8.2.2 El potencial de Hidrógeno (pH)

Está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido. No es una medida lineal o directa de éstas, pero puede usarse como controlador de acidez o alcalinidad excesiva. Describe la concentración de ion H^+, representado por el logaritmo de su inverso. Valores extremos de pH pueden causar la muerte rápida de los peces, alteraciones drásticas en la flora y la fauna, y reacciones peligrosas, secundarias (cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH debe mantenerse dentro de un rango "normal" para la vida biológica entre 6.5-8.0 (CEDUCA, 1995).

En la Figura 30, se observa que la mayoría de muestras se mantuvieron entre un pH de 7.0 a 8.0, neutros a ligeramente alcalino, y solo la muestra de la descarga de aguas mieles de un beneficio de café, código 14, la que presentó un pH ligeramente ácido de 6.5.

Se observa también que en el punto de aforo (código 1), el pH en marzo, abril y diciembre presentó el mismo valor de alcalinidad, no así en julio en que tendió a ser neutro, posiblemente algún vertido específico de aguas acidificadas ingreso al río entre el trayecto de la cabecera municipal y el punto de aforo, mismo que no fue detectado. Puede verse que en diciembre, el pH en el punto de aforo recuperó su alcalinidad.

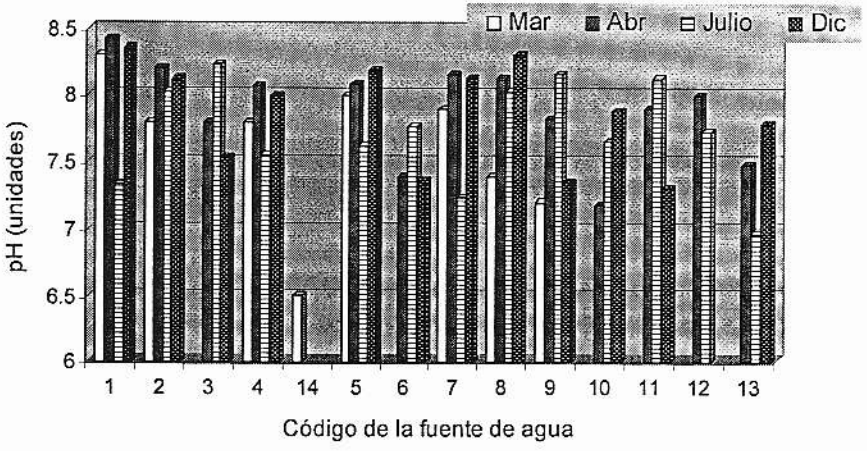


Figura 30. Niveles de pH en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua.

8.2.3 Conductividad eléctrica (CE)

Es una medida de la capacidad de una solución para transmitir corriente eléctrica. Los iones en solución son los responsables de esta propiedad, y la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de iones responsables de esta propiedad. (Ciaccio, 1973). Los iones, a su vez, son producto del desdoble de las sales al entrar en solución con el agua. La importancia de su estudio radica en que grandes concentraciones de sales en el agua son perjudiciales para la producción y la vida de las plantas (Illescas Sandoval, 1989).

En la Figura 31 se representa los niveles de Conductividad en las aguas de la microcuenca del río San Pedro. Puede verse que los ríos (códigos 1, 2, 5, 7 y 8) mostraron en promedio un valor relativamente mayor de conductividad en los meses de marzo y abril, que los arroyos y manantiales. En tanto que en el mes de julio todas las fuentes de agua muestreadas mostraron valores parecidos o no es posible distinguir diferencias entre ríos, arroyos y manantiales. En el mes de diciembre, la conductividad mostró una tendencia similar a los meses de marzo y abril, es decir, los ríos mostraron un valor relativamente más alto que los arroyos y manantiales.

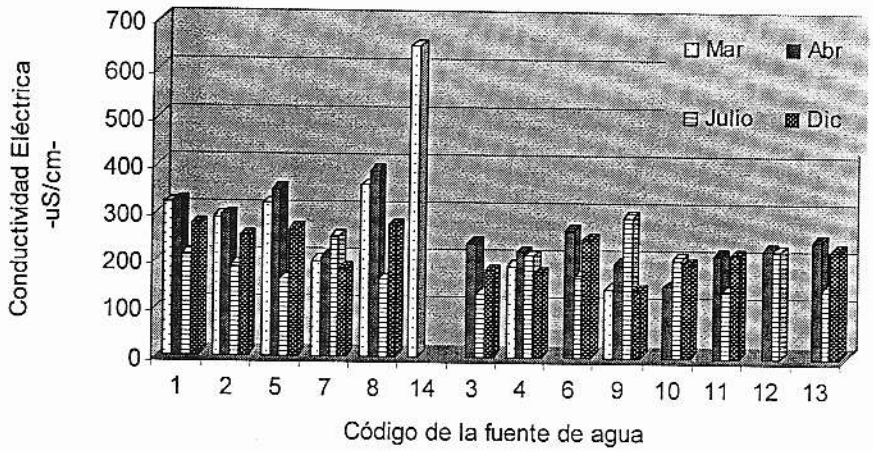


Figura 31. Niveles de Conductividad Eléctrica en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

En este caso, la tendencia en los meses de lluvia a que los ríos mostraron valores relativamente más altos de conductividad, se explica porque los ríos son los receptores de una diversidad de sustancias que son ingresadas a los mismos por las diferentes poblaciones humanas (aldeas o cabecera municipal). En el mes de

julio, esta situación cambia fundamentalmente porque las lluvias aumentan el caudal lo cual es significativamente más alto en los ríos y de ahí que el efecto de dilución tiende a reducir los valores de conductividad.

La descarga de aguas mieles de café (código 14) muestra el valor más alto de conductividad eléctrica, lo cual se debe a la gran cantidad de iones en solución que provoca el proceso de despulpado y lavado del café.

8.2.4 La turbidez

Es un indicador de la cantidad de partículas coloidales que permanecen algún tiempo en suspensión (Machorro, 2002). Está directamente relacionada con las descargas de aguas residuales y con el fenómeno de la erosión hídrica, de manera que se esperaría un mayor nivel de turbidez en los meses lluviosos que en los meses de época seca.

En la Figura 32, se observa que las aguas en general presentan un mayor nivel de turbidez en julio que en abril. Sin embargo, los datos reportados por el laboratorio tienden a ser dudosos, pues se esperaba mayor turbidez en el punto de aforo (código 1) en el mes de julio, pues visualmente la muestra de este sitio era más turbia en este mes que en las muestras obtenidas de todos los demás sitios. Sin embargo puede verse que incluso hay mayor turbidez en el río antes de su ingreso al pueblo (código 2).

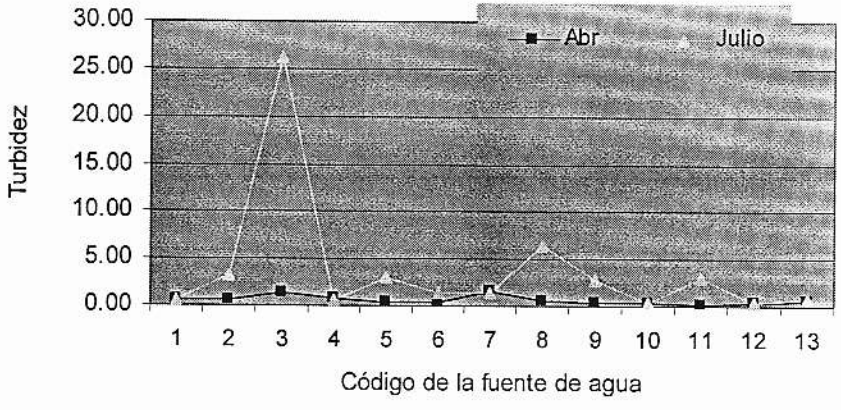


Figura 32. Niveles de turbidez en 13 fuentes de agua muestreadas en abril de 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Una situación similar se observa para las muestras de uno de los arroyos (código 4) y del río Niyá (código 7). Esta situación es más comprensible para los manantiales (códigos 9 al 13) en donde muchos de ellos no tienen una exposición directa a la escorrentía y por tanto no hay un aumento significativo de las partículas coloidales arrastradas por erosión.

8.2.5 Sólidos disueltos totales

Son los sólidos que pasan a través de un filtro con un tamaño de poro de 2.0 micrómetros o menos, bajo condiciones especificadas. Proporcionan información sobre la cantidad de sales y otros compuestos solubles (APHA, 1992).

Un estudio de Oliva Hernández, (2001) realizado en el río las Vacas, mostró que los valores más altos de sólidos disueltos se presentan en la época seca, lo cual disminuyen con las lluvias tendiendo a aumentar en la medida en que las lluvias van disminuyendo.

Para el caso de la microcuenca del río San Pedro, la Figura 33 muestra los niveles encontrados en marzo y octubre.

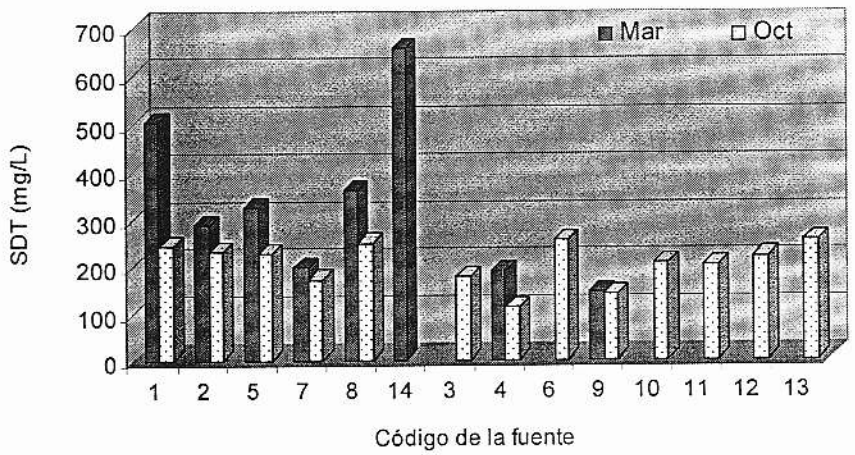


Figura 33. Niveles de Sólidos Disueltos Totales en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Puede verse que en marzo, los ríos (códigos 1, 2, 5, 7 y 8) mostraron mayor nivel de SDT (502 mg/L a 198 mg/L). En tanto que un arroyo (código 4) y un manantial (código 9) mostraron los menores valores

(190 mg/L y 143 mg/L). En el mes de octubre, con excepción de un manantial (código 9), todos los sitios de fuentes de agua muestreados presentaron un menor valor de SDT en comparación con los niveles de marzo, y con excepción de los arroyos (códigos 3 y 4) y uno de los manantiales (código 9), todas las fuentes de agua mostraron niveles de SDT bastante similares en un rango de 171 mg/L a 255 mg/L.

Puede verse que el punto de aforo (código 1) mostró en marzo el mayor nivel de SDT (502 mg/L), solo superado por la muestra de la descarga de aguas mieles de café (código 14) que muestra la gran cantidad de SDT producto de esta actividad agroindustrial (658 mg/L).

De acuerdo con Oliva Hernández (2001), los valores disminuyen en la época lluviosa porque hay un aumento de la escorrentía superficial, lo cual diluye la concentración de los SDT en las aguas.

8.2.6 Sólidos en suspensión

Son importantes por razones estéticas y debido a que conducen al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas (Corbitt, 1990). Además, interfieren con los procesos industriales, y provocan espumas en calderas, así como incrustaciones. Sus depósitos afectan la vida acuática, sobre todo de organismos bénticos y si son orgánicos, pueden sustraer oxígeno de la zona (en ocasiones con gran déficit, sobre todo por estratificación). Además de efectos tóxicos por su composición (solución de agua) pueden matar peces y moluscos por abrasión, obstrucción de agallas (hidróxido de aluminio, hierro) y de los pasos respiratorios (CIG, 1995).

De acuerdo con Basterrechea, M., citado por Pérez Sabino (2003), la principal fuente potencial de deterioro de la calidad del agua son los sólidos en suspensión, provenientes de la erosión de los suelos.

En el caso de la microcuenca, Figura 34, con excepción del río Nimá (código 5), los arroyos (códigos 3 y 4) y el manantial Niyá SPN (código 10), todas las muestras mostraron un aumento en los sólidos en suspensión al pasar de la época seca (abril) a la época lluviosa (julio). Es posible que los arroyos muestreados y el río Nimá no tengan mayores aportes de los procesos erosivos y de ahí que en la época lluviosa el aumento de los caudales tienda a diluir los niveles de sólidos en suspensión. Eso significa que en el mes de abril (época seca), los niveles de sólidos en suspensión están determinados por los aportes de materia orgánica y otros materiales proveniente de aguas residuales.

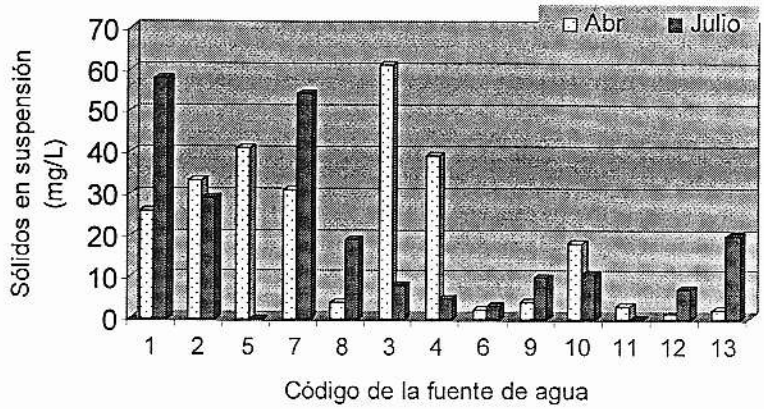


Figura 34. Niveles de sólidos en suspensión en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

8.2.7 Sólidos sedimentables(SS)

Se clasifican como orgánicos o inorgánicos, pueden ser arenas, grasa, aceite, alquitrán y trozos de restos de animales y vegetales. Estos materiales sedimentan tarde o temprano. Pueden ser biodegrables lenta o rápidamente. Determinan la turbidez, reducen la penetración de la luz y afectan a la actividad fotosintética de las plantas (CIG, 1995). En los ríos proporciona información sobre la carga de sedimentos que transportan (Pérez Sabino, 2003).

