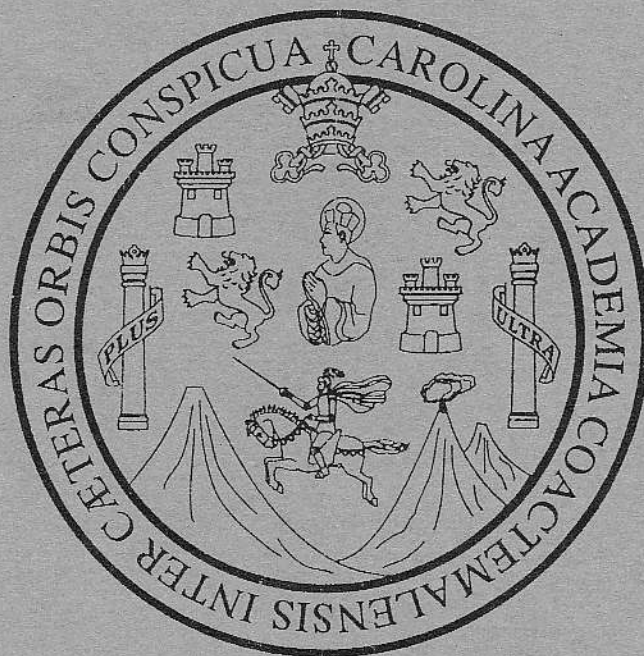


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA

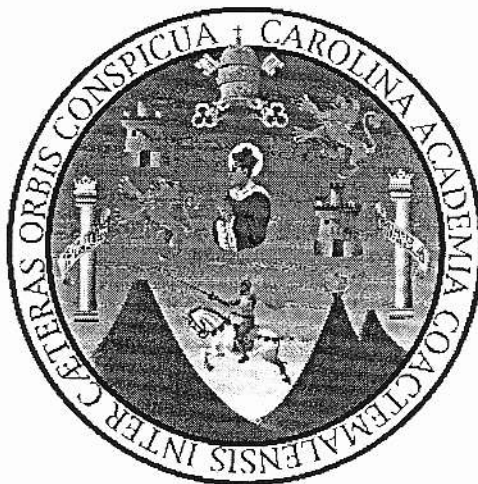


**FUENTES Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO
HÍDRICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, CUENCA
DEL RÍO SELEGUA, HUEHUETENANGO.**

ELÍAS RAYMUNDO RAYMUNDO

GUATEMALA, MARZO DE 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA



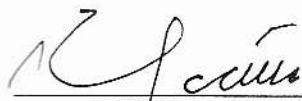
**FUENTES Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO
HÍDRICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, DE LA
CUENCA DEL RÍO SELEGUA, HUEHUETENANGO.**

*TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACIÓN DE LA HONORABLE JUNTA
DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA, PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA CON ESPECIALIDAD EN
PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA.*

ELÍAS RAYMUNDO RAYMUNDO

GUATEMALA, MARZO DE 2005.

ESTA TESIS FUE ACEPTADA POR EL CONSEJO ACADÉMICO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR DE LA INVESTIGACIÓN, COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA, CON ESPECIALIDAD EN PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS EN AGRONOMÍA.



MSc. Tomás Padilla Cámara
Asesor Principal



MSc. Anibal Sacabajá Galindo
Asesor Adjunto



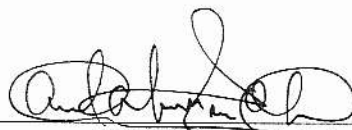
MSc. Pablo Prado
Asesor Adjunto



MSc. Iván Dimitri Santos
Coordinador de Maestría



MSc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
Director del Programa de
Estudios de Postgrado



PhD. Ariel Ortiz López
Decano Facultad de Agronomía
Imprimase



Ing. Agr. Elias Raymundo Raymundo
Estudiante

AGRADECIMIENTOS

A:

Licda. Bessie Oliva Hernández, por su permanente disposición a compartir sus conocimientos.

Ing. Agr. Juan Carlos Fuentes Montepeque, por su incondicional apoyo concreto.

Inga. Inf. Lyz Melina Colocho, por sus ay-ay-ay, por sus sí-sí-sí y por sus solitarias noches de desvelo sobre la virtual geografía Sanpedrana.

A Mis distinguidos asesores:

M. Sc. Tomás Padilla Cámbara, por todo el apoyo brindado en la realización de esta tesis más allá de la asesoría profesional.

M. Sc. Anibal Sacbajá Galindo y M. Sc. Pablo Prado: por sus aportes siempre orientados a obtener un producto enmarcado en la rigurosidad que este tipo de investigación requiere.

Al programa Red CARA:

Porque sin su apoyo, esta tesis no se hubiera realizado y el autor no hubiera avanzado en su formación profesional.

En especial,

Al delegado del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Maestro de Educación Rural Esdras Nehemías Ramírez; al Técnico de la Sección de Saneamiento Ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta, Sr. Oscar Martínez; y, al Sr. Carlos Nolasco Mejía. Tres personas que desde su situación institucional y personal, apoyaron y facilitaron la consecución de la información plasmada en esta investigación.

Al personal directivo de la ONG CEIBA. Por involucrarme con la realidad, por apoyar financieramente, con infraestructura y logística la fase de campo de este trabajo.

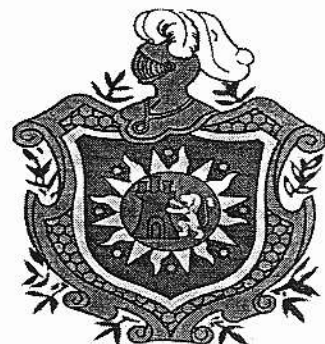
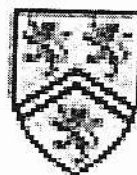
A “La Colocha”, por esa voluntad y ese apoyo logístico tan concreto a pesar de desconocer los detalles de este trabajo y a su autor.

ESTE ESTUDIO SE HA DESARROLLADO CON EL APOYO DE LA RED CENTROAMERICANA PARA EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS -CARA-, DE LA CUAL FORMAN PARTE LAS UNIVERSIDADES DE CALGARY Y WATERLOO DE CANADÁ, LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA Y LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA; Y LA ASOCIACIÓN PARA LA PROMOCIÓN Y EL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD -CEIBA-.



UNIVERSITY OF
CALGARY

University of
Waterloo



FUENTES Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, CUENCA DEL RÍO SELEGUA, HUEHUETENANGO.

SOURCES AND CONTAMINATION LEVELS OF WATER IN THE MICROBASIN OF RIVER SAN PEDRO, BASIN OF RIVER SELEGUA, HUEHUETENANGO.

RESUMEN

La microcuenca del río San Pedro, con una extensión de 34.2 Km², está localizada en la cuenca del río Selegua, una cuenca binacional compartida entre Guatemala y México. La unidad geológica principal de la microcuenca lo constituyen rocas sedimentarias de carbonato de calcio y magnesio, depositadas en la zona en el período pérmico y pérmico-carbonífero, con lo cual se presenta un ambiente kárstico que no está muy desarrollado. La altitud sobre el nivel del mar de la microcuenca varía de 1,230 m en el punto de aforo hasta 2,752 m en la parte más alta de la divisoria de cuencas, por lo que acuíferos colgados son la principal expresión de las aguas subterráneas, a través de los cuales se abastecen más de 12,000 personas que habitan la microcuenca o sus cercanías. Objetivo de esta investigación fue establecer las principales fuentes de contaminación y su impacto en la calidad del agua de la microcuenca, a través de entrevistas a la población, monitoreo de la calidad físico química y biológica del agua y talleres de discusión con líderes sobre la problemática de la calidad del agua.

La microcuenca fue seleccionada particularmente por su alta densidad poblacional, 349 hab/Km², por la falta de manejo de las aguas residuales y los desechos sólidos humanos, la actividad de beneficiado de café con su vertido de aguas mieles directamente al suelo o a las corrientes de agua superficiales, y los antecedentes de uso de fertilizantes químicos y de pesticidas en la agricultura (CEIBA, 2001). Entrevistas fueron realizadas a jefes de hogar para establecer las actividades y fuentes de contaminación. Con base a su ubicación respecto a las fuentes de contaminación, distintos sitios de fuentes de agua fueron seleccionados para colecta de muestras, tanto en la época seca y/o en la época lluviosa, con fines de análisis fisicoquímicos, de análisis de metales pesados, de análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados, y de análisis de coliformes fecales. Pruebas de infiltración fueron realizadas para establecer la conductividad hidráulica de los suelos; y dos talleres fueron realizados con líderes de comités de agua para discutir su visión sobre la contaminación del agua en la microcuenca, sus efectos y posibles soluciones. Para establecer la calidad del agua para consumo humano, los resultados de los análisis fisicoquímicos, de metales pesados, de pesticidas y bacteriológicos fueron comparados con los límites establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas y

Regulaciones para agua potable (COGUANOR, 2001), y para el uso en el riego, los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron comparados con la metodología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

De acuerdo con las entrevistas realizadas, las principales fuentes de contaminación derivan de actividades referidas al uso de jabones y detergentes, uso de pilas o baterías, uso de letrinas de hoyo o pozo ciego, el vertido de aguas mieles de la actividad de despulpado del grano de café y los estiércoles de animales domésticos (principalmente aves de corral y perros). De acuerdo a los talleres realizados, en la visión de los líderes de los comités de agua de la microcuenca, utilizando como criterios la cantidad de personas que producen la fuente o la cantidad total del contaminante producido, el tiempo del año en que permanece la fuente de contaminación, la peligrosidad de la fuente de contaminación y el tipo de fuentes de agua que son afectadas, las principales fuentes de contaminación antropogénica producidas en la microcuenca, en orden descendente de prioridad, son: 1) las aguas jabonosas; 2) las aguas residuales y las aguas mieles derivadas del despulpado del café; 3) la basura orgánica -animales muertos, desechos animales, restos de verduras, de frutas, etc.-; 4) la aplicación de pesticidas y las letrinas de hoyo; 5) la aplicación de fertilizantes químicos; 6) y la basura inorgánica (plásticos, nylon, vidrios, latas, etc.). Y estas fuentes de contaminación tienen mayor impacto en los ríos y menor impacto en los manantiales.

Con relación a los parámetros fisicoquímicos, metales pesados y pesticidas medidos con fines de potabilidad, se encontró que, en la época seca, solamente las aguas del cauce principal de la microcuenca mostraron niveles de DQO y DBO_5 superiores a los niveles permitidos para las aguas de efluentes líquidos. Los demás parámetros analizados, tanto en las aguas de manantiales como de los ríos, tanto en la época seca como en la época de lluvias, mostraron estar entre los límites aceptados por la norma guatemalteca.

En cuanto a la calidad bacteriológica del agua para fines de potabilidad, se detectó presencia de coliformes fecales en las muestras obtenidas de ríos tanto en la época seca como en la época de lluvias, no así en las muestras obtenidas de los manantiales, donde solo en los manantiales sin cajas de protección se encontró presencia de coliformes tanto en época seca como en época lluviosa, en tanto que en los manantiales con cajas de protección no se encontró presencia de coliformes fecales en ninguna de las dos épocas. Esta nula presencia o los niveles de un número relativamente bajo de coliformes fecales en manantiales, se explica hipotéticamente con relación a que los niveles de materia orgánica en los suelos (que es variable en la microcuenca pues en tres unidades mapeo se encontraron rangos de 0.6 a 2.8 %, en otras tres se encontraron rangos de 5.0 a 7.0 %, y en las tres últimas de 12.5 a 17 %) pueden estar teniendo efecto de retención de estos

parámetros y facilitando procesos químicos o biológicos de limpieza, o bien que la conductividad hidráulica de los suelos y las fisuras que son característicos del material geológico, estén provocando que los contaminantes se incorporen a acuíferos más profundos cuyos flujos no tienen salida en la microcuenca, de manera que los acuíferos colgados, que están alimentando las corrientes superficiales en la microcuenca, muestran poca evidencia de contaminación respecto a este parámetro.

En cuanto al uso del agua con fines de riego, de acuerdo a la metodología del departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la calidad del agua encontrada en época seca, de trece fuentes de agua muestreadas, ocho se clasifican como C1S1 y cinco se clasifican como C2S1. En el uso de las fuentes de agua C2S1, habrá que tener cuidado al momento de seleccionar el tipo de riego a emplear. Desde el punto de vista de los coliformes fecales, todos los manantiales son aptos para riego.

De las fuentes de contaminación detectadas en las entrevistas y priorizadas por los líderes de la microcuenca, el vertido de aguas mieles del despulpado de café está impactando en la calidad fisicoquímica del recurso hídrico en el cauce principal, evidenciado por los altos niveles de DQO en el mes de marzo, los cuales rebasan los niveles permitidos para aguas residuales en la época en que este contaminante está presente.

Asimismo, las aguas residuales y la deposición de excretas humanas mediante letrinas de hoyo están influyendo en la contaminación bacteriológica de ríos y manantiales, aunque a nivel de manantiales los niveles de contaminación son reducidos.

En cuanto a la química del agua, referidos principalmente a los parámetros de dureza, alcalinidad, pH, Ca^{2+} , CO_3^{-2} y HCO_3^- , los mismos se explican por el material geológico de la microcuenca definido como karst y constituido de roca caliza en distintos grados de meteorización. Las aguas se clasifican principalmente como HCO_3^- - Ca^{2+} o CO_3^- - Ca^{2+} y en algunos casos con presencia de Magnesio.

CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xxi
1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	7
3.1 Objetivo general	7
3.2 Objetivos específicos	7
4. MATERIALES Y MÉTODOS	8
5. ASPECTOS GEOGRÁFICOS	17
5.1 Ubicación administrativa	17
5.2 Localización geográfica	17
5.3 Vías de acceso	17
6. ASPECTOS SOCIALES	19
6.1 Características demográficas	19
6.1.1 Población municipal y su distribución según sexo, ruralidad y etnicidad	19
6.1.2 Comunidades y tamaño de población en la microcuenca del río San Pedro	20
6.1.3 Densidad poblacional	21
6.2 Nivel educativo	22
6.3 PEA y principales ramas de actividad económica y ocupación	23
6.4 Características de las viviendas	24
6.5 Acceso al agua potable	27
6.6 Acceso a servicios sanitarios	28
6.7 Manejo de la basura	30
6.8 Hogares y recursos para cocinar	31
6.9 Situación de las viviendas de la microcuenca respecto al servicio de agua y a los servicios sanitarios	32
6.10 Las enfermedades asociadas al agua en la microcuenca del río San Pedro	33
7. ASPECTOS BIOFÍSICOS	35
7.1 Clima	35
7.1.1 Temperatura	35
7.1.2 Precipitación	36

7.1.3	Evapotranspiración potencial	37
7.1.4	Balance gráfico de precipitación y evapotranspiración potencial	38
7.1.5	La Humedad relativa y el viento	39
7.2	Zonas de Vida	39
7.2.1	Bosque húmedo Subtropical (Templado)	39
7.2.2	Bosque Húmedo Montano bajo subtropical	40
7.3	Hidrología y red drenaje	40
7.3.1	Ubicación de cuenca	40
7.3.2	Orden de corrientes	42
7.3.3	Escorrentía superficial	42
7.3.4	Aforos diferenciales	44
7.4	Fisiografía	45
7.4.1	Gran paisaje: montañas y laderas de los Cuchumatanes	46
7.4.2	Gran paisaje: laderas degradadas de la cordillera de los Cuchumatanes	46
7.5	Geología	48
7.5.1	Formación de caliza Chochal	48
7.5.2	Formación Tactic	48
7.6	Serie de Suelos	50
7.7	Uso actual de la tierra	50
7.8	Capacidad de uso de la tierra	53
7.9	La conductividad hidráulica del suelo	53
8.	LA CALIDAD DEL AGUA	58
8.1	Las posibles fuentes de contaminación	59
8.1.1	Los vertidos de aguas jabonosas de las viviendas	60
8.1.2	Los vertidos de aguas residuales de la red de drenaje municipal	62
8.1.3	El vertido de aguas mieles del despulpado de café	63
8.1.4	Letrinas de hoyo	65
8.1.5	Basura orgánica e inorgánica	66
8.1.6	Las excretas de los animales domésticos, ganado caballar y mular	68
8.1.7	El uso de la tierra en actividades de cultivos anuales	70
8.1.8	La aplicación de fertilizantes químicos	71
8.1.9	La aplicación de pesticidas	72
8.1.10	Otras fuentes de contaminación	74
8.1.10.1	Uso de vehículos motorizados: talleres mecánicos, talleres de recarga de baterías y gasolineras	74
8.1.10.2	Uso de pilas o baterías para electrodomésticos	74
8.1.10.3	Uso de desinfectantes clorados	75

8.2	Las características físico químicas del agua	75
8.2.1	Temperatura	75
8.2.2	El potencial de hidrógeno (pH)	79
8.2.3	Conductividad eléctrica	80
8.2.4	La turbidez	81
8.2.5	Sólidos disueltos totales	82
8.2.6	Sólidos en suspensión	83
8.2.7	Sólidos sedimentables	84
8.2.8	Sólidos totales	85
8.2.9	Cationes mayores: Calcio (Ca^{2+}), Magnesio Mg^{2+}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+)	86
8.2.10	La dureza	89
8.2.11	Carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-)	90
8.2.12	Alcalinidad	91
8.2.13	Los elementos menores	92
8.2.14	Las especies de nitrógeno total (N): n total, $\text{N}-\text{NH}_4^+$ y NH_4^+	95
8.2.15	Fósforo Total	101
8.2.16	Cloruros	103
8.2.17	Sulfatos	104
8.2.18	Oxígeno Disuelto	105
8.2.19	Demanda Química de Oxígeno	107
8.2.20	Demanda Bioquímica de oxígeno	109
8.2.21	Aceites y grasas	110
8.3	Las características bacteriológicas del agua	112
8.3.1	Indicadores bacteriológicos	112
8.3.2	Coliformes fecales en las aguas de la microcuenca del río San Pedro	113
8.4	Presencia de metales pesados en el agua: Cadmio, Mercurio y Plomo	119
8.4.1	Cuantificación el Cd, Hg y Pb en las aguas de la microcuenca del río San Pedro	119
8.5	Presencia de pesticidas en el agua	120
8.5.1	Pesticidas organoclorados y organofosforados en las aguas de la microcuenca del río San Pedro	121
8.6	La calidad del agua para consumo humano	122
8.6.1	Desde las características físico-químicas	122
8.6.2	Desde las características bacteriológicas	125
8.6.3	Desde los metales pesados	126
8.6.4	Desde los pesticidas	126
8.6.5	Calidad del agua de la microcuenca del río San Pedro para el consumo humano	127
8.7	Calidad del agua para uso agrícola	128
8.7.1	Desde sus características fisicoquímicas	128

8.7.2	Desde el punto de vista bacteriológico	135
8.7.3	Las aguas de la microcuenca del río San Pedro y su calidad para riego	135
8.8	Las normas para los vertidos de aguas residuales y de beneficiado de café	139
8.9	El tipo de aguas de la microcuenca del río San Pedro	140
9.	LAS ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	142
9.1	Los usos del agua	143
9.1.1	Agua para consumo humano	143
9.1.2	Agua para riego	146
9.1.3	Agua para recreación	146
9.1.4	El agua como fuente de pesca	147
9.1.5	Otros usos del agua	148
9.2	Demanda actual y proyectada del agua	149
9.2.1	Demanda actual del agua	149
9.2.2	Proyección de la demanda del agua	150
9.3	La concepción del recurso agua en los líderes de la población que habita la microcuenca	151
9.4	Los niveles educativos y la capacitación en el manejo de los recursos hídricos	154
9.5	Las acciones comunitarias e institucionales que se realizan	155
9.5.1	La intensidad de uso de la tierra	155
9.5.2	Los esfuerzos institucionales y comunitarios	157
9.6	Las contradicciones en el uso y manejo actual del recurso hídrico	159
9.6.1	La distribución del recurso hídrico para fines de consumo humano	159
9.6.2	Los conflictos sociales por el uso del agua	161
11.	CONCLUSIONES	162
12.	RECOMENDACIONES	166
13.	BIBLIOGRAFÍA	169
ANEXO 1.	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN MARZO DE 2004	174
ANEXO 2.	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN ABRIL DE 2004	184
ANEXO 3.	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN JULIO DE 2004	187

ANEXO 4.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE N-NO_3^- Y N-NH_4^+ EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN ABRIL Y JULIO DE 2004	190
ANEXO 5.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE N TOTAL, NO_3^- , SÓLIDOS SEDIMENTABLES, SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN OCTUBRE DE 2004	192
ANEXO 6.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COLIFORMES FECALIS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN ABRIL Y EN JULIO DE 2004	194
ANEXO 7.	RESULTADOS DE CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN JULIO DE 2004	197
ANEXO 8.	RESULTADOS DE CUANTIFICACIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCLORADOS Y ORGANOFOSFORADOS EN FUENTES DE AGUA MUESTREADAS EN JULIO DE 2004	202
ANEXO 9.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS DONDE SE REALIZARON LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN	205
ANEXO 10.	BOLETA DE ENCUESTA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA, DIRIGIDA A USUARIOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO	207

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	Página
1.	Métodos de laboratorio utilizados para la determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos analizados en las aguas de la microcuenca del río San Pedro	10
2.	Comunidades y población que habita la microcuenca del río San Pedro	21
3.	Nivel educativo de la población de 7 años y más de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango	22
4.	Porcentajes de población total, de hombres y de mujeres alfabetas en los Municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, respecto a la población total de 7 años y más de edad	23
5.	Población de 7 años y más y población económicamente activa	23
6.	Población económicamente activa de 7 años y más de edad por rama de actividad económica (no incluye a los que buscaron trabajo por primera vez)	24
7.	Población económicamente activa de 7 años y más por ocupación, según departamento y municipio (no incluye a los que buscaron trabajo por primera vez)	25
8.	Situación del agua y las letrinas en las viviendas de las comunidades de la microcuenca del río San Pedro	33
9.	Número de casos reportados en 2004 de enfermedades asociadas al agua en personas < 13 años	34
10.	Caudales de 13 sitios de fuentes de agua que escurren en la microcuenca del río San Pedro	44
11.	Aforos diferenciales en el cauce principal del río San Pedro	45
12.	Uso de la tierra en 2000 en la microcuenca del río San Pedro	52
13.	Capacidad de uso de la tierra en la microcuenca del río San Pedro	53
14.	Pendiente, materia orgánica, textura y conductividad hidráulica de los suelos de la microcuenca del río San Pedro	55
15.	Volumen de jabón utilizado por año en la microcuenca del río San Pedro	62
16.	Propietarios, capacidad de procesamiento por día y lugar de ubicación de los principales beneficios de café en la microcuenca del río San Pedro	64
17.	Características de los rellenos sanitarios y producción de basura en la microcuenca del río San Pedro	67

18.	Tipo y cantidad de animales existentes en la microcuenca del río San Pedro	69
19.	Producción anual de estiércol animal en la microcuenca del río San Pedro	70
20.	Tierras con cultivo de anuales o temporales en el municipio de San Pedro Necta	71
21.	Fertilizantes utilizados en la microcuenca del río San Pedro	71
22.	Fertilizantes asignados y recibidos en el municipio de San Pedro Necta, Huehuetenango, en 2004-	72
23.	Características de los pesticidas distribuidos en la microcuenca del río San Pedro	74
24.	Características físicas y de pH de 13 fuentes de agua, muestreados en 2004, en la microcuenca del río San Pedro	77
25.	Cationes, Carbonatos, Bicarbonatos y elementos menores en 13 fuentes de agua, muestreados en 2004, en la microcuenca del río San Pedro	87
26.	Especies de Nitrógeno en 13 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro	98
27.	Niveles de sulfato (SO_4^{2-}) en marzo, abril y julio de 2004, en 14 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro	105
28.	Niveles de oxígeno disuelto (en mg/L y %) en 15 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, durante la mañana y la tarde, enero 2005	107
29.	Niveles de DQO en 14 fuentes de agua muestreadas en marzo, abril y julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro	108
30.	Niveles de DBO_5 en 14 fuentes de agua muestreadas en marzo, abril y julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro	110
31.	Niveles de grasas y aceites en 13 fuentes de agua muestreadas en abril y julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro	111
32.	Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la microcuenca del río San Pedro, en el año 2003	114
33.	Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la microcuenca del río San Pedro, en abril del año 2004	116
34.	Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la microcuenca del río San Pedro, en julio del año 2004	118
35.	Niveles de Cd, Hg y Pb (en microgramos/L) en tres fuentes de agua muestreadas en mayo y julio del año 2004, en la microcuenca del río San Pedro	119

36.	Niveles de pesticidas organoclorados y organofosforados en cinco fuentes de agua muestreadas en julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro	122
37.	Niveles de las Características fisicoquímicas que debe tener el agua potable según COGUANOR NGO 29-001, la EPA y la OMS	124
38.	Valores de línea guía para la verificación de calidad microbial, en 100 ml de muestra de agua, según COGUANOR 29-001, EPA y OMS	125
39.	Niveles de metales pesados aceptados en agua potable, según COGUANOR NGO 29-001, EPA y OMS	126
40.	Compuestos biocidas con sus respectivos límites máximos aceptables y límites máximos permisibles (en mg/L), según COGUANOR 29-001, EPA y OMS	127
41.	Peligro de salinidad para la agricultura por la conductividad eléctrica (CE) y el tipo de sal	130
42.	Índices de clasificación del agua a utilizarse en riego, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).	134
43.	Interpretación del nivel de riesgo del RAS y bicarbonatos en el agua	135
44.	Parámetros de calidad del agua para riego en 8 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, en marzo de 2004	136
45.	Parámetros de calidad del agua para riego en 13 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, en abril de 2004	137
46.	Parámetros de calidad del agua para riego en 13 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, en julio de 2004	138
47.	Coliformes fecales en muestras de 19 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro	138
48.	Propuesta de valores a obtener en las aguas residuales municipales y aguas de beneficiado de café, después de determinado tipo de tratamiento previo a su vertido al ambiente	139
49.	Tipo químico de las fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro	141
50.	Características de los proyectos de agua para consumo humano relacionados con la microcuenca del río San Pedro	145
51.	Proyectos de riego en la microcuenca del río San Pedro	146
52.	Características de los proyectos de agua para uso recreativo en la microcuenca	

	del río San Pedro	147
53.	Demanda actual y disponibilidad de agua para consumo humano en las comunidades de la microcuenca del río San Pedro	150
54.	Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de la microcuenca del río San Pedro	151
55.	Priorización de las fuentes de contaminación del agua, de acuerdo a criterios de líderes de comités de agua de la microcuenca del río San Pedro	153
56.	Nivel de escolaridad en 2004, en la microcuenca del río San Pedro	154
57.	Temas en que se han capacitado las personas de la microcuenca del río San Pedro	155
58.	Intensidad de uso del suelo en la microcuenca del río San Pedro	157
59.	Reforestación y protección de manantiales promovido por el MARN en 2003	158
60.	Cantidad de árboles sembrados en 2003, por las familias de la microcuenca del río San Pedro	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	Página
1	Hogares y disponibilidad de servicios sanitarios en San Pedro Necta, Huehuetenango	4
2	Tipos de servicio sanitario que disponen los hogares del municipio de San Pedro Necta, Huehuetenango	4
3	Forma de eliminar la basura en los hogares del municipio de San Pedro Necta, Huehuetenango	5
4	Pobreza general y pobreza extrema en la zona del estudio	6
5.	Mapa de ubicación geográfica administrativa de la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	18
6.	Población total y su distribución por sexo, en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	19
7.	Distribución de la población por ruralidad y etnicidad, en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	20
8.	Tipo de material predominante en las paredes exteriores de las viviendas de San Pedro Necta	26
9.	Tipo del material predominante en el techo de las viviendas de San Pedro Necta	26
10.	Tipo del material del piso en las viviendas de San Pedro Necta	27
11.	Tipo de servicio de agua en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	28
12.	Hogares y disponibilidad de servicios sanitarios en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	29
13.	Tipo de servicio sanitario de que disponen los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	30
14.	Forma de eliminar la basura en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	31
15.	Recursos utilizados para cocinar en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango	32
16.	Comparación de los años con mayor y menor temperatura media en el período 1990-2003 según la Estación Meteorológica San Pedro Necta	36

