo	m	l/s	m	m
Nudo 4	994,84	0,00	994,99	0,15
Nudo 5	989,23	0,00	994,23	5,00
Nudo 9	979,61	1,57	988,98	9,37
Nudo 3	995,06	0,00	999,67	4,61
Nudo 6	995,06	0,00	995,06	0,00
Depósito 1	999,30	-0,73	999,80	0,50
Depósito 2	999,85	-0,84	1000,35	0,50

Anexo 7. Presupuestos de tubería, de la línea de conducción, del acueducto El Bordo de las Martitas; para el diseño original. Microcuenca del Río La Soldada, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Tramo		Longitud (m)	No. de tubos	Diámetro (mm)	Precio unitario de tubos (Lps) ³	Precio total de tubos (Lps)	Precio unitario mano de obra (Lps)	Precio total de mano de obra (Lps)
De	a							
N1	CC3	68,90	12	44,60	45,00	525,51	1,68	115,75
N2	CC3	17,00	3	44,60	45,00	129,66	1,68	28,56
CC3	R1	42,30	7	82,00	310,00	2.222,54	2,38	100,67
R1	R2	71,20	12	55,70	145,00	1.749,83	2,08	148,10
R2	TD	166,60	28	44,60	45,00	1.270,68	1,68	279,89
						5.898,22		672,97
						Costo total:	6.571,19	

³ US\$ = 18.87 Lps (Lps es el símbolo de lempira, la moneda hondureña)

Anexo 8. Presupuestos de tubería, de la línea de conducción, del acueducto El Bordo de las Martitas; para el diseño nuevo. Microcuenca del Río La Soldada, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Tramo		Longitud (m)	No. de tubos	Diámetro (mm)	Precio unitario de tubos (Lps)	Precio total de tubos (Lps)	Precio unitario mano de obra (Lps)	Precio total de mano de obra (Lps)
De	a							
N1	CC3	68,90	12	44,60	45,00	525,51	1,68	115,75
N2	CC3	17,00	3	44,60	45,00	129,66	1,68	28,56
CC3	R1	42,30	7	67,40	208,02	1.491,40	2,20	93,06
R1	R2	71,20	12	44,60	45,00	543,05	1,68	119,62
R2	TD	166,60	28	44,60	45,00	1.270,68	1,68	279,89
						3.960,30		636,88
						Costo total:	4.597,17	

Anexo 9. Cálculo de los costos para la línea y red de distribución origina del acueducto El Bordo de las Martitas de la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Tramo		Longitud (m)	No. tubos	Diámetro (mm)	Precio unitario	Precio total de	Precio unitario	Precio total
De	a				de tubos (Lps)	tubos (Lps)	mano de obra (Lps)	de obra (Lps)
TD	A	205,00	35	82,0	310,00	10771,19	2,78	569,90
A	A'	126,20	21	30,4	51,00	1090,88	1,09	137,56
A	B	112,50	19	82,0	310,00	5911,02	2,78	312,75
B	TRC1	41,30	7	30,4	51,00	357,00	1,09	45,02
TRC1	C	121,60	21	30,4	51,00	1051,12	1,09	132,54
C	C'	85,00	14	30,4	51,00	734,75	1,09	92,65
C	D	41,00	7	30,4	51,00	354,41	1,09	44,69
D	D'	50,00	8	30,4	51,00	432,20	1,09	54,50
D	D''	227,50	39	30,4	51,00	1966,53	1,09	247,98
B	TRC2	212,20	36	44,6	91,00	3272,92	2,08	441,38
TRC2	E	187,80	32	30,4	51,00	1623,36	1,09	204,70
TRC2	E'	312,00	53	30,4	51,00	2696,95	1,09	340,08
B	TRC3	193,30	33	82,0	310,00	10156,44	2,78	537,37
TRC3	F	79,00	13	82,0	310,00	4150,85	2,78	219,62
F	F'	80,00	14	30,4	51,00	691,53	1,09	87,20
F	TRC4	208,10	35	30,4	51,00	1798,83	1,09	226,83
TRC4	G	274,40	47	30,4	51,00	2371,93	1,09	299,10
F	H	91,80	16	55,7	141,00	2193,86	2,48	227,66
H	H'	123,40	21	30,4	51,00	1066,68	1,09	134,51
H	I	133,00	23	55,7	141,00	3178,47	2,48	329,84
I	J	92,00	16	30,4	51,00	795,25	1,09	100,28
J	J'	45,00	8	30,4	51,00	388,98	1,09	49,05
J	J''	50,00	8	30,4	51,00	432,20	1,09	54,50
I	TRC5	55,00	9	44,6	91,00	848,31	2,08	114,40
TRC5	TRC6	258,20	44	44,6	91,00	3982,41	2,08	537,06
TRC6	K	248,50	42	44,6	91,00	3832,80	2,08	516,88
K	K'	60,00	10	30,4	51,00	518,64	1,09	65,40
K	K''	107,10	18	30,4	51,00	925,78	1,09	116,74
						<u>67595,27</u>		<u>6240,18</u>
					Total		73835,45	

Anexo 10. Cálculo de costos de la línea y red de distribución del nuevo diseño del acueducto El Bordo de las Martitas, La Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2005.