Para la microcuenca del río San Pedro, los mayores valores se encontraron en los ríos (códigos 1, 2 y 5) en el mes de marzo (1.58 mg/L, 3.16 mg/L y 1.05 mg/L), correspondiendo el valor más alto al río San Pedro antes de su ingreso a la cabecera municipal de San Pedro Necta (ver Figura 35).

Para abril y julio los datos obtenidos son bastante similares. Solamente en el punto de aforo (código 1) el nivel de sólidos sedimentables fue superior (0.63 mg/L) al resto de sitios muestreados que reportaron un valor de 0.52 mg/L.

En el mes de octubre, solamente uno de los arroyos (código 4) mostró un nivel bastante significativo de sólidos sedimentables (1.05 mg/L) sobre todos los demás cuyos niveles variaron de 0.11 mg/L a 0.53 mg/L.

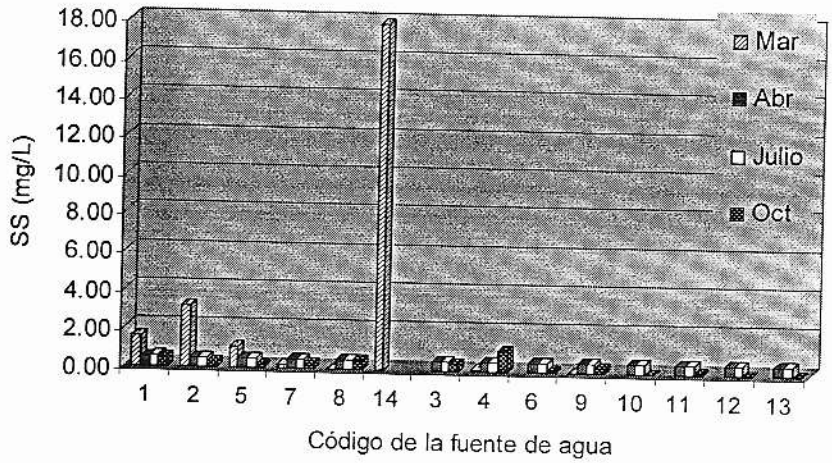


Figura 35. Niveles de sólidos sedimentables en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

En general, la tendencia fue que los sólidos sedimentables descendieron de marzo a octubre. Esto no concuerda con lo encontrado por Pérez Sabino (2003) en el río Polochic y sus efluentes, donde los niveles de sólidos sedimentables aumentaron de la época seca a la época lluviosa. Sin embargo, fue concordante con lo encontrado para el lago de Izabal, donde los niveles de sólidos sedimentables descendieron de la época seca a la época lluviosa. Pérez Sabino (2003) lo explica en términos de que el aumento de caudales por la lluvia disminuye la concentración de sólidos sedimentables por efecto de dilución.

8.2.8 Sólidos Totales

Son los residuos luego de la evaporación de una muestra de agua y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales que son los sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales que es la porción que pasa por dicho filtro (APHA, 1992).

En la Figura 36 puede observarse que en la microcuenca no existe una tendencia diferenciada entre ríos, arroyos y manantiales, pues solamente tres manantiales (códigos 9, 10 y 11) mostraron en la época seca valores por debajo de 100 mg/L, siendo el manantial Niyá SPN (código 10) en donde se encontró el valor más bajo en el mes de abril con 29 mg/L. Los promedios para los meses de abril y julio, para todos los sitios

de fuentes de agua muestreadas, fueron respectivamente 140 mg/L y 155 mg/L, siendo relativamente mayor en julio.

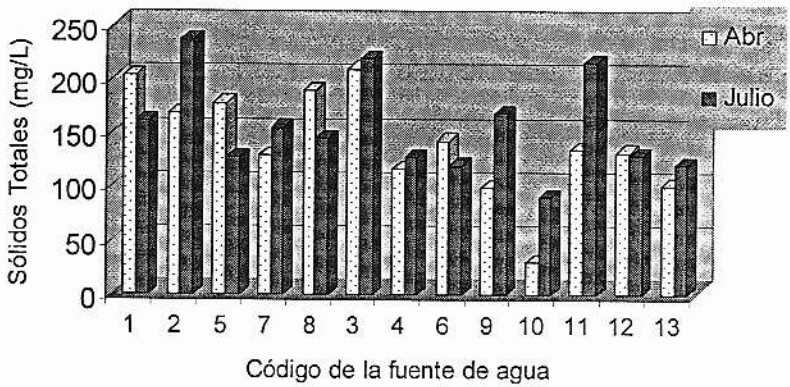


Figura 36. Niveles de Sólidos Totales en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Esto es significativamente menor a los valores de sólidos totales encontrados por Oliva Hernández (2001), en un estudio realizado en el río Las Vacas, donde los promedios variaron de 471 mg/L a 1178 mg/L a lo largo del año, y variaron de 493 mg/L a 1,288 mg/L en los sitios de muestreo. Encontrándose los valores menores en el río Motagua y en el mes de febrero, de manera que Oliva Hernánez (2001) atribuyó esto a la dilución de los sólidos totales en un mayor caudal (río Motagua) y al nulo efecto de lluvias en la época seca. Es decir, el aumento en sólidos totales en el agua está relacionado con la aparición de las lluvias.

En el Cuadro 25, se muestran los resultados obtenidos para cationes mayores, carbonatos y bicarbonatos, la alcalinidad y dureza, y los elementos menores. Se analizan a continuación estas características químicas del agua.

8.2.9 Cationes mayores: Calcio (Ca^{2+}), Magnesio Mg^{2+}), Sodio (Na^{+}) y Potasio (K^{+})

En la Figura 37 se observan los niveles promedio de los cationes mayores para las distintos sitios de fuentes de agua muestreadas en los meses correspondientes de marzo, abril y julio. La descarga de aguas mieles de café (código 14), solo fue muestreado en el mes de marzo.

Cuadro 25. Cationes, Carbonatos, Bicarbonatos y elementos menores en 13 sitios de fuentes de agua, muestreados en 2004, en la microcuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Altitud	Mes de	Cationes (mg/L)				mg/L				Elementos menores (mg/L)				
		msnm	muestreo	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	CO_3^{-2}	HCO_3^{-}	Alcalinidad	Dureza	Cu	Fe	Mn	Zn	B
1	Río San Pedro (antes de ingresar al río Selelgua, punto de aforo)	1239	Marzo	56.40	7.60	1.02	4.10	30.00	122.00	175	188	0.01	0.09	0.01	0.01	0.27
			Abril	47.52	9.72	1.56	3.91	91.17	31.71	160.2	132.3	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	49.92	9.72	1.09	2.48	24.89	167.70	106.8	119.46	0.00	0.10	0.30	0.00	
2	Río San Pedro (antes de ingresar a cabecera municipal SPN)	1560	Marzo	49.20	7.40	1.67	2.19	0.00	189.10	155	178.4	0.01	0.08	0.01	0.01	0.06
			Abril	37.49	9.24	1.17	2.76	29.99	21.34	124.6	86.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	47.52	10.45	0.47	1.59	20.09	167.70	89	88.86	0.00	0.20	0.20	0.00	
3	Arroyo a la Pinada	1565	Abril	25.06	7.54	5.47	5.97	101.67	31.71	142.4	65.16	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	29.87	7.90	1.68	4.78	9.90	111.59	89	126.37	0.00	0.30	0.30	0.00	
4	Arroyo Biblioteca Los Coles	1570	Marzo	31.80	3.70	0.12	2.71	42.00	6.10	110	118.4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
			Abril	27.47	4.98	0.08	2.76	80.67	0.00	106.8	73.06	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	34.89	4.50	0.27	1.98	15.00	96.35	89	103.67	0.00	0.10	0.20	0.00	
5	Río Nimá	1575	Marzo	60.50	8.10	0.79	2.83	36.00	103.70	175	200	0.01	0.03	0.01	0.01	0.04
			Abril	42.51	9.24	1.96	4.14	75.57	21.34	124.6	118.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	49.92	4.74	0.20	0.48	15.00	132.33	71.2	77.01	0.00	0.10	0.20	0.00	
6	Manantial Marcos Bravo	1600	Abril	32.48	7.78	0.39	2.76	59.68	21.34	124.6	140.2	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	47.52	8.39	0.39	2.60	0.00	167.70	71.2	79.97	0.00	0.00	0.20	0.00	
7	Río Niyá	1692	Marzo	33.10	4.60	0.05	0.92	30.00	54.90	120	127.2	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03
			Abril	27.47	7.05	0.39	1.38	106.76	21.34	106.8	108.6	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	42.51	7.66	0.66	0.99	20.09	111.59	124.6	122.43	0.00	0.20	0.20	0.00	
8	Río Chinacual	1692	Marzo	56.90	14.30	0.41	3.10	48.00	85.40	190	216.8	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03
			Abril	44.91	17.75	0.39	3.68	47.08	42.08	178	197.46	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	52.33	12.16	0.47	1.19	20.09	178.06	89	77.01	0.00	0.10	0.20	0.00	
9	Manantial Xémal El Aguacate	1945	Marzo	24.20	2.38	0.18	1.47	0.00	115.90	95	99.2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.02
			Abril	20.05	3.28	0.39	1.61	52.18	15.85	89	116.5	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	42.51	5.23	0.27	0.48	9.90	121.96	124.6	146.12	0.00	0.00	0.10	0.00	
10	Manantial Niyá, SPN	1970	Abril	25.06	4.74	0.08	0.69	52.18	0.00	71.2	80.96	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	34.89	3.89	0.39	1.29	9.90	96.35	89	101.69	0.00	0.20	0.10	0.00	
11	Manantial Chinacual	1991	Abril	30.08	4.50	0.20	0.69	67.78	0.00	124.6	120.45	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	47.52	4.13	0.47	0.48	9.90	131.72	124.6	116.5	0.00	0.10	0.20	0.00	
12	Manantial Nimá La Esperanza	2075	Abril	30.08	4.50	0.20	0.69	67.78	31.71	195.8	126.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	47.52	8.39	0.59	1.08	15.00	147.57	106.8	107.62	0.00	0.10	0.30	0.00	
13	Manantial Baléncruz	2300	Abril	50.13	3.65	0.39	0.46	0.00	0.00	124.6	137.75	0.00	0.00	0.00	0.00	
			Jul	57.34	4.50	1.09	2.48	15.00	157.33	71.2	68.12	0.00	0.20	0.30	0.00	
14	Aguas mieles Beneficio Café	1572	Marzo	38.10	8.10	119.60	2.47	0.00	0.00	0	176	0.02	0.17	0.46	0.06	0.00

La Figura 37 muestra que los mayores niveles en las 13 fuentes de agua muestreadas corresponden al Ca^{2+}, que varían de 27.5 mg/L para uno de los arroyos (código 3) situado en la parte media de la microcuenca, hasta 53.7 mg/L para el manantial Balencruz (código 13) situado en la parte más alta de la microcuenca.

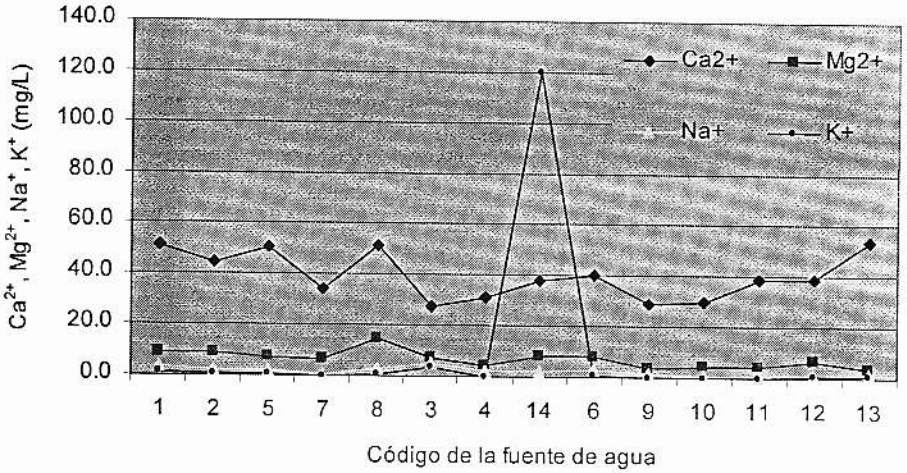


Figura 37. Niveles promedio de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}, en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

En la misma Figura 37 se observa que el Mg^{2+}, es el segundo catión más abundante en las aguas, aunque sus valores están muy debajo de los niveles de calcio, variando de 2.6 mg/L para el manantial Xémal El Aguacate, situado en la parte media alta de la microcuenca, hasta 14.7 mg/L en el río Chinacual (código 8) situado en la parte media de la microcuenca.

Con respecto a los cationes Na^{+} y K^{+}, los niveles para los ríos, arroyos y manantiales varían de 0.6 mg/L a 5.4 mg/L para el Na^{+} y de 0.2 a 3.6 mg/L para el K^{+}.

Con respecto a la descarga de aguas mieles del café, solo para el K^{+} el valor encontrado (119.6 mg/L) fue muy altamente superior respecto a las fuentes de agua. Esto se debe a que uno de los nutrientes más demandados por el café en la formación y llenado del fruto es precisamente el K^{+}. En cuanto al Ca^{2+}, Mg^{2+} y Na^{+}, la descarga de aguas mieles mostró niveles parecidos al los de las fuentes de agua (38.1 mg/L, 8.1 mg/L y 2.5 mg/L, respectivamente).

La abundancia del Ca^{2+} en la microcuenca, se explica por la presencia de roca caliza en el material geológico, pues de acuerdo con Custodio y Llamas (2001) el Calcio presente en las aguas procede de: a) disolución de calizas, dolomías, yeso y anhidrita; b) Ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos; c) disolución de cemento calcáreo de muchas rocas; d) concentración del agua de lluvia.