17.	Comparación de los años con mayor y menor precipitación en el período 1990-2003 según la Estación Meteorológica San Pedro Necta	37
18.	Comparación de los años con mayor y menor evaporación en el período 1990-2003 según la Estación Meteorológica San Pedro Necta	37
19.	Precipitación y evaporación medias para el período 1990-2003, según la Estación Meteorológica San Pedro Necta	38
20.	Mapa de Zonas de Vida, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	41
21.	Mapa de red hidrológica de la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	43
22.	Mapa de unidades fisiográfica de microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	47
23.	Mapa de unidades geológicas de la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	49
24.	Mapa de uso de la tierra, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	51
25.	Mapa de capacidad de uso de la tierra, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	54
26.	Mapa de unidades de mapeo según unidades geológicas, series de suelos y uso de la tierra y ubicación de los sitios donde se realizaron pruebas de infiltración, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	56
27.	Conductividad hidráulica de los suelos de la microcuenca del río San Pedro.	57
28.	Mapa de ubicación de las fuentes de contaminación en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	61
29.	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de las fuentes de agua, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango, Guatemala	76
30.	Niveles de pH en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	79
31.	Niveles de Conductividad Eléctrica en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	80
32.	Niveles de turbidez en 13 fuentes de agua muestreadas en abril de 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	81

33.	Niveles de Sólidos Disueltos Totales en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	82
34.	Niveles de sólidos en suspensión en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	84
35.	Niveles de sólidos sedimentables en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	85
36.	Niveles de Sólidos Totales en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	86
37.	Niveles promedio de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	88
38.	Niveles de Dureza en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro Necta, cuenca del Selegua.	89
39.	Niveles de CO_3^{2-} y HCO_3^- en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	91
40.	Niveles de alcalinidad en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	92
41.	Niveles de Fe, Cu, Mn, Zn y B presentes en 8 fuentes de agua, muestreadas en marzo 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	94
42.	Niveles de Fe y Mn en 13 fuentes de agua, muestreadas en julio 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	95
43.	Niveles del N total en muestras de 13 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	97
44.	Niveles de N-NH_4^+ en 13 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, en abril y julio del 2004.	99
45.	Niveles de NO_3^- en 14 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	100
46.	Niveles de P total en 14 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	102
47.	Niveles de cloruro en 14 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.	104
48.	Niveles de Cadmio en tres fuentes de agua muestreadas en julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua	120

49.	Mapa de ubicación de los proyectos de agua para consumo humano, de riego, de recreación y de cultivo de peces, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huchuetenango, Guatemala	144
50.	Mapa de Intensidad de uso de la tierra, microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huchuetenango, Guatemala	156

LISTA DE ACRÓNIMOS

DE INSTITUCIONES

ALIDES	Alianza para el Desarrollo Sostenible
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América
FAUSAC	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IIA	Instituto de Investigaciones agronómicas de la FAUSAC
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PIRENAR	Programa de Investigación en Recursos Naturales Renovables
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación del Gobierno de Guatemala
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

DE LA CALIDAD DEL AGUA

B	Boro
Ca	Calcio
CE	Conductividad eléctrica
Cd	Cadmio
Cl ⁻	Cloruro
CO ₃ ⁻²	Carbonatos
Cu	Cobre
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Fe	Hierro
HCO ₃ ⁻	Bicarbonatos
Hg	Mercurio
K	Potasio
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
N	Nitrógeno
Na	Sodio
NH ₄ ⁺	Amonio
NO ₃ ⁻	Nitrato
P	Fósforo
Pb	Plomo
pH	Potencial de Hidrógeno

RAS	Relación de Adsorción de Sodio
SO_4^{-2}	Sulfato
SDT	Sólidos disueltos totales
SS	Sólidos sedimentables
ST	Sólidos totales
Zn	Zinc

DE UNIDADES DE MEDIDA

cm	centímetro
dS/m	decisiemens por centímetro
Ha	Hectárea
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Km^2	Kilómetro cuadrado
Km/h	Kilómetro por hora
L/s	litro por segundo
m/d	metro por día
m^2	metro cuadrado
m^3/s	metro cúbico por segundo
m^3/d	metro cúbico por día
meq/L	miliequivalentes por litro
msnm	metros sobre el nivel del mar
Tm	Tonelada métrica
$\mu\text{g/L}$	microgramos por litro
$\mu\text{S/cm}$	microsiemens por centímetro

1. ANTECEDENTES

A nivel global, y años después de la declaración del Club de Roma de 1970 sobre el carácter finito y limitado de los recursos naturales, el agua ha venido cobrando una importancia vital como recurso estratégico en el desarrollo humano. Esta preocupación solo ha crecido en la medida en que diversos conflictos referidos al uso y acceso del agua, expresado en términos de cantidad y calidad, se han hecho evidentes. Derivado de esta situación, tres foros mundiales se han realizado (1977, 1996 y 2003); dos conferencias mundiales (1992 y 2001); la década del 2000 ha sido declarada como el decenio internacional del Agua, se ha realizado una cumbre mundial sobre el agua en 2002, y 2003 fue declarado el año internacional del agua dulce.

A nivel regional, los gobiernos de los países centroamericanos, en la iniciativa Alianza para el Desarrollo Sostenible –ALIDES- han establecido como uno de los temas de trabajo prioritario el agua. Asimismo, convenios sobre el Cambio Climático y lucha contra la Desertificación y la Sequía han sido ratificados unánimemente por los gobiernos de la región. Por otra parte, los gobiernos de Guatemala y de México, suscribieron en 1980 un convenio para realizar estudios en las cuencas compartidas, formando el grupo GACELA, que realizó diagnósticos generales de las cuencas transfronterizas Cuilco, Selegua, Necta y Suchiate.

A partir de ello y preocupados por el cada vez más creciente deterioro del recurso hídrico, en Guatemala se ha emitido la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86), que en cuanto al agua establece, entre otras cosas, en su capítulo II, Del Sistema Hídrico, Artículo 15: **“que el Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad de agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes”**. En cuanto a la calidad del agua, el artículo 15 de esta Ley desglosa los siguientes incisos: *a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características, físicas, químicas y biológicas; b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental; c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos; d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua; f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas; g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies; j) Prevenir,*

controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala; y k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

Se ha creado también la Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones –COGUANOR-, Comisión que ha establecido normas de calidad para el agua de consumo potable y normas para los vertidos de aguas residuales municipales (1975).

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, desde hace más de una década, ha estado involucrada en la investigación de los recursos naturales renovables y específicamente en el recurso hídrico. En el año 1990, el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) creó y aprobó el programa de investigación de recursos naturales renovables (PIRENAR), en donde se elaboró el proyecto “Priorización de Cuencas Hidrográficas”, seleccionándose como prioritarias las cuencas de los ríos Achiguate en la vertiente del océano Pacífico, Grande de Zacapa en la vertiente del océano Atlántico y Chixoy en la vertiente del golfo de México. (USAC, 1994)

La Asociación para la Promoción y el Desarrollo de la Comunidad –CEIBA- es una Organización No Gubernamental creada en 1993 por profesionales de distintas disciplinas, con el objetivo de contribuir al desarrollo de las comunidades en situación de pobreza y extrema pobreza, definiendo sus acciones principalmente en los municipios del departamento de Huehuetenango. Parte de sus líneas de acción consiste en promover investigaciones de carácter científico que contribuyan a entender la problemática socioeconómica y de los recursos naturales con la finalidad de proponer soluciones e impulsar sus proyectos. Entre otras investigaciones, CEIBA realizó , en el año 2001, un estudio general sobre la situación de los recursos naturales en el municipio de San Pedro Necta.

La Municipalidad de San Pedro Necta tiene, entre otras preocupaciones, cumplir con los preceptos establecidos en la Ley para el Mejoramiento del Medio Ambiente, debido a los efectos que sobre el ambiente tiene la producción de basura y la producción de aguas residuales en el municipio. El manejo de estos contaminantes son servicios que proporciona la Municipalidad y con los cuales se busca mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La microcuenca del río San Pedro tiene una extensión de 34.2 Km². Se ubica en la región fisiográfica de las tierras altas sedimentarias y se localiza en los límites de los municipios de San Pedro Necta, San Ildefonso Ixtahuacán, Colotenango y Santiago Chimaltenango, en el departamento de Huehuetenango.

La importancia del estudio del agua en esta microcuenca, es debido a que en la misma se asientan un total de diecisiete comunidades, incluyendo la cabecera municipal del municipio de San Pedro Necta, la cual se ubica en las márgenes del río San Pedro. La población que habita en la microcuenca define una densidad poblacional de 349 habitantes/Km². Quince de las comunidades que habitan esta microcuenca y cinco comunidades ubicadas en microcuencas aledañas, utilizan el agua de la microcuenca del río San Pedro para abastecer sus necesidades de consumo. Además, varias familias utilizan el agua para el riego de cultivos agrícolas y para el consumo de sus animales domésticos. Asimismo, dos familias de la microcuenca han establecido piscinas públicas para la recreación. Y por otro lado, existe un conflicto social por la propiedad y uso del agua no resuelto entre una comunidad del municipio de San Pedro Necta y la municipalidad de Santiago Chimaltenango.

Asimismo, el río San Pedro es un afluente del río Selegua, que constituye la corriente principal de la cuenca del Selegua que es una cuenca binacional compartida entre Guatemala y México, transitando el río Selegua de Guatemala hacia México. Por el hecho de que distintas comunidades y poblados hacen uso del agua del río Selegua tanto en su recorrido por Guatemala como en su recorrido en el territorio de México, es importante también conocer el nivel de contaminación que aporta la microcuenca del río San Pedro, cuya corriente principal, en el mes de abril de la época de estiaje, presenta un caudal de 70 L/s.

2. JUSTIFICACIÓN

A nivel del país, los problemas del agua se han expresado principalmente en altas tasas de mortalidad y enfermedad asociadas a este recurso. De 1986 a 1990, la tasa de mortalidad relacionada al agua varió de 161.1 a 117.6 muertes/ 100,000 habitantes, en tanto que la tasa de enfermedad relacionada al agua varió de 1989 a 1993 de 1,254.9 a 1,465 enfermos / 100,000 habitantes (CEPIS). Asimismo, cada vez es más difícil el acceso al preciado líquido.

A nivel local, en la microcuenca del río San Pedro, se tiene la siguiente situación:

- Aguas subterráneas extraídas de aguas de manantiales, de las partes altas de toda la microcuenca, están siendo utilizadas para cubrir la demanda de agua para consumo humano.
- A lo largo de la microcuenca, cuyas pendientes en general son mayores del 32 %, se realizan actividades agrícolas con cultivos anuales, facilitando los procesos erosivos.
- Asimismo, la actividad agrícola junto con actividades para la satisfacción de otras necesidades sociales, está provocando que más del 50 % de la superficie de la microcuenca presente deforestación.
- La mayoría de poblados, incluyendo la cabecera municipal, vierten sus aguas servidas y desechos sólidos a los cauces principales de la red de drenaje de la microcuenca, creando problemas de contaminación bacteriológica con sus consecuentes efectos aguas abajo.

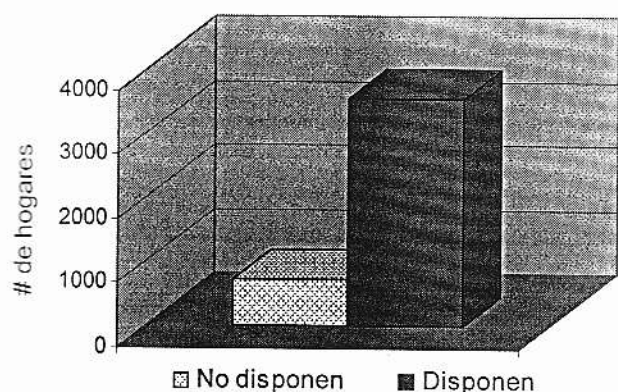


Figura 1. Hogares y disponibilidad de servicios sanitarios en San Pedro Necta, Huehuetenango

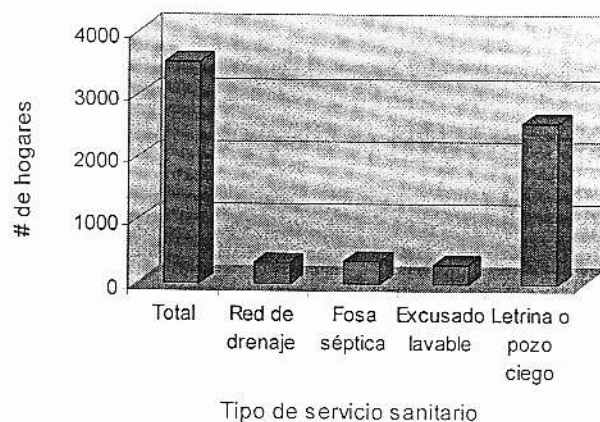


Figura 2. Tipos de servicio sanitario que disponen los hogares del municipio de San Pedro Necta

- e. En términos de manejo de desechos humanos, el 20 % de los hogares en el municipio de San Pedro Necta no cuentan con un lugar destinado para la deposición de excretas, en tanto que un 72 % de los hogares que cuentan con ello, los mismos son letrinas o pozos ciegos.
- f. Así mismo, en términos de manejo de la basura, el 71.7 % la deposita en cualquier lugar; el 1.8 % de hogares hace uso del servicio municipal (que consiste en un lugar de depósito de basura); y el 17.0 % la entierran. (INE, 2003).