Tramo		Longitud (m)	No. tubos	Diámetro (mm)	Precio unitario de tubos (Lps)	Precio total de tubos (Lps)	Precio unitario mano de obra (Lps)	Precio total de mano de obra (Lps)
De	a							
TD	A	205,00	35	56,6	145,00	5038,14	2,48	508,40
A	A'	126,20	21	23,5	43,48	930,03	0,93	117,37
A	VRP1	112,50	19	56,6	145,00	2764,83	2,48	279,00
VRP1	C	162,90	28	23,5	43,48	1200,49	0,93	151,50
C	C'	85,00	14	15,8	35,00	504,24	0,75	63,75
C	D	41,00	7	23,5	43,48	302,15	0,93	38,13
D	D'	50,00	8	15,8	35,00	296,61	0,75	37,50
D	D''	227,50	39	15,8	35,00	1349,58	0,75	170,63
VRP1	E	212,20	36	30,4	51,00	1834,27	1,09	231,30
E	E'	187,80	32	23,5	43,48	1383,99	0,93	174,65
E	VRP2	161,50	27	30,4	51,00	1396,02	1,09	176,04
VRP2	E''	150,50	26	23,5	43,48	1109,11	0,93	139,97
VRP1	F	272,30	46	45,3	45,00	2076,86	2,08	566,38
F	F'	80,00	14	23,5	43,48	589,56	0,93	74,40
F	VRP3	58,30	10	30,4	51,00	503,95	1,09	63,55
VRP3	VRP4	223,20	38	30,4	51,00	1929,36	1,09	243,29
VRP4	G	201,00	34	30,4	51,00	1737,46	1,09	219,09
F	H	91,80	16	45,3	45,00	700,17	2,08	190,94
H	H'	123,40	21	23,5	43,48	909,40	0,93	114,76
H	VRP5	133,00	23	45,3	45,00	1014,41	2,08	276,64
VRP5	J	92,00	16	30,4	51,00	795,25	1,09	100,28
J	J'	45,00	8	15,8	35,00	266,95	0,75	33,75
J	J''	50,00	8	23,5	43,48	368,47	0,93	46,50
VRP5	VRP6	55,00	9	30,4	51,00	475,42	1,09	59,95
VRP6	VRP7	371,70	63	30,4	51,00	3213,00	1,09	405,15
VRP7	K	135,00	23	30,4	51,00	1166,95	1,09	147,15
K	K'	60,00	10	15,8	35,00	355,93	0,75	45,00
K	K''	107,10	18	23,5	43,48	789,27	0,93	99,60
						<u>35001,86</u>		<u>4774,66</u>
Total							39776,52	

Anexo 11. Entrevista semiestructurada para abonados al servicio de agua de uso doméstico.

ENCUESTA PARA EL ABONADO AL SERVICIO DE AGUA POTABLE

DATOS GENERALES

NOMBRE	ACUEDUCTO / FUENTE
DIRECCION	TIEMPO DE USO DEL SERVICIO
USO DEL AGUA RECIBIDA	ESTADO DE INSTALACIÓN DOMICILIARIA

CALIDAD DEL SERVICIO

TARIFA	TIPO DE MEDICIÓN	
MATERIAL DE TUBERIAS	DIÁMETRO	
RESPUESTA A QUEJAS	CONTINUIDAD DEL SERVICIO	
TIPO DE ATENCIÓN QUE RECIBE	CALIDAD DEL AGUA	TRATAMIENTO
¿QUE CANTIDAD DE AGUA RECIBE? ¿ES SUFICIENTE PARA SUS NECESIDADES?		
¿LA CANTIDAD CAMBIA CON EL TIEMPO?		
PROBLEMAS		

INSTITUCIONALIDAD

¿PARTICIPA EN ACCIONES COLECTIVAS?
¿ESTÁ ORGANIZADO?
¿HAY INSTITUCIONES TRABAJANDO PARA MEJORAR LOS SERVICIOS DE AGUA? ¿CUÁLES?