Por su parte, el Mg^{2+} presente en aguas procede de: a) disolución de Dolomías y calizas dolomíticas; b) ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos; c) localmente del lavado de rocas evaporizas magnésicas (carnalita, kaiserita, etc.); d) mezcla con agua de mar; e) contaminación industrial y minera. Aunque se disuelve más lentamente es más soluble que el calcio y tiende a permanecer en solución cuando éste se precipita. (Custodio y Llamas, 2,001)

8.2.10 La dureza

Una medida de las concentraciones de calcio y magnesio en solución es la *dureza* (Padilla Cámbara, T., 2004). Normalmente se reporta como la cantidad de calcio más la cantidad de magnesio, expresados ambos como mg/L de $CaCO_3$. Un agua "dura", es decir, que tiene altas cantidades de calcio y magnesio, provoca: a) incrustaciones de carbonato de calcio y magnesio en ollas al hervir el agua, y b) se reduce la efectividad de agentes dispersantes (jabones y detergentes) y de los agroquímicos, y c) desbalance entre Ca y Mg y antagonismos con absorción de K y NH_4 en las plantas (de Romero, N., 2001).

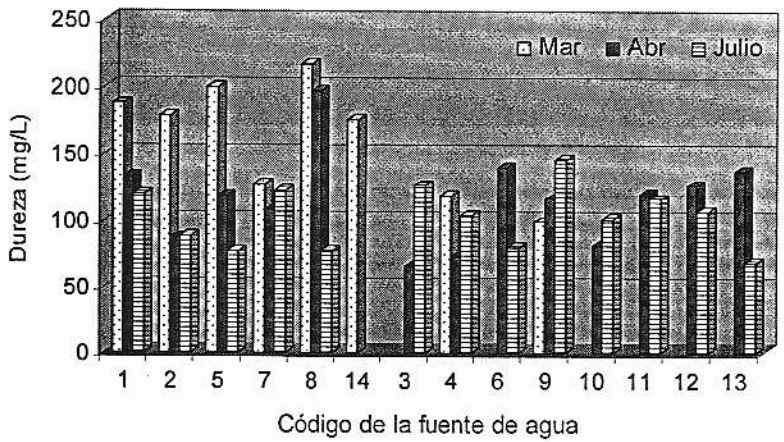


Figura 38. Niveles de Dureza en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro Necta, cuenca del Selegua

En la microcuenca del río San Pedro, Figura 38, los mayores valores de dureza se encontraron en marzo, variando de 99.2 a 216.8 mg/L, seguido de los valores de abril, que variaron de 81.0 a 197 mg/L. Los menores valores se obtuvieron en el mes de julio, variando de 68.1 a 146.1 mg/L. Puede decirse que la dilución provocada por la época de lluvias definió la reducción de los valores en el mes de julio.

8.2.11 Carbonatos (CO_3^-) y Bicarbonatos (HCO_3^-)

Los carbonatos se derivan de las rocas carbonatadas ($CaCO_3$) que se encuentran en las rocas calizas o rocas calcáreas. Existen dos modificaciones del carbonato de calcio, la menos estable y más soluble, llamado aragonito, y la más estable llamada calcita, a 1 atm de presión. La capacidad de disolverse del $CaCO_3$ se representa por la siguiente ecuación química:

$CaCO_3 \Leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$, de manera que en el agua, el $CaCO_3$ se transforma así:

$2CaCO_3 + H_20 \Rightarrow HCO_3^- + CO_3^{2-} + 2Ca^{2+} + (OH)^-$

Por su parte, los bicarbonatos normalmente viene derivado del intercambio del dióxido de carbono (CO_2) atmosférico o derivado de los procesos de óxido-reducción en el agua, y reacciona con las moléculas de agua. Estas reacciones químicas vienen explicadas por las siguientes ecuaciones.

$[CO_{2(gas)}] + [H_2O] \Leftrightarrow [H_2CO_3]$, el ácido carbónico a su vez se disocia de la siguiente manera:

$[H_2C0_3] \Leftrightarrow HCO_3^- + H^+$, el ión bicarbonato se sigue disociando así:

$HCO_3^- \Leftrightarrow CO_3^{2-} + H^+$, en donde se estable un equilibrio de disociación-asociación de los iones carbonatos y bicarbonatos.

La Figura 39, muestra los niveles de carbonatos y bicarbonatos encontrados en las aguas de la microcuenca. Puede verse que en abril los iones carbonatos mostraron niveles más altos que los iones bicarbonatos, en tanto que en julio los iones bicarbonatos mostraron niveles más altos que los iones carbonatos. Asimismo, los niveles de iones bicarbonatos en julio, fueron superiores a los niveles de carbonatos en abril. Esto estaría explicado por un mayor dinamismo de los procesos químicos en la época de lluvias, por un mayor movimiento de las aguas y por un mayor intercambio de dióxido de carbono contenido en el agua de la lluvia.

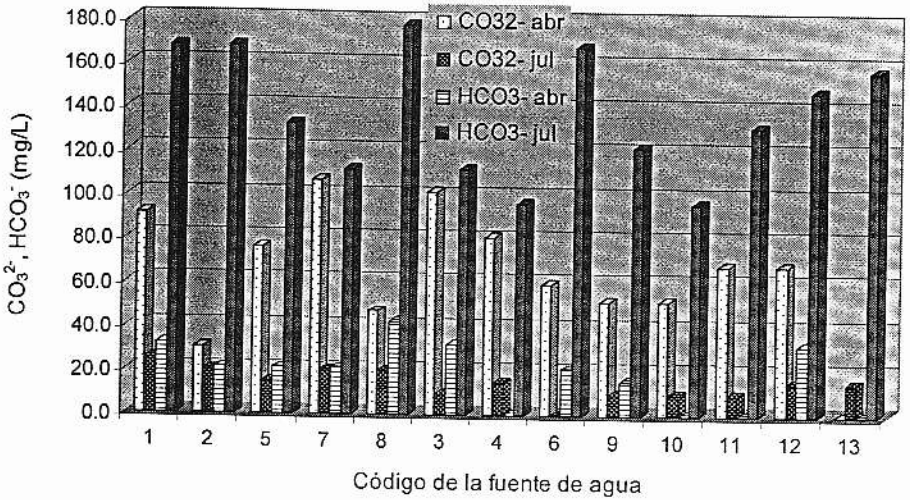


Figura 39. Niveles de CO_3^{2-} y HCO_3^- en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

8.2.12 Alcalinidad

Relacionado con los niveles de carbonatos y bicarbonatos, se encuentra la *alcalinidad*, la cual se refiere, en general, a todas las bases en solución que se pueden tritar con un ácido fuerte (Padilla Cámbara, T., 2004). Sin embargo, en la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas, estas bases son especies de carbono en solución (carbonatos o bicarbonatos). Cuando en las aguas existen altas concentraciones de boro, sílice, sulfuro de hidrógeno, o ácidos orgánicos (que también actúan como bases en solución), la alcalinidad no representa solamente la cantidad de carbono en solución. Dada esta característica del agua, la alcalinidad se define también como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y subir el pH del medio donde se aplica (de Romero, N., 2001). Se expresa como mg/L de $CaCO_3$.

En las aguas de la microcuenca del río San Pedro, la alcalinidad disminuyó de la época de estiaje (marzo, abril) a la época lluviosa (julio), según lo que se observa en la Figura 40. Puesto que las lluvias aumentan los caudales, los niveles de bases en las aguas se diluyen y esto se expresa en la reducción de los niveles de alcalinidad en la época de lluvias.

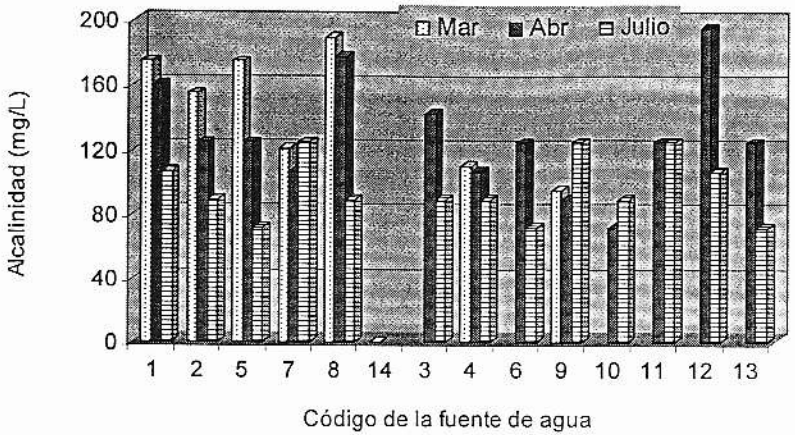


Figura 40. Niveles de alcalinidad en 13 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

8.2.13 Elementos menores

El hierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el boro y el molibdeno, entre otros, son clasificados como elementos menores pues los organismos biológicos los requieren en pequeñas cantidades denominadas trazas. El pH es el elemento que más influye en el comportamiento químico de estos elementos. Todos, excepto el molibdeno, son más solubles en medios fuertemente ácidos. En condiciones neutras o alcalinas, estos elementos forman óxidos o hidróxidos insolubles (OMS, 1987).

Los elementos menores son oligoelementos indispensables en el organismo humano. Según las estimaciones, se necesitan diariamente de 30 a 50 *u*g de manganeso, 0.8 mg de hierro, no más de 1 mg de zinc, 0.5 mg de cobre y 88 *u*g de boro por kilogramo de peso corporal (OMS, 1987).

El hierro y el manganeso son dos de los metales más abundantes en la corteza terrestre, y generalmente se presentan juntos. El hierro se encuentra en las aguas corrientes naturales, en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/L, y puede provenir de a) ataque de silicatos ferríferos; b) ataque de sulfuros y óxidos de hierro; c) ataque de la mayoría de rocas sedimentarias; y d) muy lentamente y con carácter local procede del entubado de los pozos. Se solubiliza y precipita con facilidad. (Custodio y Llamas, 2001).

Por su parte, las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeso formará óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables (OMS, 1987).

Con relación al cobre, y sus compuestos, está presente en el ambiente, y por eso se encuentra, con frecuencia, en las aguas superficiales. Las formas que toman el cobre en el agua dependerán del pH y de la concentración de carbonatos presentes y otros aniones en concentración. La concentración del cobre en el agua de bebida es, por lo general, baja, de sólo unos microgramos por litro, pero la existencia de tuberías de cobre puede aumentarla considerablemente hasta varios miligramos por litro, tras un período de retención del agua en las tuberías (OMS, 1987).

Por su parte, el zinc se encuentra prácticamente en todos los alimentos y en el agua de bebida en forma de sales o complejos orgánicos. Aunque las concentraciones de este metal en las aguas superficiales y subterráneas no sobrepasan por lo común 0.01 y 0.05 mg/L, respectivamente, en el agua de los grifos puede ser mucho más altas debido a la disolución del zinc de las tuberías (OMS, 1987).

En cuanto al boro se utiliza principalmente en materiales estructurales compuestos. Los compuestos del boro se usan en algunos detergentes y procesos industriales y llegan al agua en los efluentes industriales y domésticos. Las concentraciones de boro que suelen hallarse en las aguas de bebida son inferiores a 1 mg/L (OMS, 1987).

Y con relación al molibdeno, su concentración en el agua de bebida es generalmente inferior a 0.01 mg/L. No obstante, en las zonas próximas a minas, se ha notificado la presencia de concentraciones de hasta 200 *u*g/L. (OMS, 1987)

En la Figura 41, se observan los niveles de Fe, Cu, Mn, Zn y B en 8 sitios de fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro muestreadas en marzo de 2004, incluyendo la descarga de aguas mieles de café. Se encontró más concentración de Mn, Fe, Zn y Cu en la descarga de aguas mieles (código 14), asociado por su puesto a la concentración de estos oligoelementos en el fruto del café, no así del boro lo que muestra que no es un elemento requerido en la formación del fruto.

La fuente de agua manantial Xémal (código 9) mostró los niveles más altos de Fe, Cu, Mn y Zn en las fuentes de agua muestreadas aunque las concentraciones encontradas no fueron superiores a 0.1 mg/L.

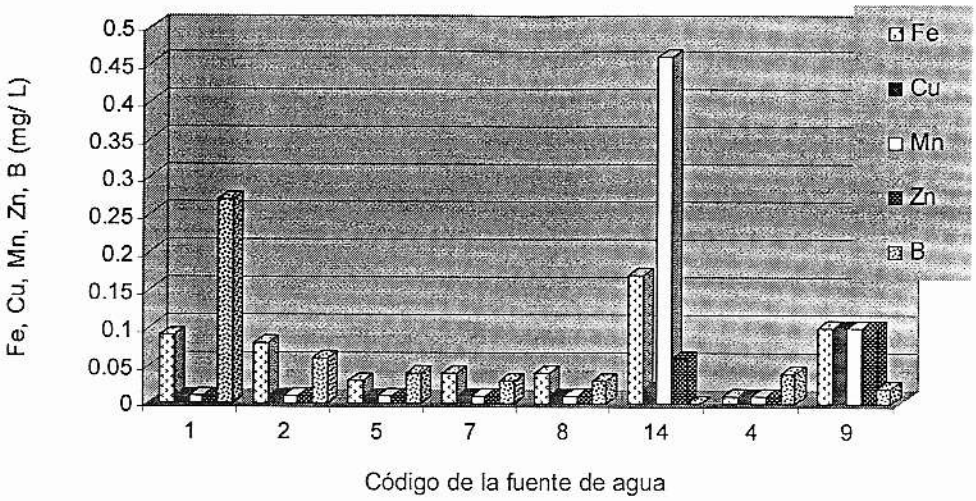


Figura 41. Niveles de Fe, Cu, Mn, Zn y B presentes en 8 fuentes de agua muestreadas en marzo 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Se observa también que las concentraciones de Fe y B aumentan en la medida en que el sitio desciende aguas abajo hacia el punto de aforo, aunque en el caso del Fe este incremento no es muy pronunciado y no alcanza un valor superior a 0.1 mg/L. No así el B que se incremente de 0.02 mg/L hasta 0.25 mg/L. Puede decirse que para todas las muestras las concentraciones de los oligoelementos medidos se encuentran en los rangos reportados por la OMS (1987).

La Figura 42 muestra los niveles de Fe y Mn encontrados en 13 sitios de fuente de agua muestreadas en el mes de julio, mes en que no se detectaron los otros elementos menores. Para ambos elementos, las concentraciones variaron de 0.1 mg/L a 0.3 mg/L, aunque el manganeso se encontró en todos los sitios no así el hierro que no fue detectado en el manantial Marcos Bravo (código 6) ni en el manantial Xémal (código 9). Para todas los sitios, se tiene un promedio de 0.13 mg/L de hierro y 0.22 mg/L de manganeso.