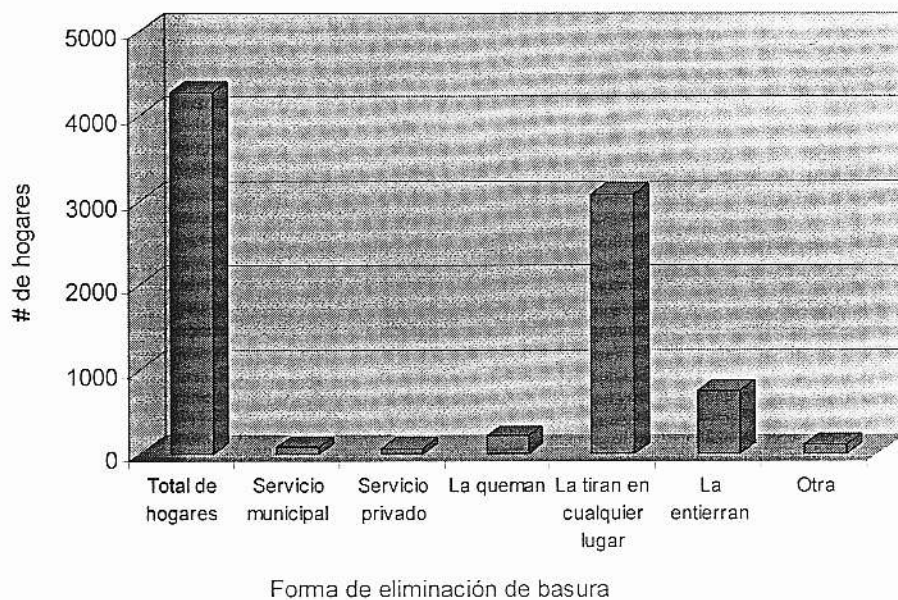


Figura 3. Forma de eliminar la basura en los hogares del municipio de San Pedro Necta, Huehuetenango

- g. Factores puntuales de contaminación son: las actividades de beneficiado de café, cuyas aguas mieles son vertidas a las corrientes superficiales de los ríos; la instalación de talleres mecánicos producen los desechos de aceites y grasas que son transportados por la escorrentía superficial; y actividades pecuarias, cuyos desechos también están siendo vertidos en algunos casos sobre el suelo y en otros directamente sobre las corrientes superficiales de agua, con la consiguiente contaminación.
- h. El 90 % de la población que vive en la microcuenca es indígena. San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango se encuentran entre los 102 municipios clasificados en el mapa de pobreza (SEGEPLAN, 2001) como de alta prioridad de atención. Huehuetenango tiene un Índice de Desarrollo Humano de 0.49 y comparte, con el Quiché, el último lugar. (PNUD, 2002)

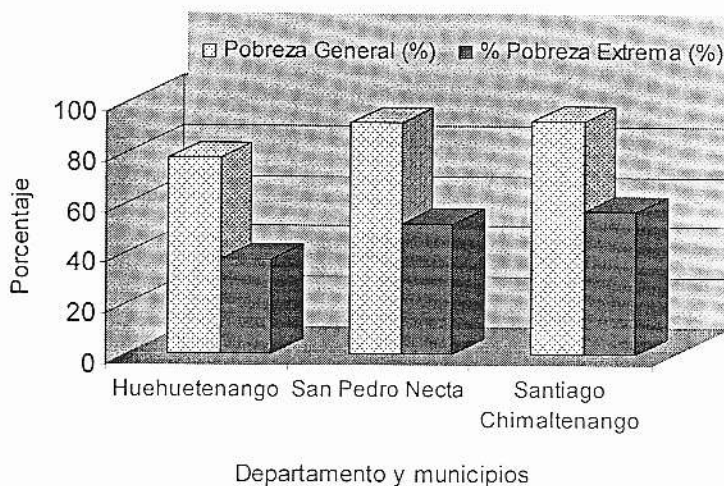


Figura 4. Pobreza general y pobreza extrema en la zona del estudio

En la microcuenca del río San Pedro, esta situación ha sido motivo de preocupación en los gobiernos municipales de esta zona (San Pedro Nectá, San Ildefonso Ixtahuacán, Colotenango y Santiago Chimaltenango) los cuales tienen interés en ordenar el uso de sus aguas. Asimismo, Asociación CEIBA, una organización no gubernamental de desarrollo local, está interesada en apoyar a estas municipalidades en la elaboración e implementación de políticas encaminadas hacia un manejo adecuado de los recursos hídricos con un enfoque de respeto e inclusión de los derechos de los pueblos indígenas.

Pero se desconoce la situación actual y futura del recurso hídrico, en tanto que la población sigue creciendo, la demanda de infraestructura y servicios con relación a este recurso se incrementa, a la vez que ha aumentado las acciones que a simple vista deterioran la calidad de las aguas tanto desde el punto de vista de su consumo humano, como de riego, y desde el punto de vista estético. Específicamente, no se conoce con precisión los niveles de contaminación que las actividades humanas provocan en el recurso hídrico de la microcuenca del río San Pedro, ni el efecto que esta contaminación tiene en la población humana que hace uso de este recurso.

A partir de estas razones se justificó la realización del presente estudio.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del recurso hídrico de la microcuenca del río San Pedro, en la cuenca del río Selegua; que permitan proponer medidas adecuadas para reducir los niveles de contaminación y mantener una calidad aceptable del recurso, de acuerdo a las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones para el Agua Potable (COGUANOR NGO 29-001), para el caso del consumo humano, y de acuerdo a la clasificación de aguas para riego del departamento de agricultura de los Estados Unidos para el caso del riego agrícola.

Objetivos específicos

1. Cuantificar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del recurso hídrico de la microcuenca del río San Pedro, que determinan su calidad para fines de consumo humano (de acuerdo a las normas COGUANOR NGO 29-001) y de riego agrícola (de acuerdo a la clasificación de aguas para riego del departamento de agricultura de los Estados Unidos).
2. Establecer las causas principales que limitan la calidad del recurso hídrico, según las épocas de estiaje y de lluvias, en su uso con fines de consumo humano y de riego agrícola.
3. Proponer estrategias y acciones adecuadas de manejo del recurso hídrico de la microcuenca del río San Pedro, encaminados a reducir los niveles de contaminación y mantener una calidad aceptable del recurso tanto para consumo humano como para riego agrícola.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento metodológico para el desarrollo del estudio comprendió la obtención y análisis de información general y de información específica para cada uno de los objetivos.

4.1 Información general

Esta parte del estudio estuvo referida a la obtención de todo el marco referencial, especialmente en cuanto a la ubicación geográfica administrativa, clima, red hidrológica, zonas de vida, unidades fisiográficas, unidades geológicas y serie de suelos. Para ello, se analizaron las hojas cartográficas 1862 I, 1862 II, 1862 III y 1862 IV, a escala 1:50,000; la base de datos del MAGA; y, los registros climatológicos del INSIVUMEH de la estación meteorológica San Pedro Necta.

4.2 Niveles de contaminación

Para alcanzar este objetivo específico se realizaron las siguientes actividades

4.2.1 *Recorridos de campo identificando fuentes de agua y fuentes de contaminación*

Este paso fue esencial para definir las fuentes de agua a muestrear. Para cada una de las fuentes de agua observadas se registraron datos de: tipo de fuente, nombre común, usos principales, coordenadas geográficas, altitud y caudal.

En esta etapa también se ubicaron las fuentes posibles de contaminación, registrando datos de coordenadas geográficas, altitud (si es puntual), volumen o peso y frecuencia.

4.2.2 *Definición de las fuentes de agua a muestrear*

Para este estudio, se definieron un total de catorce fuentes de agua a muestrear para análisis de parámetros fisicoquímicos, tres de estas fuentes fueron seleccionadas para análisis de metales pesados, cinco sitios fueron seleccionados para análisis de pesticidas organoclorados y organofosforados y seis sitios fueron seleccionadas para análisis de coliformes fecales.

De las catorce fuentes seleccionadas, una consistió en un vertido de aguas mieles de un beneficio de café y no una fuente de agua permanente.

Al análisis de coliformes fecales se añadieron otras fuentes de agua, incluyendo grifos domiciliarios y manantiales utilizados a nivel familiar.

Los criterios de selección de las fuentes de agua son: importancia de uso, ubicación respecto a fuentes de contaminación, ubicación que permitiera una comparación de resultados, permanencia durante todo el año y relativamente accesibles.

4.2.3 Definición de los parámetros a analizar

Los parámetros a analizar se definieron en función de que reflejaran la posible contaminación prevista. Los parámetros analizados en el laboratorio fueron los siguientes:

- a. Sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos totales y nitrógeno total, analizados en muestras obtenidas en los meses de abril, julio y octubre.
- b. Sólidos disueltos totales, analizados en muestras obtenidas en los meses de marzo y octubre.
- c. Conductividad Eléctrica analizado en muestras obtenidas en los meses de marzo, abril, julio, diciembre y enero.
- d. Amonio y Aceites y grasas, analizados en muestras obtenidas en los meses de abril y julio.
- e. PH, alcalinidad, dureza, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, nitratos, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, manganeso, zinc y cobre, analizados en los meses de marzo, abril y julio.
- f. Boro analizado en muestras obtenidas en el mes de marzo.
- g. Los metales pesados, plomo y mercurio fueron analizados en muestras obtenidas en el mes de abril.
- h. El metal pesado cadmio, fue analizado en muestras obtenidas en los meses de abril y julio.
- i. Plaguicidas organoclorados y plaguicidas organofosforados, analizados en muestras obtenidas en el mes de julio.
- j. Bacterias coliformes fecales, analizados en los meses de abril y julio, aunque también se utilizaron datos del año 2003, de muestreos realizados por la sección de Saneamiento Ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta. Análisis más específicos no se han realizado debido a las dificultades de traslado de muestras y debido a que el laboratorio, a disposición en la Jefatura del Área de Salud de Huehuetenango, solo realiza este tipo de análisis.

A nivel de campo, en los meses de diciembre y enero, fueron medidos los parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica. En el mes de enero se hicieron mediciones de oxígeno disuelto, para los mismos puntos de muestreo, estas mediciones fueron hechas por la mañana y por la tarde a manera de establecer una comparación entre ambos momentos del día.

4.2.4 Métodos en la determinación de los parámetros físico químicos

Cuadro 1. Métodos de laboratorio utilizados para la determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos analizados en las aguas de la microcuenca del río San Pedro

No.	Parámetros físicos	Métodos de laboratorio
1	Sólidos sedimentables	Método de sedimentación, utilizando el cono de Imhoff en donde se colocan 1000 ml de la muestra.
2	Sólidos en suspensión	Método de filtrado en fibra de vidrio.
3	Sólidos totales	Método de evaporación colocando 25 ml de una muestra de agua en la cápsula de porcelana y colocándola a 100 °C en un plato caliente 3.
4	Sólidos Disueltos Totales	Conductiómetro WTW LF 330.
5	Conductividad eléctrica	Conductiómetro WTW LF 330.
5	Aceites y grasas	Método de suspensión.
No.	Parámetros químicos	
1	PH	Potenciómetro
2	Alcalinidad	Método de titulación
3	Dureza	Método de titulación
4	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Método Respirométrico utilizando una Incubadora WTW OXITOP BOX y un volumen de muestra definido según el DQO.
5	Demanda química de oxígeno (DQO)	Fotómetro SQ 118, utilizando como reactivos: Bicromato de Potasio, Sulfato de Mercurio y Ácido Sulfúrico.
6	P total (P)	Método de colorimetría, Colorímetro AGILENT 8453
8	N Total (N)	Método de autodestilación utilizando un Kjeltac autodestilación FUSS 2200
9	Nitrato (NO ₃ ⁻)	Método de colorimetría, Colorímetro AGILENT 8453
10	Amonio ((NH ₄) ⁺)	Método de colorimetría, Colorímetro AGILENT 8453
11	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Método gravimétrico
12	Cloruros (Cl ⁻)	Método de titulación
13	Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	Método de titulación
14	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Método de titulación
15	Calcio (Ca ²⁺)	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
16	Magnesio (Mg ²⁺)	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
17	Sodio (Na ⁺)	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
18	Potasio (K ⁺)	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
19	Fe	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
20	Mn	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
21	Zn	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
22	Cu	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
23	B	Espectrofotómetro de Absorción atómica PERKIN ELMER 3100 Espectrofotómetro de Absorción Atómica PERKIN ELMER AAnalyst 300
No.	Metales pesados y Pesticidas	
1	Plomo (Pb)	Perkin Elmer Instruments, Analytical Methods for Atomic Absorbtion Spectrometry. Año 2000 modificación LNS.
2	Cadmio (Cd)	Perkin Elmer Instruments, Analytical Methods for Atomic Absorbtion Spectrometry. Año 2000 modificación LNS.
3	Mercurio (Hg)	Perkin Elmer Instruments, Analytical Methods for Atomic Absorbtion Spectrometry. Año 2000 modificación LNS.
4	Residuos de Plaguicidas Organoclorados	Manual for training in pesticide análisis Jon Mann
5	Residuos de Plaguicidas Organofosforados	Manual for training in pesticide análisis Jon Mann
No.	Parámetros bacteriológicos	
1	Coliformes fecales	Método del filtro de membrana, a través de la membrana se filtra un volumen medido de muestra de agua. El filtro se coloca en recipiente estéril y se incuba en contacto con un medio de cultivo, selectivo y diferencial, para el desarrollo de las bacterias coliformes captados por el filtro.

Fuente: elaboración propia.

4.2.5 Momentos de muestreo y toma de muestras

De las catorce fuentes de agua definidas, ocho fuentes de fuentes de agua fueron muestreados en marzo de 2004. Uno de estos sitios correspondió a las aguas mieles descargadas de un beneficio de café. Posteriormente, en los meses de abril y julio, un total de trece fuentes de agua fueron muestreados. Para las especies de sólidos y de nitrógeno, estos mismos sitios fueron muestreados en el mes de octubre. En estos mismas fuentes, mediciones de campo de Temperatura, Conductividad y pH se hicieron en el mes de diciembre. Con excepción de las aguas mieles descargadas de un beneficio de café, siete de los sitios de fuentes de agua muestreados en marzo fueron parte de los trece sitios de fuentes de agua muestreados en abril, julio, octubre y diciembre. En la figura ... se muestra la ubicación de los sitios muestreados.

De los ocho sitios muestreados en marzo: una muestra correspondió a un manantial; una muestra correspondió a un arroyo; cinco muestras correspondieron a ríos (dos de un mismo río); y, una muestra correspondió a la descarga de aguas mieles de un beneficio de café.