ASPECTOS ECONÓMICOS

¿PAGARÍA MÁS POR UN SERVICIO MEJOR? ¿HASTA CUÁNTO?		
ACTIVIDAD ECONÓMICA	OTROS SERVICIOS	
INGRESO FAMILIAR	BIENES	
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO		
¿CUÁNTAS PERSONAS VIVEN EN LA CASA?		
ADULTOS	NIÑOS	

¿POR QUÉ COSAS, PIENSA USTED QUE NO HAY SUFICIENTE AGUA LIMPIA PARA TODOS?
¿QUÉ COSAS PIENSA USTED QUE DEBEN HACERSE PARA TENER AGUA LIMPIA TODO EL AÑO?
¿EN QUÉ ÉPOCA TIENEN MÁS PROBLEMAS CON EL AGUA POTABLE? ¿POR QUÉ?
¿QUÉ ES UNA CUENCA HIDROGRÁFICA?
¿QUÉ ES UN COMITÉ DE CUENCA?

ASPECTOS DE SALUD

¿TIENE PROBLEMAS DE SALUD RELACIONADOS CON EL AGUA?
¿TIENE SERVICIO SANITARIO O LETRINA? ¿DÓNDE TIRA EL AGUA QUE USA?
¿CON QUÉ REGULARIDAD LAVAN LA PILA?
¿CÓMO ALMACENAN EL AGUA DE TOMAR?
CAPACITACION DE LA FAMILIA EN EL USO ADECUADO DEL AGUA

OTROS

¿USA AGUA PARA REGAR? ¿DE DÓNDE VIENE?	ÁREA DE RIEGO
¿USA AGUA DE POZO?	
¿LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA DE POZO ES BUENA? ¿POR QUÉ?	

Anexo 12. Entrevista aplicada a prestadores del servicio de agua de uso doméstico.

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL Y ADMINISTRACIÓN LOCAL

Nombre:	Tipo:	
Institución Superior:	Estatal	x
	Privada	
ADMINISTRACION LOCAL (ORGANISMO DIRECTAMENTE ENCARGADO)		
Nombre Institución:	Tipo:	
	Dependiente	
	Independiente	
Deberes y responsabilidades de la institución		
Fuente:		

FORMA DE OPERACIÓN

PERSONAL ENCARGADO

Operador	Contratado	Voluntario	Tiempo completo	Tiempo parcial	Ocasional
1					
2					
3					
4					
Operador		Responsabilidades			
1					
2					
3					
4					
¿El operador utiliza un diseño gráfico actual del sistema?		Sí		_____	
¿Por qué? _____		No		_____	
¿El operador utiliza un manual reglamentario de operación y mantenimiento?		Sí		_____	
¿Por qué? _____		No		_____	
¿El operador mantiene un libro de vida del sistema?		Sí		_____	
¿Por qué? _____		No		_____	
Describe la rutina de operación y mantenimiento actual del sistema					
1)					
2)					

CARACTERISTICAS DE LA ZONA

Nombre del sistema:				
Tipo de sistema:	Gravedad	Bombeo	Mixto	Otro
Tiempo de funcionamiento:				
Ubicación del sistema:				
Vías de acceso:				
Comunidad(es) servida(s):				
Servicios básicos:	Energía Eléctrica	Sí	No	
	Teléfono	Sí	No	
	Transporte	Sí	No	
	Alcantarillado	Sí	No	
	Letrinización	Sí	No	

DESCRIPCION DEL SISTEMA Y SUS COMPONENTES

CAPTACION					
Tipo	Elementos	Equipos	Accesorios	Daños pasados	
CONDUCCION					
Tubería	Tanques	Accesorios	Paso de quebradas/ríos	Daños pasados	
ALMACENAMIENTO / TRATAMIENTO					
Elementos		Equipos	Accesorios	Daños pasados	
RED DE DISTRIBUCION					
Tuberías	Tanques	Accesorios	Pasos de quebradas/ríos	Conección domiciliaria	Daños pasados

IDENTIFICACION Y CARACTERISTICA DE LAS AMENAZAS

Tipo	Características	Prioridad relativa	Area de impacto
Deslizamientos En la red En la obra de toma En las fuentes			
Inundaciones En la red Por la red En la obra de toma			
Otros			

VULNERABILIDAD OPERATIVA

CANTIDAD, CONTINUIDAD Y CALIDAD DEL AGUA:			
Nº DE USUARIOS	COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL
DEFICIT(-) SUPERAVIT(+)	CONTINUIDAD (PERÍODOS)		CALIDAD AGUA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
RUTINA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ACTUAL			
ATENCIÓN AL ABONADO			
TIEMPO DE DEMORA EN ATENDER UNA QUEJA			
CAPACITACIÓN PERSONAL			
PERSONAL	CURSO DE CAPACITACIÓN		ÚLTIMO ENTRENAMIENTO
TIEMPO DE SERVICIO		OBSERVACIONES	

VULNERABILIDAD FÍSICA

AMENAZA:

PRIORIDAD:

COMPONENTE Elemento/Equipo Expuesto	ESTADO ACTUAL (Condición desfavorable)	DAÑOS ESTIMADOS (Tipo y número)	Factor de Daño (%)	Valor actual del componente	Costo de los daños
CAPTACIÓN					
CONDUCCIÓN					
ALMACENAMIENTO - TRATAMIENTO					
DISTRIBUCIÓN					

MEDIDAS DE MITIGACIÓN: VULNERABILIDAD FÍSICA

AMENAZA:

COMPONENTE (Elemento/Equipo)	PRIORIDAD DE ATENCIÓN	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	CAPACIDAD DE RESPUESTA
CAPTACIÓN			
CONDUCCIÓN			
ALMACENAMIENTO-TRATAMIENTO			
RED DE DISTRIBUCIÓN			

MEDIDAS DE MITIGACIÓN: VULNERABILIDAD OPERATIVA

AREAS	PRIORIDAD DE ATENCIÓN	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	COSTOS	CAPACIDAD DE RESPUESTA

COMPLEMENTO

Fuente	Fecha de fundación
Fecha de juramentación	¿Cada cuánto cambian de autoridades?
¿A iniciativa de quién se organizaron?	
¿Qué ventajas han obtenido a partir de la formación de la Junta de Agua?	
¿Qué instituciones participaron en la formación de la Junta de Agua?	
¿Qué instituciones han aportaron fondos y trabajo a la infraestructura?	
requisitos que deben tener los asociados	Obligaciones de los miembros
¿Cuáles son los principales problemas?	Quejas de los usuarios
¿Cuál es la respuesta de la población?	¿Cuántos usuarios había al principio y ahora?
¿Hay medidas de penalización por mora?	Penalización por desperdicio
¿Solicitaron permiso por el uso del agua?	¿Pagan por el uso del agua? ¿Cuánto?
¿Tiene límite a la cantidad de agua que usan?	¿Reduce la cantidad del agua con los años?
¿Hacen análisis físico-químico al agua?	¿Hacen aforos?
¿Qué uso tiene el suelo aguas arriba de la toma?	¿Organizan acciones para proteger la fuente?
¿Quién diseñó y construyó el acueducto?	

Anexo 13. Cuadro de diámetros nominales y diámetros reales de la tubería de PVC de Durman Esquivel.

TUBERÍA DE PVC Y CPVC TABLA DE DIÁMETROS INTERNOS/EXTERNOS (mm)							
Pulg	mm	SDR-13.5 (315 psi) (ASTM 2241)	*SCH-40 (ASTM 1785)	SDR-17 (250 psi) (ASTM 2241)	SDR-26 (160 psi) (ASTM 2241)	SDR-32.5 (125 psi) (ASTM 2241)	SDR-41 (100 psi) (ASTM 2241)
1/2	12	18,2/21,3	15,8/21,3	.....	.....	.....	.....
3/4	18	.....	20,9/26,7	23,5/26,7	.....	.....	.....
1	25	.....	26,6/33,4	29,5/33,4	30,4/33,4	.....	.....
1 1/4	31	.....	35,0/42,2	37,2/42,2	38,9/42,2	39,1/42,2	39,8/42,2
1 1/2	38	.....	40,9/48,3	42,6/48,3	44,6/48,3	45,3/48,3	45,9/48,3
2	50	.....	52,5/60,3	53,2/60,3	55,7/60,3	56,6/60,3	57,4/60,3
2 1/2	62	.....	62,7/73,0	64,4/73,0	67,4/73,0	68,5/73,0	69,5/73,0
3	75	.....	77,9/88,9	78,4/88,9	82,0/88,9	83,4/88,9	84,6/88,9
4	100	.....	102,3/114,3	100,8/114,3	105,5/114,3	107,3/114,3	108,7/114,3
6	150	.....	154,1/168,3	148,5/168,3	155,3/168,3	157,9/168,3	160,1/168,3
8	200	.....	.....	193,3/219,1	202,2/219,1	205,6/219,1	208,4/219,1
10	250	.....	.....	240,9/273,1	252,1/273,1	256,2/273,1	259,8/273,0
12	300	.....	.....	285,8/323,8	299,0/323,8	303,9/323,8	308,1/323,8
15	375	.....	.....	.....	358,7/388,6	364,7/388,6	369,7/388,6
18	450	.....	.....	.....	422,0/457,2	429,1/457,2	434,9/457,2

(*Presión de trabajo por cada diámetro de menor a mayor (600, 480, 450, 370, 330, 280, 300, 260, 220, 180 psi respectivamente) (Tubos SCH 40).

Nota: Tubería de presión, drenaje y CPVC a 6m de longitud.