El hecho de que el Cu y Zn no hayan sido detectados en el mes de julio, está sugiriendo que el aumento de caudales producto de las lluvias diluye la presencia de estos elementos y que el material geológico no es rico en estos minerales de manera que no se disuelven en el agua que penetra con las lluvias. Caso contrario estaría ocurriendo con el Fe y Mn, cuyos niveles en julio son superiores a los encontrados en marzo. Esto está sugiriendo que el agua de lluvia al penetrar en el suelo y el material geológico, disuelve en parte estos minerales, los cuales pasan entonces al agua de escorrentía. Sugiere también que hay mayor

presencia de estos minerales en las rocas existentes en la microcuenca. En todo caso, los niveles son superiores a las concentraciones en aguas reportadas por la OMS (1987).

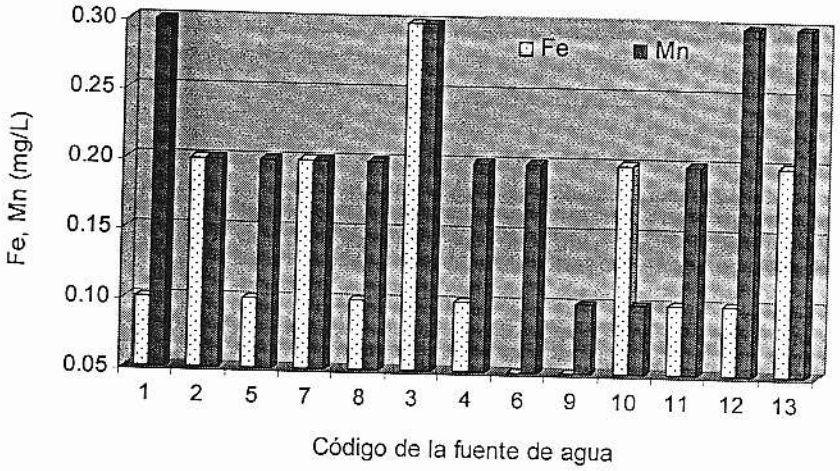


Figura 42. Niveles de Fe y Mn en 13 fuentes de agua muestreadas en julio 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

8.2.14 Las especies de Nitrógeno

Tres son las fuentes potenciales del Nitrógeno en las aguas: a) el nitrógeno orgánico del suelo; b) los fertilizantes inorgánicos y orgánicos; y, c) los desechos de origen animal y domésticos (estiércol y aguas servidas) (Aravena, R., 2004).

El nitrógeno como amonio es un indicador de la contaminación reciente de un cuerpo de agua o de la cercanía de una fuente de contaminación, ya que es la primera especie degradada a partir de la materia orgánica por los microorganismos. (Pérez Sabino, F., 2003). La concentración de amonio en aguas naturales superficiales se encuentra generalmente por debajo de 0.2 mg/L. Es considerado como un indicador de la contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. Su presencia puede originar la formación de nitritos y ocasionar problemas de sabor y de olor en el agua (CEDUCA, 1995).

Desde luego, el ciclo del nitrógeno está en función de las condiciones de oxidorreducción, determinado a su vez por los niveles de oxígeno disuelto presente en las aguas. En condiciones aeróbicas (de altos niveles de oxígeno disuelto en las aguas), el nitrógeno orgánico se amonifica para luego nitrificarse a

nitritos y nitratos, requiriendo 4.5 veces más oxígeno. La nitrificación del amoníaco reduce considerablemente los niveles de oxígeno disuelto (CEDUCA, 1995). En tanto que en condiciones anaeróbicas, se provoca el proceso de desnitrificación que consiste en que el nitrógeno de nitratos o nitritos se libera en forma de nitrógeno molecular (N_2) y la actividad de los microorganismos sobre la materia orgánica se reduce manteniéndose los niveles de nitrógeno orgánico.

Aunque el nitrato, generalmente, no es dañino para la salud del público adulto, su ingesta por infantes puede causar niveles bajos de Oxígeno en la sangre, una condición potencialmente fatal. (Spalding & Exner, 1993). Por esta razón, la agencia de protección ambiental de los USA (EPA, 2003) ha establecido un estándar límite de 10 miligramos por litro (mg/L) de nitrato en el agua de consumo. Según Mueller *el. al.* (1995), concentraciones de nitrato en las aguas naturales del suelo son, usualmente, menores que 2 mg/L. (Nolan, B. T. et al, 1998)

Las ecuaciones químicas que representan el proceso de amonificación de la materia orgánica es la siguiente:

$$CH_3CH(NH_2)COOH + 0_2 \rightarrow CH_3COOH + NH_3 + CO_2$$

Dadas las particularidades de la molécula de agua en cuanto a disociarse, y a una atracción mayor del N sobre los iones Hidronios (H^+), el amoníaco (NH_3) se transforma en amonio (NH_4^+).

La secuencia química del proceso de nitrificación es la siguiente:

$$NH_4^+ + 1\,1/2\,O_2 \rightarrow 2H + H_2O + NO_2^- \rightarrow NO_2^- + 1/2\,O \rightarrow NO_3^-$$

Cuando se aplica urea como fertilizante, el proceso de nitrificación permite que las plantas asimilen el nitrógeno de esta fuente.

$$CO(NH_2) \rightarrow \underset{\text{(gas)}}{NH_3\uparrow} \leftrightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$$

En tanto que la desnitrificación o reducción del nitrato, sigue el proceso químico siguiente:

$$6NO_3^- + 5CH_3OH \rightarrow 5CO_2 + 7H_2O + 6OH^- + 3N_2$$

A nivel de aguas superficiales, la desnitrificación sigue determinadas rutas químicas en función de la presencia de materia orgánica o de otros sustancias como el sulfuro de hierro (FeS_2).

$$4NO_3^- + 5CH_2O + 4H^+ \rightarrow 2N_2 + 5CO_2 + H_2O$$

$$14NO_3^- + 5FeS_2 + 14H^+ \rightarrow 7N_2 + 10SO_4^- + 5Fe^{+2} + H_2O$$

Es particularmente importante estudiar los niveles de nitrato, pues este constituye el mayor contaminante de las aguas subterráneas en las tierras utilizadas para la agricultura con alta aplicación de fertilizantes nitrogenados. Por otro lado, se debe tener presente que las zonas riparias (vegetación situada a los lados de las fuentes de agua) actúan como una zona buffer para atenuar el nitrato asociado a aguas subterráneas contaminadas que descargan en las fuentes de agua superficiales.

En el Cuadro 26 se presentan los niveles de Nitrógeno total, Nitrógeno de Nitratos, Nitrógeno de amonio y Fósforo total obtenidos en los sitios de fuentes de agua muestreados en la microcuenca del río San Pedro.

En la Figura 43 puede apreciarse que en el mes de abril, con excepción del manantial de Marcos Bravo (código 6), la cual presentó un nivel de nitrógeno de 10 mg/L, todas las fuentes de agua presentaron niveles de nitrógeno total por debajo de los 5 mg/L. En julio, todas las fuentes de agua presentaron un nivel de nitrógeno < 5 mg/L.

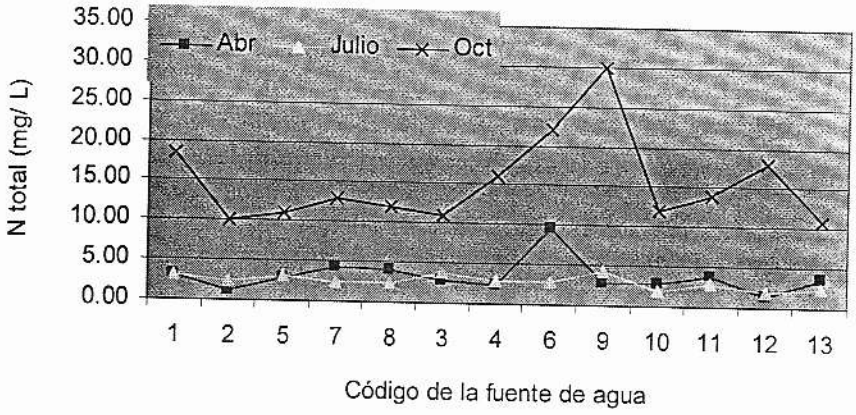


Figura 43. Niveles de N total en 13 muestras de agua en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Cuadro 26. Especies de nitrógeno (N) y fósforo total (P) en 13 sitios de fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro

No.	Fuente de agua	altitud msnm	mes de muestreo	N total (mg/L)	N-NO3- (mg/L)	N-NH4+ (mg/L)	P total (mg/L)
1	Río San Pedro (punto de aforo)	1239	marzo		5.02		0.710
			abril	3.13	0.603	0.107	0.044
			julio	3.13	0	0	0.063
			oct	18.55	0.7		
2	Río San Pedro (antes de ingresar a cabecera municipal)	1560	marzo		0.99		0.430
			abril	1.28	0	0	0.046
			julio	2.43	0	0	0.062
			oct	10	0.69		
3	Arroyo a La Pinada	1565	abril	2.99	0.391	0.413	0.039
			julio	3.76	0	0	0.050
			oct	11	0.54		
4	Arroyo Biblioteca Los Coles	1570	marzo		3.1		0.05
			abril	2.50	0.00	0.08	0.013
			julio	2.89	0.415	0	0.059
			oct	16	0.25		
5	Río Nimá	1575	marzo		5.65		2.32
			abril	2.84	0	0.28	0.044
			julio	3.17	0.815	0.051	0.036
			oct	11	0.38		
6	Manantial Marcos Bravo	1600	abril	9.57	0.324	0	0.006
			julio	2.77	0.48	0.00	0.052
			oct	22.00	1.00		
7	Río Niyá	1692	marzo		0.51		0.01
			abril	4.37	0	0	0.016
			julio	2.37	0	0	0.037
			oct	13	0.61		
8	Río Chinacual	1692	marzo		3.53	0	0.01
			abril	4.15	0	0	0.007
			julio	2.41	0.334		0.038
			oct	12	0.53		
9	Manantial Xemal El Aguacate	1945	marzo		0.42		0.65
			abril	2.83	0.952	0	0.013
			julio	4.43	1.484	0	0.065
			oct	30	0.62		
10	Manantial Niyá, SPN	1970	abril	2.99	0	0.047	0.015
			julio	1.87	0	0	0.052
			oct	12	1.4		
11	Manantial Chinacual	1991	abril	3.77	0	0.006	0.005
			julio	2.99	0.814	0	0.040
			oct	14	0.66		
12	Manantial Nimá La Esperanza	2075	abril	1.54	0.514	0.18	0.008
			julio	1.92	0	0	0.044
			oct	10	0.93		
13	Manantial Baléncruz	2300	abril	3.5	0.034	0	0.014
			julio	2.45	0.199	0	0.040
			oct	10.85	0.61		
14	Aguas mieles Beneficio Café	1572	marzo		1.71		8.71

En tanto que en el mes de octubre, todas las fuentes de agua presentaron un nivel de nitrógeno total de 10 mg/L y más, siendo dos manantiales (códigos 6 y 9) los que presentaron los valores más altos (22 mg/L y 30 mg/L, respectivamente). Puede observarse en la Figura 43 que en octubre aumentó significativamente los niveles de nitrógeno total, lo cual puede deberse a que las aplicaciones de nitrógeno de fertilizantes y al arrastre de este nutriente por las lluvias, haya incrementado los valores de nitrógeno en las aguas superficiales.

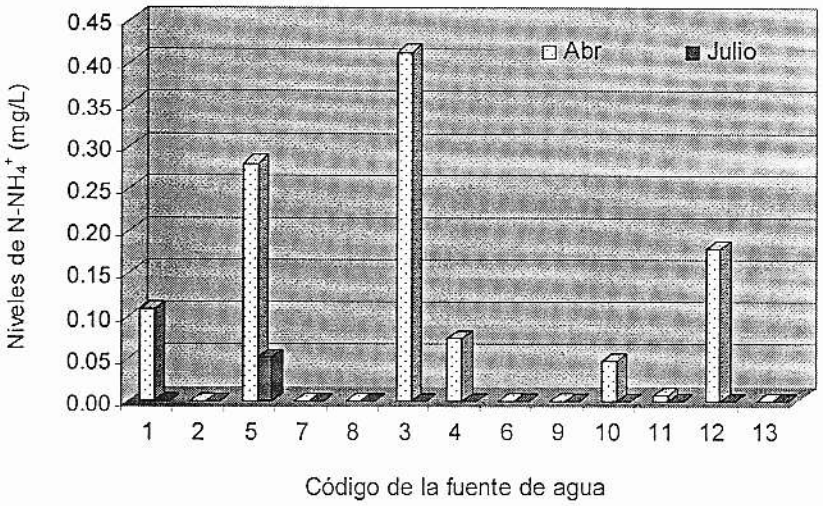


Figura 44. Niveles de $N\text{-}NH_4^+$ en 13 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, en abril y julio del 2004

La Figura 44 muestra los niveles de $N\text{-}NH_4^+$ encontrados en las 13 fuentes de agua muestreadas en los meses de abril y julio. Puede verse que en abril se detectó presencia $N\text{-}NH_4^+$ en siete fuentes de agua, distribuidos en dos ríos (códigos 1 y 5), dos arroyos (códigos 3 y 4) y tres manantiales (códigos 10, 11 y 12), en tanto que en julio solamente se detectó $N\text{-}NH_4^+$ en un río (código 5). Se aprecia que uno de los arroyos presentó en abril el mayor nivel de $N\text{-}NH_4^+$ (0.41 mg/L), y que el manantial Nimá (código 12) presentó un nivel de $N\text{-}NH_4^+$ de 0.18 mg/L. Mientras que en los ríos San Pedro y Nimá (códigos 1 y 5), los niveles fueron de 0.11 mg/L y 0.28 mg/L, respectivamente.

La presencia de $N\text{-}NH_4^+$ en abril indica contaminación de aguas residuales y de contaminación de materia orgánica posiblemente de las infiltraciones provenientes de las letrinas; en tanto que el hecho de que en julio no se detecte $N\text{-}NH_4^+$ en la mayoría de fuentes de agua, indica que este contaminante está siendo convertido a formas oxidadas o reducidas del N y de ahí que no se detecte.