De los trece sitios muestreados en abril, julio, octubre y diciembre: cinco muestras correspondieron a ríos, dos de los cuales fueron tomados en distintos sitios del mismo río. Dos muestras correspondieron a arroyos (corrientes superficiales de caudal menor a dos litros en época de estiaje) y seis muestras correspondieron a manantiales. La otra muestra tomada en un sitio correspondiente a descarga de aguas mieles, solamente se realizó en el mes de marzo.

Los sitios de las fuente de agua donde se tomaron las muestras se diferenciaban por un gradiente y se representó fundamentalmente por la altitud a que estaban situados. De esa manera, los sitios muestreados se sitúan de la parte alta hasta la parte baja de la cuenca. Los manantiales principalmente correspondieron a la parte alta (un sitio), parte media alta (tres sitios) y parte media (dos sitios). Los ríos y arroyos correspondieron a la parte media (seis sitios) y a la parte baja (un sitio). (Ver mapa de ubicación de sitios de muestreo de fuentes de agua).

Los muestreos en marzo y abril-mayo fueron definidos como muestreos de la época de estiaje, y los muestreos de julio y octubre como muestreos de la época lluviosa.

Para cada una de las fuentes muestreadas se registraron los siguientes datos: coordenadas geográficas, altitud, nombre común o ubicación común del lugar y caudal de la fuente de agua.

Asimismo, en cada una de las fuentes seleccionadas, se tomaron las muestras de agua necesarias para los análisis físicos y químicos, de la siguiente manera:

- a. Se tomaron tres muestras de agua de un litro en recipientes de polipropileno, para la realización de análisis físico químicos.
- b. En tres de los sitios se tomo una muestra de agua de un galón (3.785 litros) en recipiente de polipropileno para la realización de análisis de metales pesados.
- c. En cinco de los sitios seleccionados, se tomó una muestra de agua de tres litros en un recipiente de vidrio oscuro para la realización de análisis de pesticidas organoclorados y organofosforados.
- d. En distintos sitios se tomaron muestras de agua de 100 ml en un recipiente de vidrio de boca ancha, previamente esterilizados, para análisis de coliformes fecales.
- e. Previo a tomar la muestra, el recipiente se lavó tres veces consecutivas con la misma agua de la fuente. Una vez obtenidas, se transportaron en hieleras herméticas, procurando temperaturas entre 4 y 10° C en su interior, hasta los laboratorios correspondientes. Para análisis de potabilidad del agua, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala; para análisis en el riego agrícola, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelo y Agua “Salvador Castillo” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala; para determinación cuantitativa de metales pesados: Cadmio, Mercurio y Plomo, así como de pesticidas organoclorados y organofosforados, las muestras fueron enviadas al Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud del Gobierno de Guatemala; para detección y cuantificación de coliformes fecales, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Calidad Bacteriológica del Agua, Jefatura de Área de Salud, Ministerio de Salud, de Huehuetenango.

4.3 Causas posibles de contaminación

En el cumplimiento de este objetivo se trabajaron dos grupos de actividades: un grupo de actividades relacionado a caracterizar las posibles fuentes de contaminación. El otro grupo de actividades referidas a determinar los factores atenuantes de la contaminación, específicamente medición de caudales y medición de la conductividad hidráulica de los suelos.

4.3.1 Caracterización de posibles fuentes de contaminación

Añadido a la actividad de: recorridos identificando fuentes de agua y fuentes de contaminación, se realizaron también las siguientes actividades:

4.3.1.1 Análisis del uso de la tierra

Para ello, se tomo de base un estudio realizado por CEIBA en 2001, en el cual, mediante análisis de fotografías aéreas del año 2000 escala 1:60,000 de las líneas 21 B (1397, 1398 y 1399) y 20 B (1445, 1444 y 1443), se establecieron los distintos usos de la tierra que se dan en la microcuenca del río San Pedro.

4.3.1.2 Entrevistas a personal de instituciones que trabajan en la zona

Se realizaron entrevistas a personal clave de las instituciones: ASODESI, ASASAPNE, CEIBA, Sección Municipal del tren de asco y manejo de la basura, Sección de Saneamiento Ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta, Delegación del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y Delegación de MALARIA.

El fin de las entrevistas fue ubicar las principales fuentes de contaminación y evaluar el peso que, de acuerdo a la visión de las instituciones, tienen estas fuentes en la contaminación de las fuentes de agua superficiales.

4.3.1.3 Encuesta a hombres y mujeres, jefes de familia

Se realizaron 600 entrevistas a igual número de viviendas en 17 comunidades humanas que habitan la microcuenca. Puesto que no se contó con una lista de las familias o un croquis detallado de las viviendas, se utilizó el método de muestreo al azar en zigzag, a partir del centro de la comunidad hacia los lados en radios dirigidos al norte, sur, este y oeste, para elegir la vivienda donde se realizó la entrevista.

4.3.1.4 Talleres con representantes de los comités de agua potable de la microcuenca

Dos talleres fueron realizados con la participación de 36 representantes de los comités de agua potable, haciendo uso combinado de técnicas magistrales con técnicas del método de herramientas para el desarrollo participativo (Geilfus, F., 1997). Estos talleres tuvieron como objetivos compartir información respecto a la realización del estudio y realizar un análisis participativo de las causas, efectos y posibles soluciones de la problemática de contaminación en las aguas de la microcuenca.

4.3.2 Factores atenuantes

Se consideraron dos factores: el caudal y la conductividad hidráulica.

4.3.2.1 Estimación de caudales

Se realizaron mediciones de caudal en los distintos puntos de muestreo del agua, durante los meses de marzo, abril, julio y octubre.

Estas mediciones se realizaron utilizando el método volumétrico para el caso de manantiales, y el método de sección-velocidad fue utilizado para los arroyos y ríos.

El método volumétrico consistió en utilizar un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo en el cual fue llenado por el flujo de agua. El cálculo del caudal está dado por la ecuación $Q = V/t$, donde Q es el caudal (dado en l/s o en m^3/s), V es el volumen (en litros o m^3) y t es el tiempo (en segundos) (Herrera Ibáñez, R., 1995).

Por su parte, el método de sección velocidad, para este caso, se ha realizado con el uso de un minimolinetes marca SEBA GMBH. Para ello, se siguieron los siguientes pasos: a) se seleccionó una longitud relativamente uniforme del río (que según las condiciones variaron de 1 a 2 m); b) en un punto de esta longitud se midió el ancho del río; c) en varios tramos del ancho se midió la profundidad del río; y, d) en los puntos donde se midió la profundidad del río se procedió a realizar el aforo utilizando el molinete con el cual se obtuvo la velocidad del río en ese tramo. Cuando la profundidad del río lo permite, el molinete se colocó a 4/10 de la profundidad, tomando de referencia el lecho del río. Cuando la corriente fue muy poco profunda, la medición se hizo superficial y se utilizó un factor de corrección que correspondió a 0.8 del valor obtenido.

Con los datos obtenidos se procedió de la siguiente manera: a) calcular el área de la sección transversal; b) la velocidad del río. Para el molinete utilizado, en función del número de revoluciones por segundo obtenido, se utilizaron cualesquiera de las ecuaciones siguientes:

$$V = 1.23 + 24.73n \quad \Leftrightarrow \quad n < 1.74$$

$$V = -0.42 + 25.68n \quad \Leftrightarrow \quad 1.74 < n < 10$$

Donde:

V = velocidad de la corriente (m/s)

n = número de revoluciones por segundo.

Con los datos de ancho y profundidad del río se procedió a determinar el área de la sección transversal. El caudal se obtuvo con la ecuación matemática: $Q = A * V$. Donde: Q = Caudal; V = Velocidad (obtenida del molinete); y, A = Área (Herrera Ibáñez, R., 1995).

4.3.2.2 Realización de pruebas de infiltración

Previo a la realización de estas pruebas, se elaboró un mapa de unidades de mapeo. Este mapa se obtuvo mediante el cruce de los mapas de unidades geológicas, serie de suelos y uso actual de la tierra, en un Sistema de Información Geográfica. Se obtuvieron un total de nueve unidades de mapeo. En los suelos de estas unidades de mapeo, se realizaron un total de trece pruebas de infiltración, durante el mes de agosto, algunas de las cuales fueron corroboradas en el mes de octubre.

El objetivo de estas pruebas de infiltración fue determinar la conductividad hidráulica (K) sobre el nivel freático (zona no saturada del suelo). Estas pruebas fueron realizadas haciendo uso del método de Porchet (Custodio, E. y Llamas, M., 2001) o del agujero inverso (Ritzema, H. P., 1994), el cual consistió en abrir un agujero de 40 a 60 cm de profundidad y de 8 a 11 cm de radio, al cual se le aplicó suficiente agua durante un tiempo previo de 2 a 3 horas hasta que el suelo alcanzara condiciones cercanas a la saturación. Entonces se realizaron mediciones del descenso del agua. Los datos fueron sometidos a un análisis numérico, haciendo uso de ecuaciones matemáticas, con el cual se estableció la relación entre el porcentaje de infiltración y la carga hidráulica para calcular el valor de la permeabilidad (Ritzema, H.P., 1994).

4.4 Definición de estrategias y acciones adecuadas al manejo del recurso hídrico

Cinco aspectos fueron principalmente utilizados en este análisis: a) los usos del agua; b) la oferta demanda proyectada de uso del agua; c) el nivel de conocimientos de la población, tanto en términos de su nivel educativo como en capacitaciones específicas respecto al manejo del agua; d) la concepción en la población sobre la calidad del agua y medidas de manejo; y, e) las acciones que se realizan en beneficio de la calidad del agua, tanto desde el punto de vista institucional como de las acciones de las comunidades que habitan la microcuenca.

Para ello, las actividades realizadas complementaron actividades planteadas en los objetivos anteriores: a) medición de caudales de todos los proyectos de agua para consumo humano en el mes de abril, mismos que fueron aforados por el método volumétrico; b) entrevista a personal de las instituciones; c) encuesta a hombres y mujeres, jefes de familia; d) talleres con líderes de comités de agua potable; y e) análisis de la intensidad de uso de la tierra.

El análisis de la demanda actual del agua se realizó de acuerdo a las normas de diseño de abastecimiento de agua a zonas rurales.

De acuerdo con González, O., (2003) las normas de diseño de abastecimiento de agua a zonas rurales exige tomar en cuenta: a) la dotación por habitante (que está en función del clima); b) el caudal medio (Q_m), el cual es el producto del factor consumo medio diario por habitante y el factor número de habitantes de la comunidad; c) el caudal de conducción (Q_c , consumo máximo diario), el cual es el producto del caudal medio y el factor de día máximo (que está en función del número de habitantes de la comunidad, 1.2 para más de 1000 habitantes, y 1.3 para menos de 1000 habitantes); y, d) el caudal de distribución (Q_d , consumo máximo horario) que es el producto del caudal medio y el factor de hora máximo (2 en este caso).

En cuanto al análisis de la demanda proyectada del agua, se ha realizado una proyección a 25 años. Las normas exigen para ello tomar en cuenta la tasa de crecimiento poblacional.

La población se proyectó de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$P_f = P_i (1 + t_c)^n$$

Donde:

P_f = Población final.

P_i = Población actual o inicial.

T_c = Tasa de crecimiento anual de la población expresado en forma decimal.

n = Periodo de diseño (años).

La Tasa de crecimiento anual (T_c) de la población se obtuvo de los reportes demográficos del Instituto Nacional de Estadística, para este caso se ha utilizado el promedio del área rural que es del 3.1 %; y un periodo de diseño (n) de 25 años. Obtenido el dato de población final, se siguió el procedimiento para el diseño de abastecimiento de agua a zonas rurales.

El análisis de la intensidad de uso de la tierra, se realizó mediante el análisis de los mapas de uso actual de la tierra y de capacidad de uso de la tierra (CEIBA, 2001). La finalidad fue evaluar qué tan bien se están utilizando los suelos de la microcuenca. Este elemento fue importante para el análisis de los parámetros de los sólidos totales, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión en las aguas, los cuales son algunos indicadores de la erosión de los suelos.

5. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

5.1 Localización geográfica

Las coordenadas UTM en que se localiza la microcuenca del río San Pedro, son las siguientes: al norte, ¹⁷16900 y ⁶33600; al sur, ¹⁷10250 y ⁶33450; al este, ¹⁷12750 y ⁶39050; y al oeste, ¹⁷13500 y ⁶29600 (IGN).

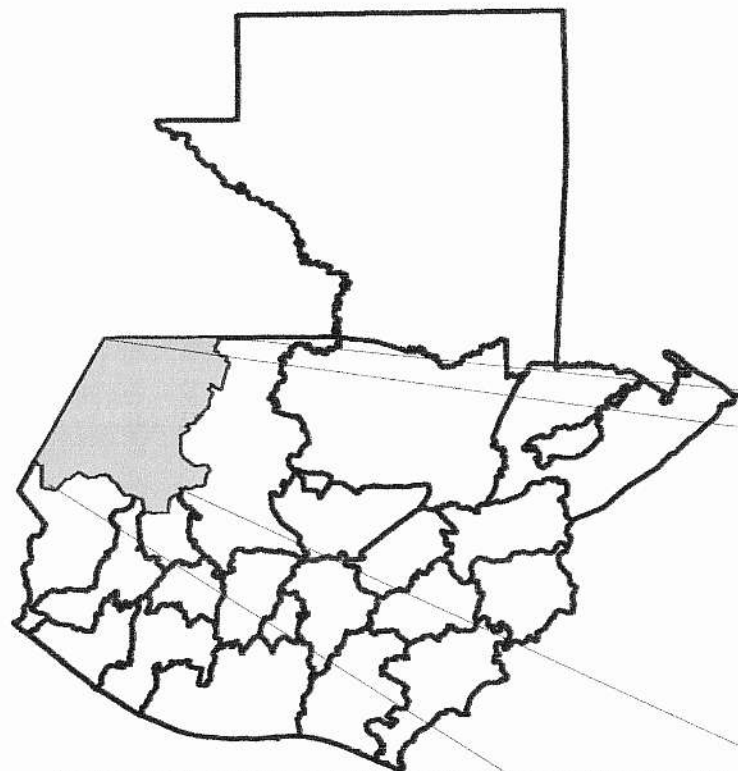
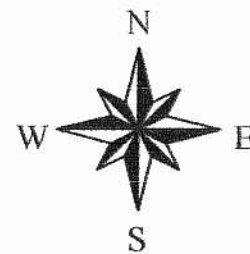
5.2 Ubicación administrativa

La microcuenca del río San Pedro, es parte de la cuenca del río Selegua y está ubicada en el departamento de Huehuetenango. La microcuenca del río San Pedro, se ubica entre los municipios de San Pedro Necta, San Ildefonso Ixtahuacán, Colotenango y Santiago Chimaltenango. El 76.3 % de la microcuenca pertenece a la jurisdicción municipal de San Pedro Necta; el 11.6 % pertenece a la jurisdicción municipal de San Ildefonso Ixtahuacán; el 7.2 % pertenece a la jurisdicción municipal de Colotenango; y el 4.9 % restante se ubica en la jurisdicción municipal de Santiago Chimaltenango (ver Figura 5) (IGN).