En cuanto al nitrógeno proveniente de nitratos ($N\text{-}NO_3^-$) que se aprecia en la Figura 45, este contaminante fue detectado en todas las fuentes de agua muestreadas en marzo, no fue detectado en la mayoría de las fuentes de agua en el mes de abril, sin embargo fue detectado en todas las fuentes de agua muestreadas en los meses de lluvia (julio y octubre).

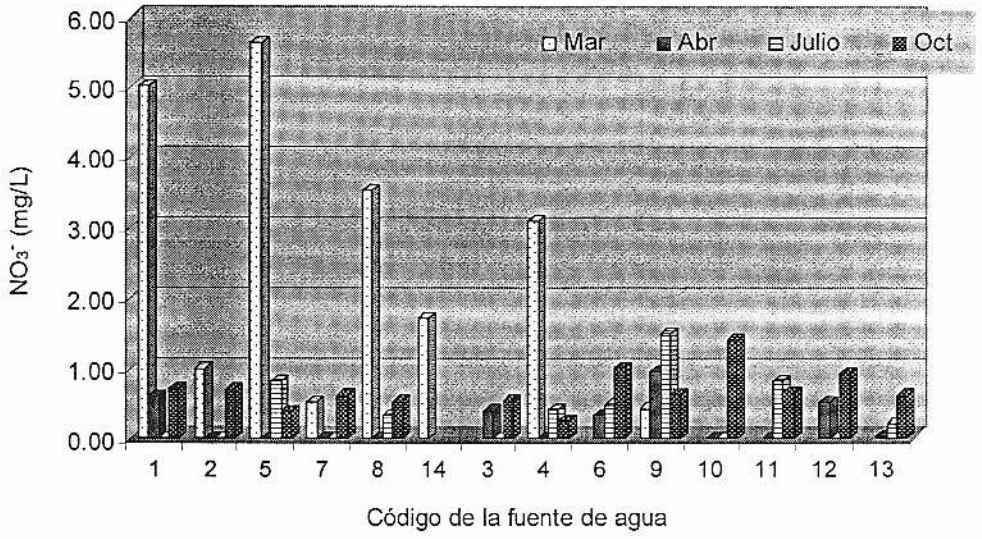


Figura 45. Niveles de NO_3^- en 14 fuentes de agua, muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

Los mayores niveles fueron encontrados en el mes de marzo y correspondió principalmente a todos los ríos y a un arroyo, aunque fue detectado en uno de los manantiales (código 9). Los niveles encontrados en los ríos y el arroyo no fueron superiores a los 5.65 mg/L pero fueron mayores al nivel encontrado en la descarga de aguas mieles de café (1.71 mg/L), el cual fue superior al nivel encontrado en el manantial (0.42 mg/L).

En el mes de abril los niveles encontrados no fueron superiores a 1.0 mg/L. En tanto que en julio y octubre, los mayores niveles alcanzaron un valor de 1.48 mg/L y correspondieron a dos manantiales (códigos 9 y 10).

En el caso de los ríos y el arroyo, los mayores niveles de NO_3^- pueden explicarse por los aportes de tres fuentes: las aguas servidas, las infiltraciones provenientes de las letrinas y principalmente por el

enriquecimiento proveniente de la descarga de aguas mieles, enriquecimiento que no se produce en los manantiales. En abril, al no existir la descarga de aguas mieles, los niveles de NO_3^- se reducen, y en el caso de los manantiales puede explicarse principalmente por las infiltraciones provenientes de las letrinas.

En el mes de julio y octubre, la presencia de nitratos tiene tres fuentes: la fertilización nitrogenada, las aguas servidas y las infiltraciones provenientes de las letrinas. En estos meses, el movimiento del agua en el suelo adquiere una mayor dinámica debido a las lluvias lo cual incrementa los flujos superficiales y subsuperficiales (principalmente por una mayor infiltración). Un mayor flujo de infiltración de agua en el suelo estaría explicando la presencia de NO_3^- en los manantiales, y el hecho de que la lluvia incrementa la escorrentía y los caudales estaría explicando porque los niveles de NO_3^- disminuyen en general con relación al mes de marzo. Para todas las fuentes de agua muestreadas, los promedios según mes de muestreo varió de 2.75 mg/L en marzo, mg/L en abril 0.349 mg/L en el mes de julio y 0.686 mg/L en octubre. En cuanto a los meses de muestreo, los promedios según fuentes de agua, varió de 1.58 mg/L en el punto de aforo, 1.71 mg/L en el río Nimá y 1.1 mg/L en el río Chinacual y 0.94 mg/L en uno de los arroyos (código 3). El efecto de aguas residuales y la fertilización nitrogenada, puede explicarse en que el NO_3^- aumenta hacia el punto de aforo y luego de cruzar los principales poblados.

En general, puede decirse que los niveles de N total, NH_4^+ y NO_3^- encontrados, son bajos. Tal situación hace pensar que las fuentes de N en la microcuenca no liberan una cantidad suficiente para elevar los niveles en las aguas, de manera que los mecanismos de retardo y atenuación tanto química como biológica (dispersión, adsorción, degradación química y biológica, y precipitación) contribuyen a reducir los niveles de este contaminante.

8.2.15 El Fósforo total

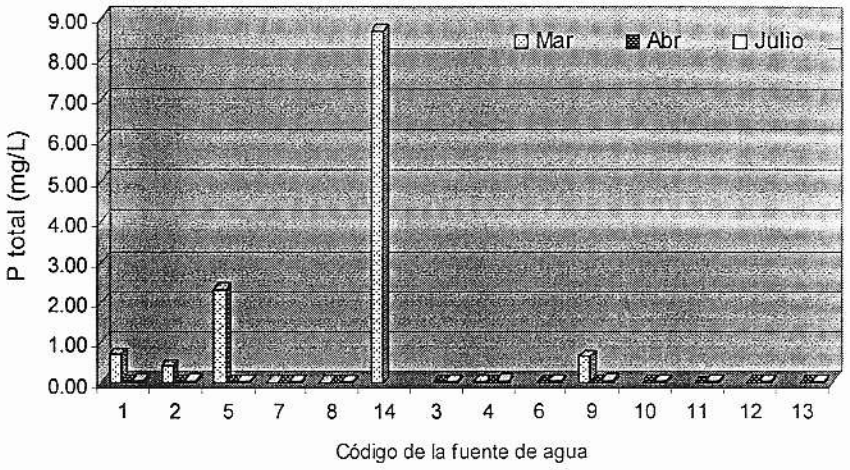
El fósforo total es la suma del fósforo contenido en todas las especies químicas presentes en una muestra (ortofosfatos, poli fosfatos o fósforo orgánico). El *Fósforo de ortofosfato ($P\text{-}PO_3^{-2}$)*, es la forma asequible del fósforo para intervenir en los procesos bioquímicos en el agua. El fósforo de ortofosfato es generalmente el factor limitante de la productividad en cuerpos de agua, por lo que su análisis es importante para evaluar los procesos de eutrofización y contaminación en aguas naturales. El fosfato es el componente mayor de los fertilizantes, por lo que al aplicarse éstos en exceso, se altera el ciclo del fosfato. Los ortofosfatos son fosfatos inorgánicos solubles en agua y son arrastrados a las aguas superficiales por el agua de escorrentía (CEDUCA, 1995).

En el agua, el ortofosfato se convierte en bifosfato (HPO_3^-) el cual en presencia de Ca^{2+} o Mg^{2+} precipita en forma de $Ca(IIPO_3)_2$ o $Mg\ (HPO_3)_2$, con lo cual se reducen los niveles de Fósforo total que se detectan en las aguas.

En la Figura 46 se muestran los niveles de P total encontrados en marzo, abril y julio en las aguas de la microcuenca del río San Pedro.

El mayor nivel de P total correspondió a la muestra de la descarga de aguas mieles del café, siendo 8.71 mg/L, lo cual se explica por la cantidad de este nutriente requerido en los distintos proceso bioquímicos para la formación, crecimiento y maduración del fruto del café.

En cuanto a los ríos, arroyos y manantiales, los mayores niveles fueron encontrados en marzo, correspondiendo a tres ríos (códigos, 1, 2 y 5) y a un manantial (código 9). En los ríos, los niveles encontrados, correspondientes a 0.71 mg/L, 0.43 mg/L y 2.32 mg/L, respectivamente, pueden explicarse por la descarga de aguas mieles. En el caso del arroyo, cuyo nivel encontrado fue de 0.65 mg/L, puede explicarse por el contenido de minerales en las rocas y el suelo a través de los cuales fluyen las aguas subterráneas.



Fgiura 46. Niveles de P total en 14 fuentes de agua muesteadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

En cuanto a abril y julio, niveles de P total fueron encontrados en todas las fuentes de agua. En los manantiales, los valores en abril variaron de 0.01 a 0.02 mg/L, en tanto que en los ríos y arroyos variaron de 0.01 a 0.05 mg/L, lo cual permite mayor certeza de la conclusión de que es la descarga de aguas mieles la que eleva los niveles de P total en marzo pues en abril esta fuente de P total ya no existe. En el caso del mes de julio, los niveles fueron igualmente menores a los niveles encontrados en marzo, variando en los manantiales de 0.04 a 0.07 mg/L y en los ríos de 0.04 a 0.06 mg/L. Puede decirse que con respecto a abril, hay un ligero aumento del nivel de P en el mes de julio, lo cual puede explicarse por el uso de fertilizantes en la agricultura y por los procesos erosivos que arrastran el P contenido en los sedimentos. Desde luego, bajos niveles de P total en el mes de julio obedece también a la dilución de este nutriente por el aumento de los caudales de las fuentes de agua.

8.2.16 Cloruros

El cloruro presente en el agua de consumo humano procede de fuentes naturales, de las aguas residuales y los efluentes industriales. La principal fuente de exposición humana a este compuesto es la sal agregada a las comidas, cuya ingesta es por lo general mucho mayor que la procedente del agua potable. La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales del sistema de distribución, en función de la alcalinidad del agua, y puede hacer que aumenten las concentraciones de metales en ésta (OMS, 1987). De acuerdo con Machorro, R. (2002), el cloro puede ser tóxico en ambientes donde el pH varía ampliamente.

En la microcuenca del río San Pedro, de los muestreos realizados en 2004, puede apreciarse en la Figura 47 que solamente fueron detectados cloruros en el mes de marzo, no así en el mes de abril y julio. Los mayores niveles fueron detectados en los ríos con mayor número de población en sus márgenes o laderas. Siendo estos el río San Pedro en el punto de aforo (código 1), el río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal (código 2) y el río Nimá (código 5), en el cual los valores encontrados fueron 12.76, 11.48 y 13.4 mg/L, respectivamente. Valores menores fueron encontrados en los demás ríos y arroyos (códigos 7, 8 y 4), aunque en uno de los arroyos no fue detectado (código 3), y tampoco fue detectado en la descarga de aguas mieles del café (código 14).

Cloruros fueron detectados también en el manantial muestreado (código 9), con un nivel de 8.93 mg/L.

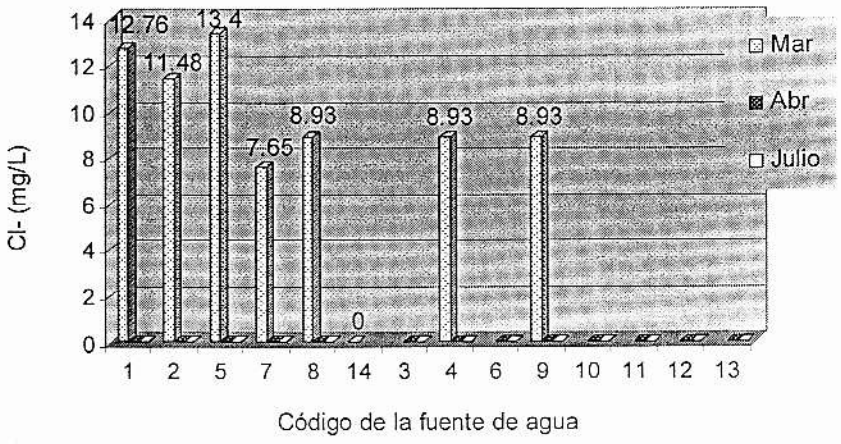


Figura 47. Niveles de cloruro en 14 fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

La explicación de por qué mayores niveles de cloruros fueron encontrados en los ríos, se debe principalmente a las aguas residuales descargadas a los ríos, que es la vía por donde se descargan los desechos del consumo alimentario de las poblaciones. Con relación a los otros meses, mayores niveles se esperaría encontrar en marzo dado los reducidos niveles de los caudales de los flujos de agua dada la época seca, sin embargo esta hipótesis no se sustenta pues abril es el último mes de la época seca y corresponde al mayor estiaje de los flujos hídricos.

La explicación posible para su no detección en el mes de julio, debe ser su dilución en mayor caudal de la escorrentía superficial como producto de las lluvias.

8.2.17 Sulfatos

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se descargan en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos, no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales. En general, los alimentos son la fuente principal de exposición a los sulfatos, aunque en las zonas con niveles altos, la ingesta procedente del agua puede sobrepasar la alimentaria (OMS, 1987).

En la microcuenca del río San Pedro, se detectaron sulfatos en los meses de abril y julio (Cuadro 27), aunque en el mes de abril hubieron dos manantiales (códigos 9 y 10) y un arroyo (código 4) en los cuales no fueron detectados. En abril, la mayor concentración se encontró en el río Chinacual (código 8), con un nivel de 25.09 mg/L. En los manantiales, los niveles de sulfatos en abril variaron de 2.3 a 3.7 mg/L, en tanto que en los ríos y unos de los arroyos, el nivel de sulfatos varió de 3.54 hasta 25.9 mg/L.

En el mes de julio el mayor nivel encontrado correspondió a un manantial (código 9) con un valor de 13.53 mg/L, correspondiendo el menor valor a los manantiales de 2.06 mg/L (código 6). En cuanto a los ríos y arroyos, los valores variaron de 3.04 mg/L (para el manantial código 4) hasta 8.03 mg/L (río San Pedro código 2).

Cuadro 27. Niveles de sulfato (SO_4^{2-}) en abril y julio de 2004, en 14 fuentes de agua de la micro cuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Altitud	SO_4^{-2} (mg/L)	
		msnm	Abr	Julio
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	4.69	2.95
2	Río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal	1560	6.26	8.03
5	Río Nimá, antes de ingresar al río San Pedro	1575	5.64	3.65
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	3.54	6.2
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	25.09	4.31
14	Aguas mieles del beneficio de Café	1572		
3	Arroyo hacia la Pinada	1565	3.52	6.86
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	0.00	3.04
6	Manantial Terreno de Marcos Bravo	1600	3.70	2.06
9	Manatial terreno Sr. De Xémal	1945	0.00	13.53
10	Manantial Niyá SPN	1970	0.00	2.21
11	Manantial Chinacual	1991	4.03	6.59
12	Manantial Nimá	2075	3.24	3.19
13	Manantial Balencruz	2300	2.31	2.54

La explicación más probable a los niveles más altos de sulfatos encontrados tendría que ver con contaminaciones puntuales por aplicación de sulfatos bien sea por aplicación de fertilizantes o por aplicación de determinados tipos de pesticidas.

8.2.18 Oxígeno Disuelto

Desde el punto de vista químico, la importancia del oxígeno disuelto radica en que es la especie más común con un gran potencial para oxidar otras especies o elementos químicos y, por lo tanto, su presencia o

ausencia define las reacciones de oxidación-reducción en las aguas. Las reacciones de oxidación-reducción se tratan de la transferencia de electrones entre especies. Los elementos de la tabla periódica que intercambian electrones son principalmente el oxígeno, el nitrógeno, el hierro, el azufre y el carbono. (Padilla Cámbara, T., 2003).

En el caso de las aguas subterráneas, varios estudios han confirmado que por regla general, a través de un acuífero sin contaminantes, de la zona de recarga hacia la zona de descarga, el agua subterránea evoluciona de aguas oxidadas hasta aguas reducidas. El agua de recarga de un acuífero tiene oxígeno disuelto, el cual propicia condiciones oxidantes a la entrada de dicha agua en el acuífero, pero al entrar en el subsuelo y llegar a nivel freático, el agua se encuentra aislada de la atmósfera y el oxígeno (junto a otros compuestos oxidados o pobres en electrones) es reducido por la materia orgánica, que es rica en electrones. (Padilla, 2003).

La reacción que ocurre en la zona de recarga, donde una molécula de carbohidratos, que representa materia orgánica (CH_2O), cede un electrón al oxígeno, se describe de la siguiente manera:

$$O_{2(g)} + CH_2 0 \Leftrightarrow CO_{2(g)} + H_2 0$$

En las aguas subterráneas, la oxidación de materia orgánica en presencia de oxígeno libre (proceso que es mediado/ catalizado por bacterias) representa la mayor fuente de dióxido de carbono disuelto ($CO_{2(g)}$).

El otro elemento por el cual es importante el oxígeno disuelto, tiene que ver con que facilita la energía metabólica de ciertos microorganismos denominados bacterias acróbicas, de manera que estas bacterias pueden catalizar las reacciones redox por medio de enzimas. El límite mínimo al que las bacterias aeróbicas pueden catalizar reacciones de redox es 0.05 mg/L. Desde luego, para ello las bacterias necesitan nutrientes, tales como la materia orgánica (como materia prima y no como fuente de energía), nitrógeno, azufre, fósforo y ciertos metales, las cuales utilizan para vivir y crecer. (Padilla Cámbara, T., 2003).

Por otra parte, y de acuerdo con Pérez Sabino, F. (2003) y Machorro, R. (2002), el oxígeno disuelto es el parámetro de mayor importancia para la vida de los peces. 4 a 5 mg/L es la cantidad mínima de OD que varias poblaciones de peces pueden soportar, y cuando el contenido disminuye por debajo de 3 mg/L los peces más resistentes tienden a desaparecer.

En el Cuadro 28 se aprecian los niveles de oxígeno disuelto encontrados en 15 sitios de fuentes de agua muestreadas durante una mañana y una tarde del mes de enero del 2005 en la microcuenca del río San Pedro. Puede observarse que, en términos de mg/L, los manantiales presentaron los valores más bajos (4.37 a 5.19 mg/L) y los ríos presentaron los valores mayores, que variaron de 4.96 a 6.02 mg/L. Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando el valor se presenta en porcentaje (%) donde si bien algunos ríos presentaron valores altos (73, 74 y 75 %) otros ríos y arroyos presentaron los mismos valores que los manantiales.

En general, puede decirse que los niveles son aceptables. Aunque no fue muy marcado, los manantiales tendrían un valor menor de oxígeno disuelto debido a su movimiento a través del suelo y las rocas, en tanto que las corrientes superficiales tienen un valor mayor debido a la oxigenación durante su recorrido.

Cuadro 28. Niveles de oxígeno disuelto en 15 sitios de fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro, durante la mañana y la tarde, enero 2005

No.	Descripción del punto de medición	Oxígeno disuelto (mg/L)		Oxígeno disuelto (%)	
		Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
1	Punto de aforo	5.39	5.21	63.2	62.3
15	Río San Pedro después de la cabecera	5.44	5.25	65.4	65
2	Río San Pedro antes de ingresar al pueblo	5.77	6.1	70.5	75
5	Río Nimá	4.96	5.2	59.5	66.4
7	Río Niyá antes de unirse al río Chinacual	5.16	5.95	60.8	73
8	Río Chinacual antes de unirse al río Niyá	5.2	4.8	63.1	60
3	Arroyo detrás de Biblioteca	6.02	5.65	69.8	74
4	Arroyo a la Pinada	5.2	5.3	62	62
6	Manantial Marcos bravo	4.38	5.27	50.2	68
9	Manantial Xémal	4.37		54.5	
10	Manantial Niyá, SCh.	4.81	4.8	62	64.5
11	Manantial Chinacual				
12	Manantial Nimá	4.83		61.4	
13	Manantial Baléncruz				
16	Manantial Niyá, SPN	5.19	4.9	66.7	66.1

8.2.19 Demanda química de oxígeno (DQO)

Para evaluar el daño que pueden llegar a producir las aguas residuales, se mide la cantidad de carbono presente en las mismas, en forma directa, midiendo el carbono orgánico total, COT, o indirectamente, midiendo la capacidad reductora del carbono a través de la Demanda Química de Oxígeno, DQO, y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO. Con estas técnicas se determina la cantidad de materia orgánica putrescible que se encuentra en el agua contaminada. En principio, entre estos parámetros, no hay relación en

cuanto a los resultados, pues los efectos que se producen en el agua varían al aplicar cada técnica, de unas aguas contaminadas a otras.

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en el agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico. Con la DQO se mide el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. Es más preciso, exacto y rápido que la DBO (CEDUCA, 1995).

A partir de que en la microcuenca del río San Pedro existe una gran descarga de aguas residuales no tratadas, se definió la medición de la DQO, DBO_5 y los aceites y grasas.

De acuerdo al Cuadro 29, la mayor demanda química de oxígeno de las fuentes de agua muestreadas corresponde a marzo. Puede verse que en este mes, la DQO aumenta en la medida en que se desciende al punto de aforo, variando de 35 mg/L en el manantial Niyá (código 9) hasta 260 mg/L en el punto de aforo (código 1). Esto reflejaría que mayores niveles de contaminación se encuentran en los ríos. La descarga de aguas mieles es especial, el valor superó los 10,000 mg/L. Esto estaría mostrando que en la medida en que mayores descargas de aguas mieles de café afluyen al río, aumenta la demanda química; estaría mostrando también que los mayores caudales de los ríos reducen considerablemente la demanda química de oxígeno.

Cuadro 29. Niveles de DQO en 14 fuentes de agua muestreadas en marzo, abril y julio de 2004, en la micro cuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Altitud	DQO (mg/L)		
		msnm	Mar	Abr	Julio
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	260	15.6	56.6
2	Río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal	1560	173	11.6	66.2
5	Río Nimá, antes de ingresar al río San Pedro	1575	140	10.8	30.2
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	65	16.4	15.8
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	41	4.4	43
14	Aguas mieles del beneficio de Café	1572	10,923		
3	Arroyo hacia la Pinada	1565		29.2	44.6
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	45	10.0	40.6
6	Manantial Terreno de Marcos Bravo	1600		17.2	23.8
9	Manatial terreno Sr. De Xémal	1945	35	6.8	46.2
10	Manantial Niyá SPN	1970		23.0	29.4
11	Manantial Chinacual	1991		14.0	50.2
12	Manantial Nimá	2075		10.0	35
13	Manantial Balencruz	2300			47.8

Abril fue el mes en que las fuentes de agua mostraron menores niveles de DQO. El valor más alto correspondió a uno de los arroyos con 29.2 mg/L. Puede apreciarse en el Cuadro 29 que los manantiales en general mostraron valores ligeramente mayores de DQO. Esto de alguna manera se explica porque definitivamente el aporte de las descargas de aguas mieles se hace nula y que los aportes de DQO de los manantiales se diluye en la medida en que ingresa a los mayores caudales.

En cuanto al mes de julio, puede verse que la DQO aumenta con relación al mes de abril, esto estaría explicado por la influencia de la escorrentía superficial que incorpora sedimentos y otros contaminantes que elevan ligeramente la DQO, aunque los valores varían en un rango de 15.8 para el río Niyá (código 7) hasta 66.2 mg/L en el río San Pedro (código 2) .

8.2.20 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se define como la cantidad de oxígeno en mg/L necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua. Normalmente se emplea la DBO_5, que mide el oxígeno consumido por los microorganismos en cinco días. Resulta el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. La DBO_5, mide el peso de oxígeno disuelto utilizado por microorganismos para oxidar o transformar los compuestos presentes en el agua durante un período de 5 días, a 20° C de temperatura. Normalmente representa un 30-40 % de la demanda total de oxígeno de la mezcla. (CEDUCA, 1995).

Los niveles de DBO_5 encontrados en las fuentes de agua del río San Pedro (Cuadro 30), muestran que en marzo estos niveles son mayores, aunque no fue detectado DBO_5 en tres fuentes (en el punto de aforo, código 1, en el río Chinacual, código 8, y en el arroyo detrás de la biblioteca, código 3). En todo caso, los niveles encontrados fueron mínimos. Para los ríos Niyá y Nimá, estos niveles correspondieron a 2 y 5 mg/L, respectivamente, y en el río San Pedro, muestreado previo a su ingreso a la cabecera municipal, el nivel encontrado fue de 35 mg/L. Estos valores, que son significativamente mayores a los obtenidos en abril, muestran principalmente la influencia de las descargas de aguas mieles del café a los ríos. De hecho, en la muestra obtenida de una descarga de aguas mieles se encontró un nivel de 550 mg/L, pero una vez ingresado en el río San Pedro, este valor se diluyó pues en el río, 10 m después del ingreso de esta descarga, el nivel encontrado fue de 35 mg/L.

En el mes de abril, los valores no fueron superiores a 0.54 mg/L el cual fue el valor máximo encontrado y correspondió al río Nimá (código 5). El menor valor encontrado correspondió al manantial Balencruz con un nivel de 0.04 mg/L. Las demás fuentes de agua, tanto ríos, arroyos como manantiales tuvieron un comportamiento parecido, y los valores variaron desde 0.2 mg/L a 0.44 mg/L.

Cuadro 30. Niveles de DBO_5 en 14 fuentes de agua muestreadas en marzo, abril y julio de 2004, en la micro cuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Altitud	DBO_5		
		msnm	Mar	Abr	Julio
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	0	0.18	3.04
2	Río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal	1560	35	0.21	2.00
5	Río Nimá, antes de ingresar al río San Pedro	1575	5	0.54	2.32
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	2	0.44	1.44
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	0	0.17	0.75
14	Aguas mieles del beneficio de Café	1572	550		
3	Arroyo hacia la Pinada	1565		0.24	1.76
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	0	0.25	1.78
6	Manantial Terreno de Marcos Bravo	1600		0.24	1.53
9	Manatial terreno Sr. De Xémal	1945	1	0.18	1.85
10	Manantial Niyá SPN	1970		0.19	1.26
11	Manantial Chinacual	1991		0.44	1.98
12	Manantial Nimá	2075		0.23	2.04
13	Manantial Balencruz	2300		0.04	2.19

Puede observarse que en el mes de julio, los niveles de DBO_5 fueron superiores a los niveles de abril. El mayor valor encontrado fue de 3.04 mg/L que correspondió al punto de aforo (código 1). El menor valor encontrado fue de 0.75 mg/L y correspondió al río Chinacual (código 8). Para las demás fuentes de agua, tanto ríos, arroyos como manantiales, los valores variaron de 1.26 a 2.32 mg/L. El hecho de que los niveles de DBO_5 fueron mayores en julio con relación a abril se explicaría por el incremento de niveles de materia orgánica, sedimentos y otros contaminantes que ingresan a las fuentes de agua como producto de la escorrentía provocada por las lluvias.

8.2.21 Grasas y aceites

Según la Escuela Universitaria Politécnica de la Universidad de Sevilla (2000), los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como

azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, 40-60%, hidratos de carbono, 25-50%, y las grasas y aceites, 10%.

En la microcuenca del río San Pedro, los mayores niveles de grasas y aceites fueron encontrados en el mes de abril (época seca), aunque esto no puede interpretarse como una tendencia en virtud de que en julio (época lluviosa), algunas fuentes de agua mostraron mayores valores que en abril (Cuadro 31).

Cuadro 31. Niveles de grasas y aceites en 13 fuentes de agua muestreadas en abril y julio de 2004, en la micro cuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Altitud	Grasas y Aceites (mg/L)	
		msnm	Abr	Julio
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	61	50
2	Río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal	1560	51	43
5	Río Nimá, antes de ingresar al río San Pedro	1575	35	79
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	159	67
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	113	70
3	Arroyo hacia la Pinada	1565	80	20
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	51	60
6	Manantial Terreno de Marcos Bravo	1600	45	10
9	Manatial terreno Sr. De Xémal	1945	71	88
10	Manantial Niyá SPN	1970	87	80
11	Manantial Chinacual	1991	7	21
12	Manantial Nimá	2075	5	12
13	Manantial Balencruz	2300	44	49

Los mayores niveles de abril, correspondieron a los ríos Niyá y Chinacual con valores de 159 y 113 mg/L. En dos manantiales (codigos 9 y 10), los niveles de aceites y grasas encontrados fueron de 71 y 87 mg/L, respectivamente. Los menores niveles correspondieron a dos manantiales (códigos 11 y 12) con valores de 7 y 5 mg/L, respectivamente.