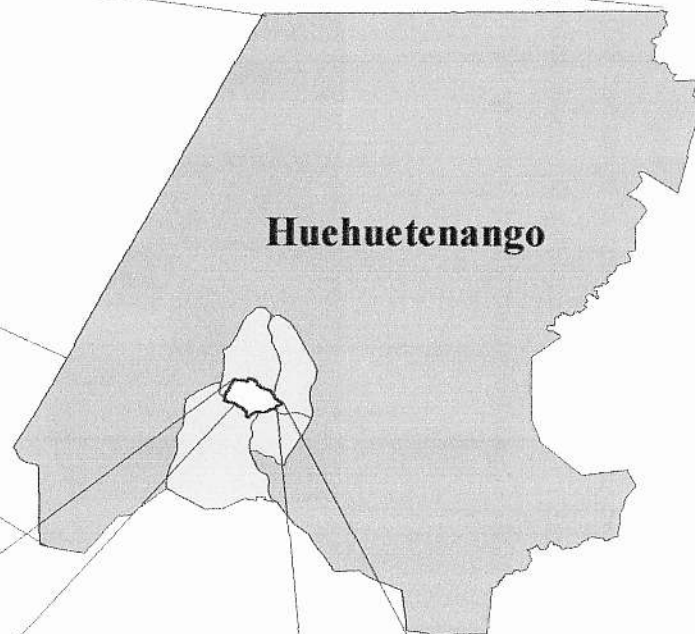
5.3 Vías de Acceso

Para acceder a la microcuenca del río San Pedro desde la Ciudad de Guatemala, existe la carretera asfaltada CA-1 que conduce de Ciudad de Guatemala a la cabecera departamental de Huehuetenango, un recorrido de 266 Km. Sin embargo, antes de ingresar a la cabecera departamental de Huehuetenango, en el Km 258.5, se sigue por la carretera CA1 con rumbo a La Mesilla, frontera con México. A la altura del Km 303, en el lugar conocido como Chimiche, hay una carretera de terracería que conduce a la cabecera municipal de San Pedro Necta con un recorrido aproximado de 7 Km.

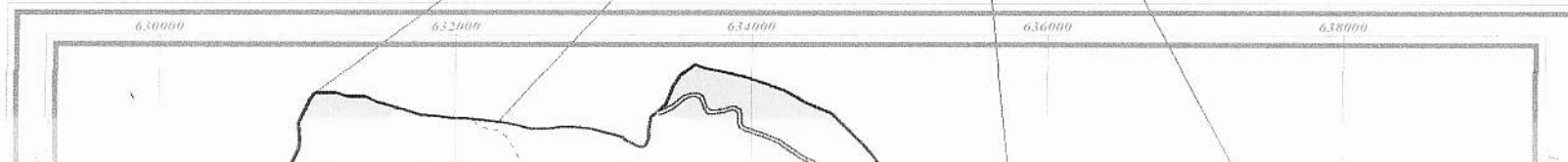
Al interior de la microcuenca, existen varias carreteras de terracería. La principal es la que conduce de la cabecera municipal de San Pedro Necta a la Cabecera de Santiago Chimaltenango y luego hacia la Aldea Siete Cerros. Otras carreteras al interior de la microcuenca conducen de la cabecera municipal hacia la Aldea Nimá y otra más que conduce hacia la aldea Niyá y luego hacia la cabecera de Santiago Chimaltenango. Estas últimas presentan mucha dificultad de tránsito durante la época lluviosa.



MAPA DE DIVISIÓN POLÍTICO - ADMINISTRATIVA
DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA



ESCALA 1:50,000



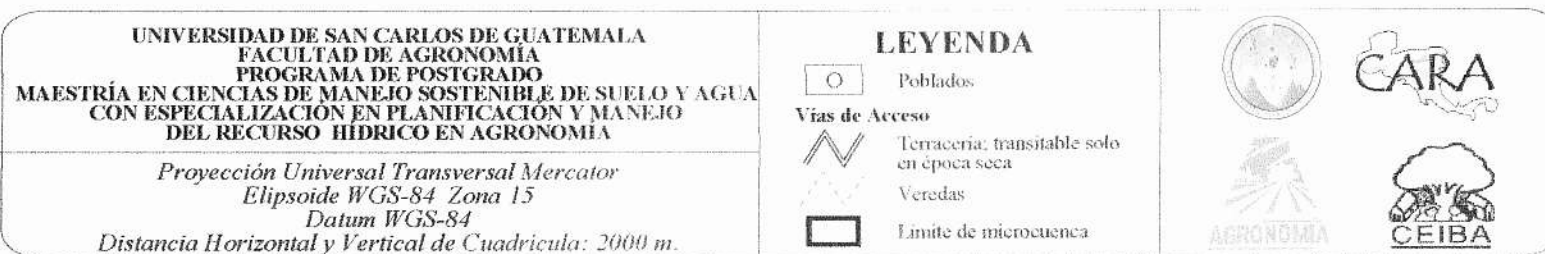
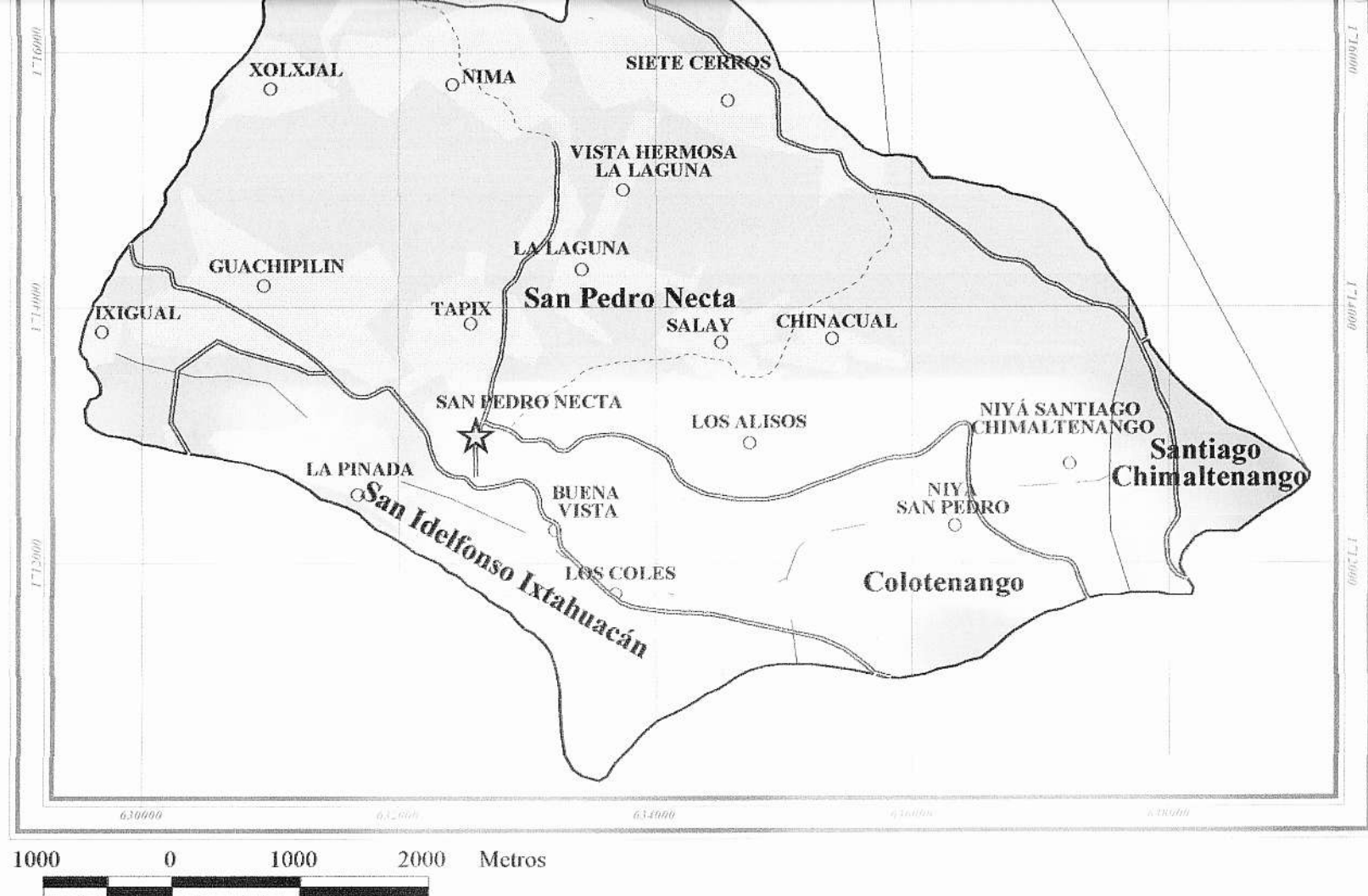


Fig. 5. MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICO - ADMINISTRATIVA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO, CUENCA DEL RÍO SELEGUA, HUEHUETENANGO, GUATEMALA.

6. ASPECTOS SOCIALES

6.1 Características demográficas

6.1.1 Población municipal y su distribución según sexo, ruralidad y etnicidad

Como puede apreciarse en la Figura 6, y de acuerdo con datos del INE (2003), el municipio de San Pedro Necta presenta una población de 26,025 habitantes la cual es 4.3 veces mayor a la del municipio de Santiago Chimaltenango. Con respecto a la distribución de población por sexo, en San Pedro Necta el 50.4 % son mujeres y el 49.6 % son hombres, en tanto que en el municipio de Santiago Chimaltenango el 51.3 % son mujeres y el 48.7 % son hombres.

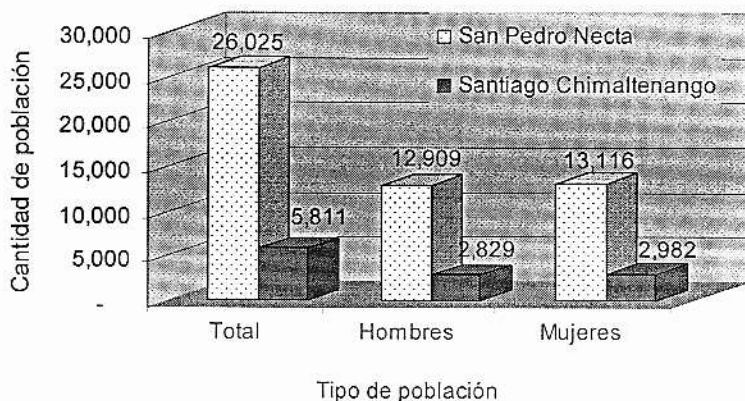


Figura 6. Población total, y población por sexo, en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango

Respecto a la ruralidad, el 11.7 % de la población de San Pedro Necta se encuentra en el área urbana en tanto que el 88.3 % es población rural. En tanto que en el municipio de Santiago Chimaltenango, hay una distribución más concentrada de la población en el área urbana donde se ubica el 53.1 % de población, en tanto que el 46.9 % se ubica en el área rural.

Respecto a la etnicidad, en el municipio de San Pedro Necta existe mayor proporción de población no indígena (19.7 % de la población total) con respecto a Santiago Chimaltenango, donde la presencia de población no indígena es muy leve, apenas el 1.7 % de la población total. La gran mayoría de población en

ambos municipios es indígena (como puede apreciarse en la Figura 7) siendo del 80.3 % de la población en San Pedro Necta y el 98.3 % de la población en Santiago Chimaltenango.

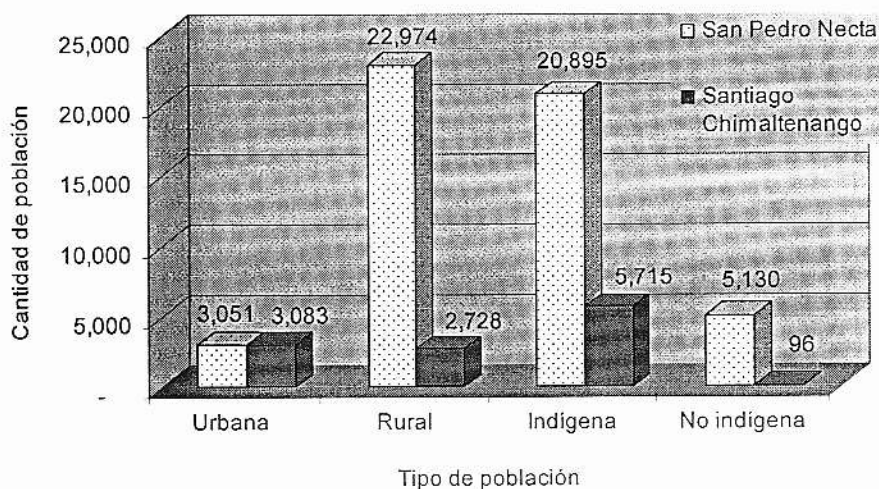


Figura 7. Distribución de la población por ruralidad y etnicidad en San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango

Para el caso de la microcuenca del río San Pedro, la Comunidad Niyá del municipio de Santiago Chimaltenango es 100 % indígena, en tanto que la cabecera municipal, las aldeas Los Alisos, Los Coles, La Pinada, Tepán y La Laguna del municipio de San Pedro Necta, son las que muestran una mayor proporción de población no indígena.