En julio, en los manantiales con códigos 9 y 10 se encontraron los niveles más altos de aceites y grasas de todas las fuentes de agua, correspondiendo a 88 y 80 mg/L. Los ríos con mayores niveles de aceites y grasas en julio, fueron el río Nimá y el río Chinacual con valores de 79 y 70 mg/L. Los menores niveles correspondieron a dos manantiales (códigos 6 y12) con valores de 12 y 10 mg/L, respectivamente.

8.3 Características bacteriológicas del agua

8.3.1 Indicadores bacteriológicos

Las características microbiológicas del agua están definidos por la presencia y cuantificación de los microorganismos indicadores, los cuales son aquellos utilizados para evaluar las condiciones del agua, contaminación fecal, presencia de patógenos potenciales o microorganismos deteriorantes, condiciones sanitarias de procesamiento de un cuerpo de agua (Hurst, et. Al., 1997). Los microorganismos indicadores más importantes son: Coliformes fecales y *Escherichia coli.* Aunque en condiciones de epidemias específicas se recomiendan detectar y cuantificar la presencia de otros microorganismos.

Los agentes microorganismos patógenos en agua tienen varias propiedades que los distinguen de la polución química:

a. patógenos son discretos y no en solución;
b. patógenos a menudo están agrupados o adheridos a sólidos suspendidos en agua, así que la probabilidad de adquirir una dosis infectiva no puede ser predicha de su concentración promedio en agua;
c. la probabilidad de desafiar con éxito un patógeno que resulta en infección, depende de la capacidad invasora y virulencia del patógeno, como también sobre la inmunidad del individuo.
d. si infección es establecida, patógenos se multiplican en su huésped, por eso perpetúan o aún incrementan la posibilidad de infección; y
e. a diferencia de muchos agentes químicos, la respuesta a la dosis de patógenos no es acumulativa. (OMS, 2003)

Coliformes fecales: son bacilos (forma alargada o de bastón) Gram-negativos (se tiñen de color rojo al utilizan la tinción de Gram), facultativos, crecen a una temperatura de 34.5 °C. Son relativamente específicos para material fecal de humanos, mamíferos, insectos, aguas residuales (negras), entre otras.

Escherichia coli: la presencia de este microorganismo en el agua o ambiente, es indicativo de la contaminación fecal de la muestra analizada. Esta contaminación fecal puede ser de origen humano o animal (mamíferos) a través de aguas de escorrentía o aguas residuales.

Fitoplancton: el plancton son agrupaciones de organismos vegetales y animales microscópicos que se encuentran por su reducido tamaño flotando en el agua a merced de las corrientes. El fitoplancton tiene un

tamaño entre 2 y 200 milimicras, y son las microalgas fotosintetizadoras (Ramírez y Viña, 1998). Es un indicador de eutrofización en masas de agua almacenadas o de movimiento muy lento.

De acuerdo con la OMS (S.f.), para el caso de contaminación de aguas para consumo humano, aunque *E. coli* es el indicador más preciso de polución fecal, el conteo de bacteria coliforme termo tolerante es una alternativa aceptable, debiéndose realizar pruebas de confirmación cuando sea necesario. La Bacteria coliforme total no es un indicador aceptable de la cualidad sanitaria de agua rural de suministro, particularmente en áreas tropicales donde muchas bacterias de no significancia sanitaria ocurren en casi todos los suministros sin tratar.

De acuerdo con la EPA (2002), coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua puede estar contaminada con desechos humanos o animales. Microbios causantes de enfermedades (patógenos) en esas aguas, pueden causar diarrea, calambres (retorcijones), nausea, dolor de cabeza, o otros síntomas. Estos patógenos pueden poner en un riesgo especial la salud de infantes, niños jóvenes, y personas con sistemas de inmunidad severamente comprometidos.

8.3.2 Coliformes fecales en las aguas de la microcuenca del río San Pedro

En este estudio, la contaminación bacteriológica se ha analizado a través de la cuantificación de coliformes fecales o bacterias termoresistentes en muestras de 100 ml de agua. Análisis más específicos no se han realizado debido a las dificultades de traslado de muestras y a que el laboratorio a disposición en la Jefatura del Área de Salud de Huehuetenango, solo realiza este tipo de análisis.

El Cuadro 32 muestra datos de análisis de coliformes fecales en 25 muestras de agua para consumo humano provenientes de siete fuentes distintas de la microcuenca, durante el año 2003. Puede observarse que presencia de coliformes fecales solamente se encontró en siete de las 25 muestras. Tres de los siete manantiales mostraron estar contaminados, los tres ubicados en el caserío Xöxal. Se encontró así mismo contaminación por coliformes fecales en cuatro muestras tomadas de grifos domiciliares, dos de las cuales corresponden a las aguas utilizadas en el Hospital Nacional ubicado en la cabecera municipal de San Pedro Necta. Esta agua proviene de los manantiales Nimá La Esperanza y Los Coles, aunque no son aguas mezcladas.

Cuadro 32. Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la micro cuenca del río San Pedro Necta, en 2003

Fecha	Hora	Lugar	Fuente de agua	Sitio de muestreo	Coliformes fecales/ 100 ml
28/02/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo Feliciana Nolasco García	0
28/02/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Casa de Marina de García	0
15/04/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo Rosa vda. De Martínez	0
15/04/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Vivienda 1	6
09/05/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Vivienda 1	0
09/05/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Iglesia El Calvario Vivienda 2	0
09/05/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Vivienda 3	0
09/05/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Vivienda 4	0
30/07/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo domiciliar 1	0
30/07/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo domiciliar 2	0
30/07/2003		Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo domiciliar 3	0
28/10/2003	11:00	Caserío Tapiz	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo domiciliar	0
28/10/2003	09:45	Aldea Guachipilín	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo domiciliar	0
28/02/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo casa Gregorio Sánchez	0
28/02/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Hospital Nacional	0
15/04/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Rolando Parada	0
15/04/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Joaquín Andrés Gerónimo	0
30/09/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Hospital Nacional	Incontables
30/09/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Hospital Nacional	Incontables
30/09/2003		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo de Flabio Velásquez	12
08/07/2003		Caserío Xóxal	Manantial Particular 1	Manantial 1	8
08/07/2003		Caserío Xóxal	Manantial Particular 2	Manantial 2	8
08/07/2003		Caserío Xóxal	Manantial Particular 3	Manantial 3	12
05/08/2003		Buena Vista Los Coles	Manantial Niyá SPN	Grifo Modesto Andrés	0
28/10/2003	12:00	Los Alisos	Manantial Chinacual	Grifo domiciliar	0

Fuente: datos proporcionados por la sección de saneamiento ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta.

Para el caso de los manantiales de Xöxal y el Manantial Los Coles, tal situación puede deberse a que la escorrentía producida durante la época lluviosa arrastró fuentes de contaminación bacteriológica hacia estos manantiales. A esto hay que añadir que los manantiales de Xöxal no cuentan con protección y están por tanto sometidos a la intemperie; en el caso del Manantial Los Coles, el problema puede deberse al tanque de distribución que presenta fisuras y por lo tanto facilita la penetración de contaminantes.

Una muestra más, tomada de un grifo domiciliar, apareció contaminada. El agua de esta muestra es originaria del Manantial Nimá La Esperanza. Esta contaminación se presentó en abril, pero muestras tomadas en febrero y mayo, en los grifos de otras viviendas que se alimentan de este mismo manantial, no aparecieron contaminadas, por lo que en este caso particular se estaría pensando en contaminación por error bien en el momento de muestreo o bien durante el análisis en el laboratorio.

En los manantiales y los grifos domiciliares de las demás aldeas no se encontró presencia de coliformes fecales en ninguna mes del año, lo cual de alguna manera indica que las fuentes de contaminación bacteriológica (principalmente las letrinas de hoyo), no están afectando las aguas y tal situación posiblemente se deba a que los suelos están provocando un efecto de retardo y facilitando mecanismos de limpieza biológica que no permiten mayor contaminación bacteriológica.

En abril del 2004, 26 muestras de aguas provenientes de siete manantiales y tres ríos fueron analizadas. De las 26 muestras analizadas, ocho resultaron contaminadas con coliformes fecales (Cuadro 33).

De las muestras contaminadas, dos corresponden a ríos, dos corresponden a aguas de pozos-manantiales situados en la cabecera municipal de San Pedro Necta, dos corresponden a tanque de captación y grifo domiciliar que representa la misma fuente de agua; y una que corresponde al tanque de distribución de la aldea Los Alisos.

Desde el análisis situacional de los puntos muestreados, se esperaba que los ríos resultaran contaminados. En uno de los ríos (el río Nimá) no se encontró coliformes fecales lo cual es sorprendente dada la cantidad de aguas residuales que se vierten aguas arriba al punto muestreado. En cuanto a los pozos-manantiales muestreados en la cabecera municipal, el diálogo con los propietarios (Rolando Parada, Francisca Vásquez y Municipalidad) permitió establecer que fuentes de contaminación puntual (letrinas de hoyo) están situadas tierras arriba relativamente cerca de las fuentes de agua.

Con relación a las muestras tomadas en el terreno de Elvidio Herrera, el tanque de captación y el grifo domiciliar, la contaminación se da en el tanque de captación debido a que si bien tiene una estructura de captación, la misma presenta una fisura que facilita la infiltración de viento y humedad, y de ahí que también el agua del grifo aparezca contaminada. Muestreado el manantial que alimenta el tanque de distribución, el mismo no aparece contaminado.

En el caso del proyecto de agua potable los Alisos, solamente se encontraron coliformes fecales en el tanque de distribución 1, por lo cual se considera que hubo un error de contaminación durante el muestreo o el análisis en el laboratorio debido a que tanto en la muestra del manantial donde se capta el agua como en la muestra de un grifo domiciliar, no se encontraron coliformes fecales. En el Cuadro 33 puede observarse que en un total de 18 muestras no se encontraron coliformes fecales.

Cuadro 33. Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la micro cuenca del río San Pedro Necta, en abril 2004

Fecha	Hora	Lugar	Fuente de agua	Sitio de muestreo	Coliformes fecales/100 ml
24/03/2004	13:00	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo Vivienda Francisco Gabriel M.	0
24/03/2004	14:00	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo Vivienda William Gutiérrez	0
14/04/2004	16:25	Pueblo SPN	Manantial Particular 4	Grifo Vivienda de Elvidio Herrera	16
14/04/2004	16:55	Pueblo SPN	Manantial Particular 4	Tanque captación Terreno de Elvidio Herrera	32
14/04/2004	16:58	Pueblo SPN	Manantial Particular 4	Tubería manantial Terreno de Elvidio Herrera	0
14/04/2004	17:20	Pueblo SPN	Manantial Particular 5	Tubería manantial Vivienda Francisva Vásquez	68
14/04/2004	17:32	Pueblo SPN	Manantial Particular 5	Pozo Vivienda Rolando Parada	40
15/04/2004	07:00	Las Vegas	Río Chinacual	Antes de unirse al río Niyá	Incontables
15/04/2004	07:10	Las Vegas	Río Niyá	Antes de unirse al río Chinacual	Incontables
15/04/2004	07:42	Camino a Aldea Guachipilín	Río Nimá	Antes de unirse al río San Pedro	0
15/04/2004	09:25	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Tanque distribución	0
15/04/2004	10:58	Caserío Xóxal	Manantial Particular 1	Tanque de manantial 1	0
15/04/2004	11:00	Caserío Xóxal	Manantial Particular 1	Tanque de manantial 1	0
15/04/2004	11:50	Esperanza Nimá	Manantial Nimá La Esperanza	Manantial Nimá	0
15/04/2004	11:58	Esperanza Nimá	Manantial Nimá La Esperanza	Manantial Nimá	0
15/04/2004	12:05	Esperanza Nimá	Manantial Nimá La Esperanza	Tanque captación 3	0
15/04/2004	12:10	Esperanza Nimá	Manantial Nimá La Esperanza	Tanque captación 5	0
15/04/2004	13:10	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo vivienda de Roberto Ramírez	0
16/04/2004	06:45	Los Alisos	Manantial Chinacual	Grifo Vivienda Domingo Nolasco	0
16/04/2004	07:03	Los Alisos	Manantial Chinacual	Tanque distribución 1	Incontables
16/04/2004	07:10	Los Alisos	Manantial Chinacual	Tanque distribución 2	0
16/04/2004	07:45	Los Alisos	Manantial Chinacual	Manantial Chinacual	0
16/04/2004	07:48	Los Alisos	Manantial Chinacual	Manantial Chinacual	0
16/04/2004	08:48	Pueblo SPN	Manantial Particular 6	Pozo en Salón Municipal	6
16/04/2004		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo Feliciana Nolasco García	0
16/04/2004		Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Casa de Marina de García	0

Fuente: elaboración propia con base en resultados del laboratorio de microbiología del agua de la Jefatura de Salud de Huehuetenango.

En julio de 2004 (en plena época lluviosa) se realizó otro muestreo analizando un total de 22 muestras. Se encontró contaminación en el 50 % de las muestras (Cuadro 34). Las muestras de los ríos siguió la tendencia encontrada en abril. En este caso, la muestra del río Nimá se encontró contaminada.

El grifo de la vivienda de Elvidio Herrera y los pozos-manantiales de Rolando Parada y Francisca Vásquez también se encontraron contaminadas, resultados que se habían encontrado en abril. Puede decirse que estas seis muestras tienen una fuente de contaminación establecida.

La muestra de agua del grifo de Roberto Ruiz (en la cabecera municipal de San Pedro Necta) apareció contaminada. El agua que alimenta el grifo procede del manantial Nimá, también analizado pero en cuyas dos muestras no se encontró contaminación. De la entrevista a Roberto Ruiz se encontró que la contaminación en su grifo tiene su origen en que en ese momento la tubería de conducción se encontraba averiada aguas arriba, la misma estaba expuesta al ambiente dado los trabajos de la Municipalidad para repararla.