6.1.2 Comunidades y tamaño de población en la microcuenca del río San Pedro

Cuatro cantones conforman la cabecera municipal de San Pedro Necta, misma que está ubicada en las márgenes del río San Pedro. Hay 16 comunidades de carácter rural que están ubicadas también en la microcuenca del río San Pedro, una de ellas pertenece a la jurisdicción municipal de Santiago Chimaltenango en tanto que las demás pertenecen a la jurisdicción municipal de San Pedro Necta.

En el Cuadro 2 puede observarse que para 2003, la microcuenca estaba habitada por un total de 11,951 personas aglutinadas en 2,160 familias, equivalente a 5.53 miembros/ familia, que difiere del número

de miembros/familia promedio en el municipio de San Pedro Necta que es de 6.08. El número de miembros /familia promedio en el municipio de Santiago Chimaltenango es de 5.08.

Cuadro 2. Comunidades y población que habita la microcuenca del río San Pedro

No.	Lugar	Ubicación Municipal	Condición	Población		Número de Familias
				Total	%	
1	Cabecera municipal*	San Pedro Necta	Urbano	3705	31.0	783
2	La Pinada*	San Pedro Necta	Rural	719	6.0	147
3	Siete Cerros**+	San Pedro Necta	Rural	389	3.3	57
4	Vista Hermosa La Laguna**	San Pedro Necta	Rural	134	1.1	22
5	Tzalay**	San Pedro Necta	Rural	487	4.1	69
6	La Laguna**	San Pedro Necta	Rural	711	5.9	115
7	Los Alisos**	San Pedro Necta	Rural	954	8.0	133
8	Chinecual**	San Pedro Necta	Rural	460	3.8	86
9	Nimá++	San Pedro Necta	Rural	1121	9.4	172
10	Xöxal+	San Pedro Necta	Rural	43	0.4	7
11	Tapix**	San Pedro Necta	Rural	265	2.2	72
12	Guachipilín**	San Pedro Necta	Rural	812	6.8	126
13	Tepán**+	San Pedro Necta	Rural	184	1.5	32
14	Los Coles**	San Pedro Necta	Rural	906	7.6	164
15	Buena Vista Los Coles**	San Pedro Necta	Rural	325	2.7	57
16	Niyá**	San Pedro Necta	Rural	521	4.4	83
17	Niyá+++	Santiago Chimaltenango	Rural	215	1.8	35
20	Total			11,951	100.0	2,160

+ Estimado con base al promedio de miembros por familia en el municipio, a partir del dato de # de familias.

* Tomado de ABC PROREDES, 2004. Mural de su oficina.

++ Tomado del informe técnico de salud ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta.

** Tomado del MARN, 2001. Diagnóstico del municipio de San Pedro Necta.

**+ Modificado a un 50 % de la población total por situarse en la zona de parte aguas.

+++ Entrevista a Alcalde Auxiliar de la comunidad.

Puede notarse que en la microcuenca, el 31 % de la población se ubica en el área urbana en tanto que el 69 % se ubica en el área rural. Puede observarse también que solamente el 1.8 % de la población que habita la microcuenca pertenece a la jurisdicción municipal de Santiago Chimaltenango en tanto que el 98.2 % de la población se encuentra en la jurisdicción municipal de San Pedro Necta.

6.1.3 Densidad Poblacional

La microcuenca del río San Pedro tiene una superficie de 34.2 Km², lo que hace una densidad poblacional de 349.4 habitantes/Km², superior a la densidad poblacional del municipio que es de 231.6 habitantes/Km² y muy superior a la densidad poblacional del país que es de 115.7 habitantes/ Km².

6.2 Nivel educativo

Respecto al nivel educativo, el 77 % de la población de San Pedro Necta se encuentra en la edad de 7 años o más, en tanto que en el municipio de Santiago Chimaltenango esta población comprende el 81.1 % de la población total.

Cuadro 3. Nivel educativo de la población de 7 años y más de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango

Descripción	Porcentaje de población (%) de 7 años y más	
	San Pedro Necta	Santiago Chimaltenango
Población total (Pt)	20,049	4,714
Nivel educativo	% respecto a Pt	% respecto a Pt
Ninguno	33.8	44.5
Pre Primaria	2.4	3.4
Primaria 1-3 grado	30.6	26.2
Primaria 4-6 grado	25.7	21.3
Media 1-3 grado	4.3	2.8
Media 4-7 grado	2.8	1.8
Superior	0.5	0.04

Puede observarse que en el municipio de San Pedro Necta, el 33.8 % de esta población no tiene ningún nivel educativo en tanto que en Santiago Chimaltenango esta población corresponde al 44.5 %, bien sea porque es su primer año en la escuela, porque está en edad escolar y no asiste a la escuela o porque es población fuera de la edad escolar. Nótese como la población que está cursando o ha cursado los grados educativos Media 4-7 (el cual corresponde a una carrera de nivel medio) y Superior (el cual corresponde a la Universidad) no rebasa el 3.3 % para el caso de San Pedro Necta y el 1.84 % para el caso de Santiago Chimaltenango.

En el Cuadro 4 se muestran los porcentajes de población total, de hombres y de mujeres alfabetas, respecto a la población total de 7 años y más de edad. Esta población se ha desglosado en porcentaje de hombres y porcentaje de mujeres. De este Cuadro se deduce que el 35.7 % de la población de San Pedro

Necta y el 47.5 % de la población de Santiago Chimaltenango es población analfabeta, y porcentajes similares en ambos municipios corresponden a la población menor de 7 años.

Cuadro 4. Porcentajes de población total, de hombres y de mujeres alfabetas en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, respecto a la población total de 7 años y más de edad

Municipio	Población total de 7 años y +	Total %	Hombres %	Mujeres %
San Pedro Necta	20,049	64.3%	34.3%	30.0%
Santiago Chimaltenango	4,714	52.5%	29.8%	22.7%

6.3 PEA y principales ramas de actividad económica

Tomando de base la población de 7 años y más, en el municipio de San Pedro Necta, la PEA constituye el 33.6 % de la población en tanto que en el municipio de Santiago Chimaltenango esta población corresponde al 26.1 % (Cuadro 5).

Cuadro 5. Población de 7 años y más y población económicamente activa

Municipio	Población de 7 años y +	PEA (%)
San Pedro Necta	20049	33.6%
Santiago Chimaltenango	4714	26.1%

Analizando las ramas de actividad económica en que se emplea la PEA de 7 años y más, puede observarse en el Cuadro 6 que la agricultura, la caza, silvicultura y pesca es la rama de actividad que más PEA absorbe con porcentajes de 87.9 % de la PEA para el municipio de San Pedro Necta y de 92.7 % de la PEA para el municipio de Santiago Chimaltenango.

Otras ramas de actividad como el comercio por mayor y menor, restaurantes y hoteles; la electricidad, gas y agua; la construcción; Industria manufacturera, textil y alimenticia; y los servicios comunales sociales y personales, si bien están presentes, su actual desarrollo no tiene un peso importante en la absorción de la PEA de 7 años y más.

Cuadro 6. Población económicamente activa de 7 años y más de edad por rama de actividad económica (no incluye a los que buscaron trabajo por primera vez)

Rama de actividad	San Pedro Necta		Santiago Chimaltenango	
	Población	%	Población	%
Agricultura, caza, silvicultura y pesca	5829	87.9	1129	92.7
Servicios comunales, sociales y personales	147	2.2	0	0.0
Construcción	133	2.0	13	1.1
Enseñanza	119	1.8	0	0.0
Comercio por mayor y menor, restaurantes y hoteles	99	1.5	28	2.3
Industria manufacturera textil y alimenticia	91	1.4	9	0.7
Administración pública y Defensa	89	1.3	9	0.7
Establecimientos financieros, seguros y otros+	47	0.7	1	0.1
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	33	0.5	2	0.2
Rama de actividad no especificada	29	0.4	9	0.7
Electricidad, gas y agua	9	0.1	17	1.4
Explotación de minas y canteras	8	0.1	0	0.0
Organizaciones extraterritoriales	1	0.0	1	0.1
Total	6634	100.0	1218	100.0

+Establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios prestados a empresas.

Del análisis de la PEA, puede observarse en el Cuadro 7 que en el caso de San Pedro Necta, la ocupación de trabajadores no calificados es la que más PEA absorbe con el 67.3 %, seguido de la ocupación de agricultores y trabajadores calificados agropecuarios y pesqueros que absorbe el 23.6 % de la PEA. En conjunto, estas dos ocupaciones absorben al 90.9 % de la PEA de San Pedro Necta.

En el caso de Santiago Chimaltenango, la ocupación que más PEA absorbe es la de agricultores y trabajadores calificados agropecuarios y pesqueros, con un 54.3 % de la PEA, seguida de la ocupación de trabajadores no calificados que absorbe el 39.19 %. Ambas ocupaciones absorben hasta 93.5 % de la PEA de Santiago Chimaltenango.

6.4 Características de las viviendas

Tanto para San Pedro Necta como para Santiago Chimaltenango puede verse en la Figura 8 que el material predominante en las paredes exteriores de las viviendas es el adobe, aunque existe determinado número de viviendas donde el block es utilizado como material de la pared exterior.

Cuadro 7. Población económicamente activa de 7 años y más por ocupación, según departamento y municipio (no incluye a los que buscaron trabajo por primera vez)

Tipo de ocupación	San Pedro Necta		Santiago Chimaltenango	
	Población	%	Población	%
Trabajadores no calificados	4464	67.3	477	39.19
Agricultores y trabajadores calificados agropecuarios y pesqueros	1564	23.6	661	54.3
Oficiales, operarios y artesanos de artes mecánicas y de otros oficios	217	3.3	55	4.5
Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios y mercados	132	2.0	7	0.6
Técnicos profesionales de nivel medio	116	1.7	6	0.49
Empleados de oficina	49	0.7	0	0.0
Operarios de instalaciones y máquinas y montadores	44	0.7	10	0.8
Profesionales, científicos e intelectuales	22	0.3	0	0.0
Miemb del ejec y de los cuerpos Leg y pers dir de la adm púb y de emp+	21	0.3	1	0.1
Fuerzas armadas	5	0.1	0	0.00
Total	6634	100.0	1217	100.0

+ Miembros del poder ejecutivo y de los cuerpos Legislativo y personal directivo de la administración pública y de empresas

Tanto para San Pedro Necta como para Santiago Chimaltenango, los dos materiales más utilizados para techo, como se aprecia en la Figura 9, son la lámina metálica y la teja.

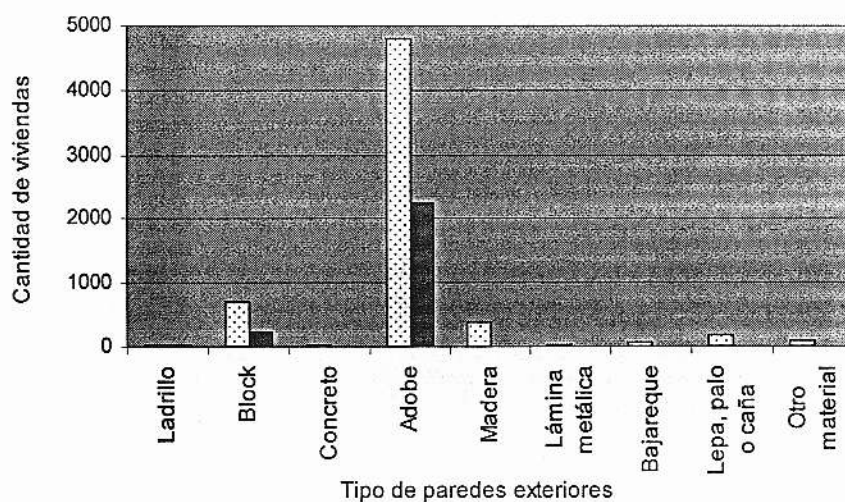


Figura 8. Tipo de material predominante en las paredes exteriores de las viviendas de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango

En el caso de San Pedro Necta, es más clara la predominancia del techo de lámina metálica, en una proporción aproximada de 4 a 1 respecto a la teja. En el caso de Santiago Chimaltenango, la lámina metálica sobresale en una proporción 2 a 1 respecto a la teja.

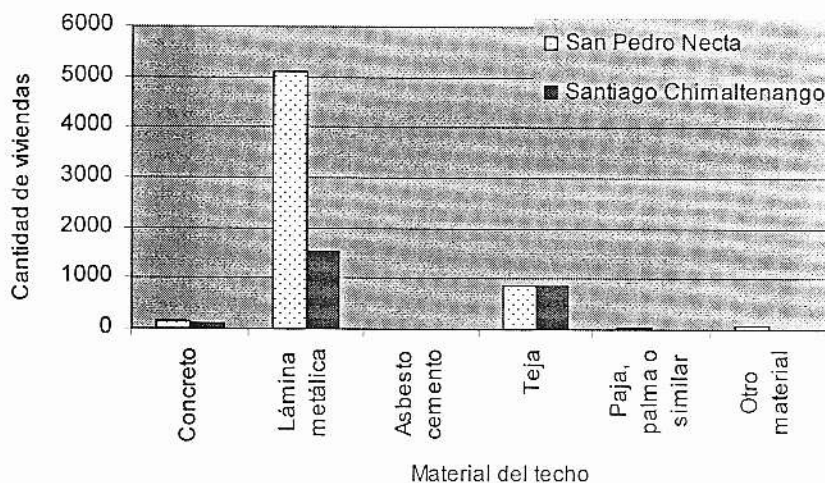


Figura 9. Tipo del material predominante en el techo de las viviendas de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chiamaltenango

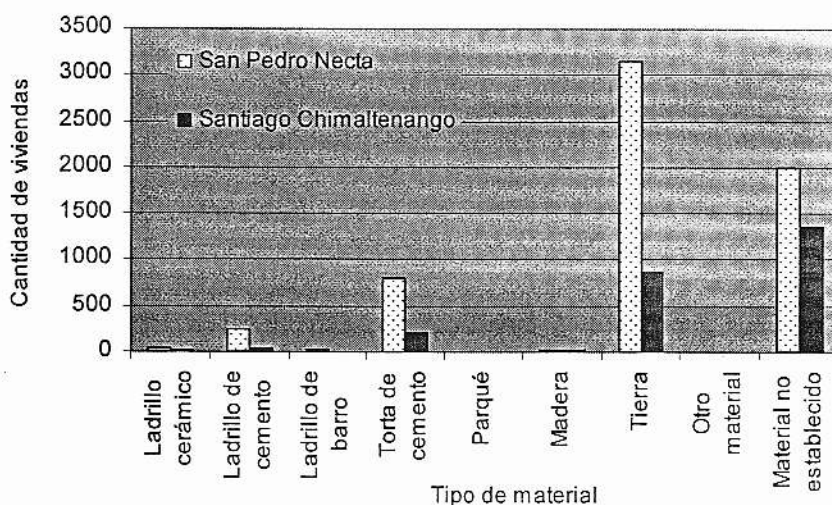


Figura 10. Tipo del material del piso en las viviendas de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango

Con relación al material de piso, en la Figura 10 puede verse que la tierra es el material más utilizado en San Pedro Necta. Puede observarse también que en un buen número de viviendas el censo del INE (2003) no logró establecer el tipo de material usado de piso, el cual fue predominante en el caso de Santiago Chimaltenango. Otros materiales importantes utilizados de piso son la torta de cemento y el ladrillo de cemento, aunque en mucha menor proporción.

6.5 Acceso al agua potable

En la Figura 11 se aprecia que en el municipio de San Pedro Necta aproximadamente un 80 % de hogares acceden al agua utilizando chorro de uso exclusivo, en tanto que este porcentaje asciende más de 95 % en el municipio de Santiago Chimaltenango.

De acuerdo a la Figura 11, en el municipio de San Pedro pareciera ser que un número importante de hogares (alrededor de 500) acceden al agua mediante el uso de pozos artesanales. Y que un porcentaje mucho menor accede al agua extrayéndola de ríos o manantiales.

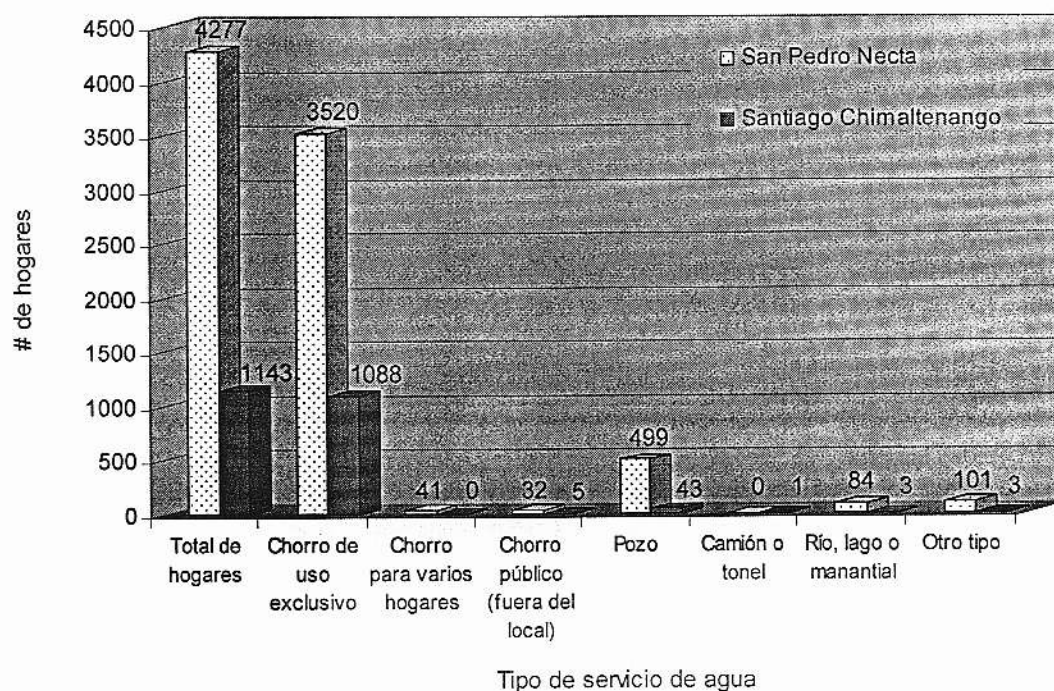


Figura 11. Tipo de servicio de agua en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango

En una encuesta realizada en este estudio, se encontró que los hogares que habitan la microcuenca en ningún caso acceden al agua mediante pozos, sino más bien un aproximado de 5 % de población accede al agua extrayéndolo directamente de los manantiales, que en algunos casos, en su lenguaje cotidiano, denominan pozos.

El 95 % de los hogares accede al agua a través de chorros de uso exclusivo o de uso comunitario (compartido con otras familias).

6.6 Acceso a servicios sanitarios

En el municipio de San Pedro Necta, 3,560 hogares (83.2 %) disponen de servicios sanitarios y 717 hogares no dispone de estos servicios (16.8 %). En el caso de Santiago Chimaltenango, 904 hogares (79.1 %) disponen de servicios sanitarios en tanto que 239 hogares (19.9 %) no disponen de estos servicios. (ver Figura 12)

Esto es un dato importante en el análisis de las fuentes de contaminación debido a que al no disponer de servicios sanitarios, normalmente las personas depositan sus excretas al aire libre y sobre la superficie del suelo, facilitando la contaminación de las fuentes de agua principalmente a través de la escorrentía superficial.

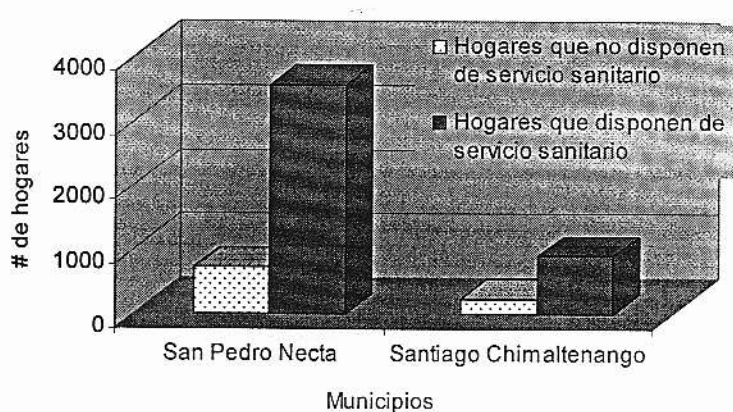


Figura 12. Hogares y disponibilidad de servicios sanitarios en los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango

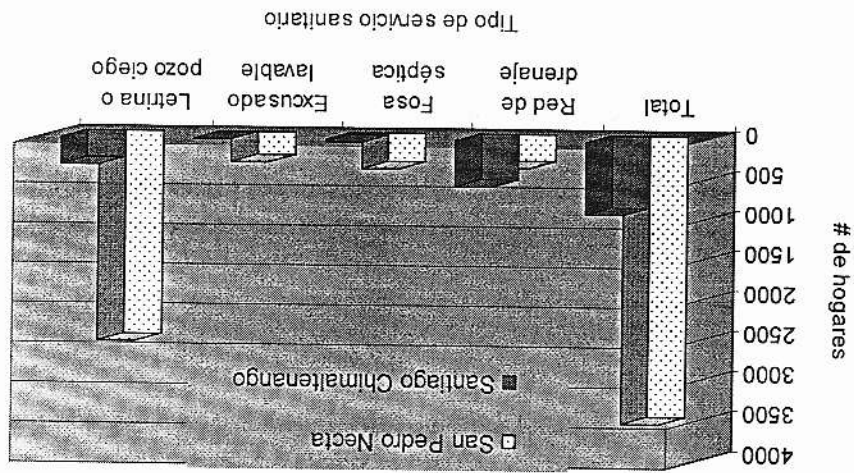
Con relación a los hogares que disponen de servicios sanitarios en ambos municipios, la Figura 13 muestra los tipos de servicio sanitario de que disponen.

En el caso de San Pedro Necta, puede verse que la mayor parte de los hogares utilizan letrina o pozo ciego. En tanto que en el municipio de Santiago Chimaltenango, un poco más de la mitad de los hogares utilizan la red de drenaje, lo cual se debe a que más del 50 % de la población está concentrada en el área urbana.

Otros tipos de servicio sanitario utilizados en San Pedro Necta son la fosa séptica y el excusado lavable. Y tanto la red de drenaje como el excusado lavable son exclusivos de las áreas urbanas.

Del estudio realizado a la microcuenca del río San Pedro, y conociendo las particularidades de los servicios sanitarios de la cabecera municipal de San Pedro Necta, desde el punto de vista de un manejo adecuado de las excretas y de las aguas residuales, la red de drenaje y los excusados lavables no cumplen esta condición. Dada las condiciones en que están contruidos estos servicios sanitarios y el sistema de disposición final de las excretas y de las aguas residuales, en realidad estos dos tipos de servicios sanitarios constituyen una gran fuente de contaminación principalmente bacteriológica pues todos los vertidos son canalizados directamente al río aguas abajo.

Figura 13. Tipo de servicio sanitario que disponen los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango



6.7 Manejo de la basura

En la Figura 14 se muestra la forma en que los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango eliminan la basura.

En el caso de San Pedro Necta, alrededor de 3,000 hogares (71.8 %) dicen que la dejan en cualquier lugar, en tanto que aproximadamente 700 hogares la entierran (17.3%) Un poco más de 100 hogares (4.9 %) la queman. En tanto que en Santiago Chimaltenango, un poco más de 700 hogares (64 %) la dejan en cualquier lugar, alrededor de 300 hogares la entierran (27.6 %) y aproximadamente 200 hogares (4.9 %) la queman.

En la microcuenca del río San Pedro, se ubican los rellenos sanitarios (basureros) de las municipalidades de San Pedro Necta y de Santiago Chimaltenango. Se verá que, pese a que en la estadística del INE (2003) la proporción de hogares que usan el servicio municipal parece insignificante, la cantidad de desechos sólidos generados, tanto orgánicos como inorgánicos, es considerable.

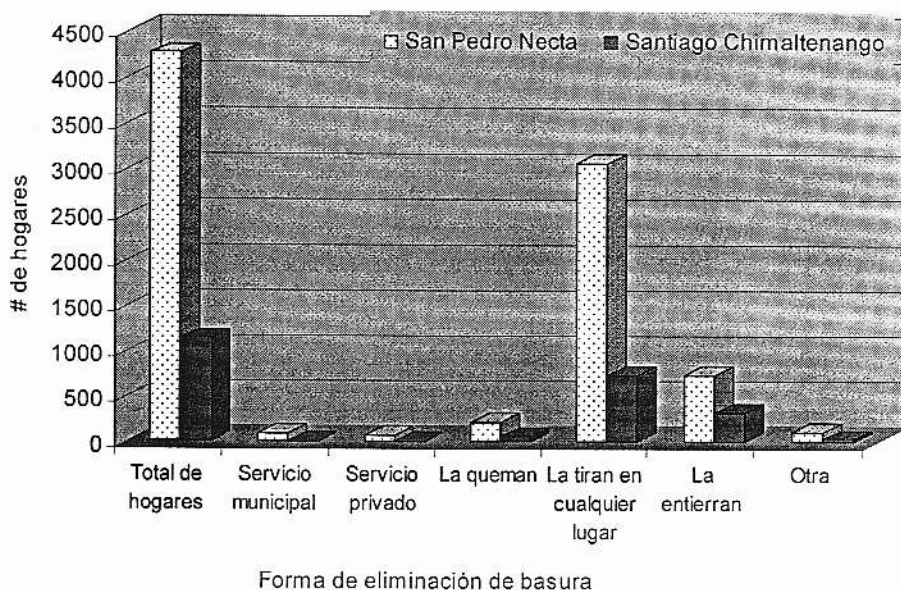


Figura 14. Forma de eliminar la basura en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango

6.8 Hogares y recursos para cocinar

La importancia de tener presente este aspecto, viene dado porque es común en las áreas rurales el uso de la leña como fuente energética para cocinar. Y el hecho es de que utilizar leña para cocinar conlleva en muchos casos un proceso de deforestación que resulta un factor de riesgo en la calidad del agua debido a que la deforestación deja desnudo el suelo facilitando procesos erosivos que sedimentan las aguas.

En la Figura 15 puede observarse que el principal recurso utilizado para cocinar, tanto en el municipio de San Pedro Necta como de Santiago Chimaltenango, es la leña, siendo utilizado en el 95 % de los hogares que cocinan.

Se observa también que un porcentaje mucho menor utiliza el gas propano correspondiendo a un 3.8 % de los hogares para el municipio de San Pedro Necta y un 2.3 % de los hogares en el municipio de Santiago Chimaltenango.

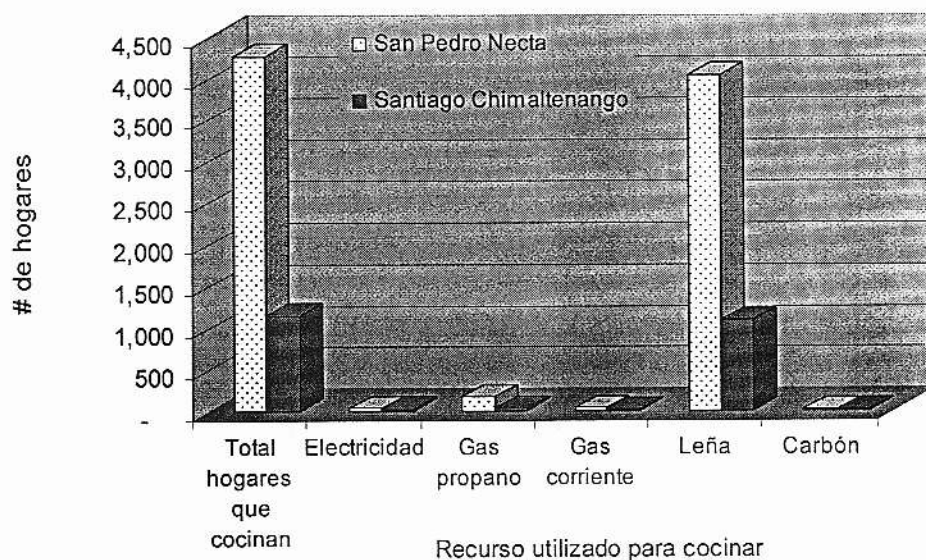


Figura 15. Recursos utilizados para cocinar en los hogares de los municipios de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, Huehuetenango