En la misma cabecera municipal de San Pedro Necta, la muestra tomada en el grifo de Sarvelio Monzón se encontró contaminada. El agua de este grifo procede del tanque de distribución Tepán los Coles, cuya muestra también apareció contaminada. De acuerdo con el Fontanero municipal, esto se debe a que el sistema de inyección de cloro en el tanque de distribución no funciona y porque la caja del tanque de captación, no ofrece condiciones seguras de protección pues tiene fisuras que permiten el ingreso de aire y humedad, por lo que en la época de lluvias puede contaminarse fácilmente.

Las muestras de agua tomadas en los grifos de Mario Méndez y Carlos Ortiz, que corresponden a dos proyectos de agua de abastecimiento distintos, también se encontraron contaminadas. En ambos casos, de las entrevistas realizadas a ambas personas, parece ser que las fuentes de agua donde se hace la captación no presentan condiciones adecuadas de protección.

Finalmente, la muestra tomada en el tanque de distribución de los Alisos también apareció contaminada. Las aguas de este tanque se habían muestreado en abril, encontrándose igualmente contaminadas. Desafortunadamente, en este muestreo no se tomó muestra ni del manantial de captación ni de un grifo domiciliar para formular una hipótesis más certera sobre la causa de contaminación.

Cuadro 34. Resultados de los análisis bacteriológicos realizados en la micro cuenca del río San Pedro Necta, en julio 2004

Fecha	Hora	Lugar	Fuente de agua	Nombre del sitio de muestreo	Coliformes fecales / 100 ml
07/06/2004	08:00	Aldea Nimá	Manantial 7	Manantial 1	0
07/06/2004	08:00	Aldea Nimá	Manantial 7	Manantial 1	0
14/07/2004	17:50	Pueblo SPN	Manantial Particular 4	Grifo Vivienda de Elvidio Herrera	4
14/07/2004	18:01	Pueblo SPN	Manantial Particular 4	Tubería manantial Terreno de Elvidio Herrera	0
14/07/2004	18:15	Pueblo SPN	Manantial Particular 5	Pozo Vivienda Rolando Parada	Incontables
14/07/2004	18:20	Pueblo SPN	Manantial Particular 5	Tubería manantial Vivienda Francisva Vásquez	32
14/07/2004	18:41	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Grifo Roberto Ruiz	8
14/07/2004	19:00	Camino a la Aldea Guachipilín	Río Nimá	Antes de unirse al río San Pedro	Incontables
15/07/2004	10:00	Pueblo SPN	Mantial Los Coles	Tanque distribución Tepán	12
15/07/2004	12:27	Aldea Niyá, SPN	Manantial Niyá SPN	Grifo Escuela	0
15/07/2004	10:06	Pueblo SPN	Manantial Los Coles	Grifo de Sarvelio Monzón	24
15/07/2004	10:23	Pueblo SPN	Manantial Nimá La Esperanza	Tanque distribución Esperanza Nimá	0
15/07/2004	12:02	Las Vegas	Río Chinacual	Antes de unirse al río Niyá	Incontables
15/07/2004	12:07	Las Vegas	Río Niyá	Antes de unirse al río Chinacual	Incontables
15/07/2004	12:22	Aldea Niyá, SPN	Manantial Niyá SPN	Grifo Escuela	0
15/07/2004	12:40	Aldea Niyá, SCH	Manantial Niyá SCh	Grifo Vivienda de Antonio Sales	0
15/07/2004	12:55	Aldea Niyá, SCH	Manantial Niyá SCh	Manantial Niyá	0
15/07/2004	13:10	El Jute, Los Coles	Manantial Belencruz, SCh	Grifo vivienda de Sara Matías	0
15/07/2004	13:26	La Pinada	Manantial 1 Chalá, Chimiche	Tanque de Distribución La Pinada	0
15/07/2004	13:40	Tepán Los Coles	Manantial 2 Chalá, Chimiche	Grifo Vivienda de Mario Méndez	60
15/07/2004	14:03	La Pinada	Manantial 3 Chalá, Chimiche	Grifo vivienda de Carlos Ortiz	8
15/07/2004	14:55	Los Alisos	Manantial Chinacual	Tanque distribución	45

Fuente: elaboración propia con base a datos reportados por el Laboratorio de la Jefatura de Salud de Huehuetenango.

8.4 Presencia de metales pesados en el agua: Cd, Hg y Pb

Debido a las limitaciones de los laboratorios nacionales para el análisis de metales pesados, en este estudio únicamente se analizaron muestras de aguas para cuantificar la presencia de los metales pesados: cadmio, mercurio y plomo. Desde luego, la importancia de detectar y cuantificar la presencia de metales pesados, tiene que ver con los daños que estas sustancias pueden provocar en la salud de las personas (ATSDR, 2004) y debido a que en la zona de la cuenca del río Selegua se encuentran explotaciones mineras, aunque en la microcuenca del río San Pedro no existe este tipo de explotación y no hay evidencia de que habrán exploraciones en el mediano plazo.

8.4.1 Cuantificación de Cd, Hg y Pb en la mirocuenca del río San Pedro

En el Cuadro 35 se presentan los resultados obtenidos respecto a los metales pesados. Puede observarse que para el primer muestreo, solamente se detectó Cd, no así Hg y Pb. Puede observarse también que se detectó mayor cantidad de Cd en las aguas de la parte alta, cantidad que descendió en la medida en que las muestras se tomaron aguas abajo.

Cuadro 35. Niveles de Cd, Hg y Pb en tres fuentes de agua muestreadas en mayo y julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Coord. Geográficas		Altitud	Metal pesado (µg/l)			
		N	W	msnm	Cd*	Cd+	Hg*	Pb*
1	Nacimiento abajo del proyecto de agua de Los Coles, BalenCruz	1712860	637475	2300	0.125	Nd	Nd	Nd
2	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1712160	634980	1692	0.065	Nd	Nd	Nd
3	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1713056	629660	1239	0.027	Nd	Nd	Nd

* muestras tomadas en la primera semana de mayo
\+ muestras tomadas en la primera semana de julio

Esta situación estaría indicando que existe minerales con Cd principalmente en la parte alta de la microcuenca, no así en las partes media y baja, debido a que las cantidades detectadas se redujeron en ese sentido, obteniéndose el menor valor en la parte baja de la cuenca (punto de aforo).

Desde luego, esta reducción en la cantidad de Cd detectada obedece a que el cauce principal aumenta su caudal en la medida en que durante su trayecto es alimentado por otras fuentes (corrientes superficiales), pero en razón de que el nivel o cantidad detectado no aumenta y no se conserva aguas abajo, esto se interpreta como inexistencia, o existencia mínima, de fuentes de Cd en las partes media y baja de la

microcuenca. De esto se podría deducir también que ni las aldeas ni la cabecera municipal estarían haciendo aportes sustanciales de Cd a las aguas del cauce principal.

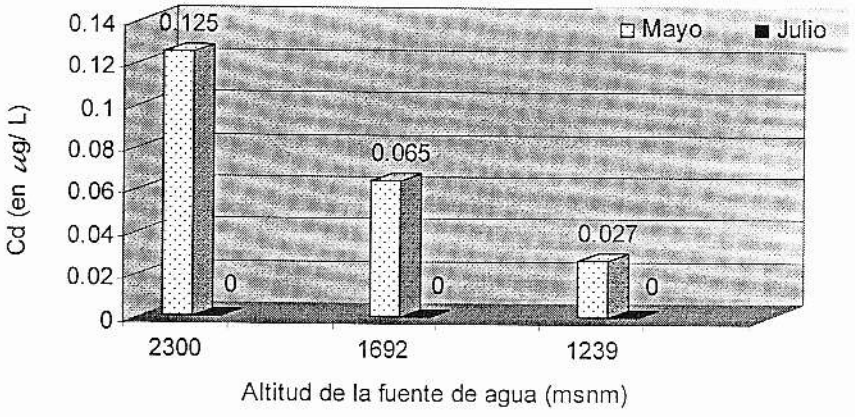


Figura 48. Niveles de Cadmio en tres fuentes de agua muestreadas en julio de 2004, en la microcuenca del río San Pedro, cuenca del Selegua

La Figura 48 ilustra mejor como descienden los niveles de Cd en las aguas en la medida en que las muestras proceden de las partes media y baja. Para corroborar la presencia de Cd en las aguas, se realizó el muestreo en la época lluviosa, en alguna medida se tenía la hipótesis de que los proceso de infiltración y flujos subsuperficiales de aguas durante la época lluviosa, provocarían una mayor disolución y presencia de este metal en las aguas. Del Cuadro 35 y de la Figura 48, puede observarse que no se detectó presencia de Cd en las muestras de agua del segundo muestreo. Es posible que la infiltración y los flujos subsuperficiales hayan introducido mayor cantidad de Cd en las aguas pero los niveles introducidos en relación a los caudales de los flujos no fue significativo de manera que en el laboratorio no se detectó la presencia del metal.

8.5 Presencia de pesticidas en el agua

La presencia de pesticidas en el agua puede deberse a su inmediato traslado vía escorrentía, por difusión aérea mientras se realiza su aplicación o bien al lavado de equipos de fumigación directamente en las fuentes de agua, por lo cual su presencia debe detectarse de inmediato, pues de lo contrario los mismos son transportados en el agua y determinado tiempo después no serán detectados.

Pero el otro elemento que permite detectar su presencia en el agua tiene que ver con la persistencia de los plaguicidas en el suelo, que durante la época de lluvias son transportados por los procesos de infiltración o percolación y contaminar los flujos subsuperficiales o aguas subterráneas, o bien arrastrados con el suelo por la escorrentía superficial que después llega a los ríos.

Bifani, 1997, citado por el Ayuntamiento de Granada (S.f.), señala que las consecuencias de la persistencia pueden ser muy importantes, dependiendo de la toxicidad del plaguicida y de su biodisponibilidad, así como de las características del suelo. La persistencia en el tiempo, y la no biodegradabilidad, refuerza los problemas de biomagnificación de estos compuestos, sobre todo en periodos de tiempo relativamente largos, de tal forma que los pesticidas que no se pierden por volatilización o escorrentía entran en el suelo donde son degradados o persisten pudiendo contaminar aguas subterráneas.

Por su parte, García, I., 1997, citado por el Ayuntamiento de Granada (S.f.) señala que los organoclorados cuya acción es insecticida tienen una persistencia que varía de 2 a 5 años en tanto que los organofosforados de acción insecticida tienen una persistencia de 7 a 8 semanas.

Knedel (1991) demostró la presencia de plaguicidas organoclorados en el agua tratada y sin tratar distribuida por EMPAGUA en la ciudad de Guatemala.

Por su parte, la UVG (1998) estudió residuos de plaguicidas organoclorados (23 compuestos), organofosforados (13) y un piretroide en 60 puntos de fuentes de agua superficiales durante 7 muestreos, encontrando que el 30% de los cursos de agua superficiales muestreados estaban sobre los límites de las normas permisibles.

La necesidad de detectar la presencia de estos tipos de pesticidas en las aguas, radica en el uso intensivo que se hace de los mismos y por el efecto dañino a la salud humana y sus efectos en el ambiente (Hilje, Q. Et al, 1987, Garland, A. W., 1989, citados por Castañeda, O. & de Castañeda, P., 1993).

8.5.1 Pesticidas organoclorados y organofosforados en la microcuenca del río San Pedro

Para el caso de la microcuenca del río San Pedro Necta, se tomaron 5 puntos de muestreo y se realizó un muestreo en el mes de julio en plena época de lluvias, debido a que en esta época los y las agricultores de

la microcuenca realizan el uso de pesticidas tanto para el control de enfermedades como para el control de malezas.

La toma de muestras fueron distribuidos en dos manantiales y en tres ríos. Dos ríos fueron muestreados antes de su ingreso al cauce del río principal, y el río principal fue muestreado en el punto de aforo. Esto con el fin de ver la tendencia en la presencia del plaguicida durante el curso de las corrientes de la parte alta a la parte baja.

En el Cuadro 36 puede observarse que no fue detectado ninguna clase de pesticida de ambos tipos. Lo que hace concluir que los niveles de uso de los plaguicidas no son significativos al grado que no tienen una presencia detectable en las aguas de la microcuenca.

Cuadro 36. Niveles de pesticidas organoclorados y organofosforados en cinco fuentes de agua muestreadas en julio de 2004, en la micro cuenca del río San Pedro

No.	Origen de la muestra	Coord. geográficas		Altitud msnm	Organo-clorados	Organo-fosforados
		N	W			
1	Manantial abajo del proyecto de agua de Los Coles, BalenCruz	1712860	637475	2300	Nd	Nd
2	Manantial Nimá	1712400	632560	2075	Nd	Nd
3	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1712160	634980	1692	Nd	Nd
4	Río Nimá, abajo de la carretera a Guachipilín	1713448	632025	1575	Nd	Nd
5	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1713056	629660	1239	Nd	Nd

Nota: Nd significa no detectado.

8.6 Calidad del agua para consumo humano

8.6.1 Desde las características fisicoquímicas

A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido los parámetros máximos y mínimos de los niveles en que las sustancias deben estar en el agua para que su consumo no perjudique la salud de la población humana y por lo tanto sea recomendable. A partir de estos parámetros establecidos por la OMS, cada uno de los países ha ido estableciendo sus propias normas, supuestamente, de acuerdo al nivel tecnológico que le permite tratar el agua de manera que cumpla con estas normas.

Los países industrializados, por su cuenta, han ido desarrollando sus propias normas y establecidos los niveles mínimos y máximos en que se acepta la presencia de determinadas sustancias en el agua para ser considerada como apta o recomendable para consumo humano. La más famosa y exigente es sin duda las normas establecidas por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de América.

En el caso de Guatemala, en el año de 1984 se estableció la Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones (COGUANOR), que, entre otras cosas, se encargó de establecer las normas de calidad del agua potable, mediante la norma NGO 29 001. (MINECO, 2000)

Una revisión a cada una de estas normas, permite observar que la OMS (2003) ha establecido al menos 5 categorías de parámetros a través de los cuales se evalúa o mide la calidad del agua: químicos presentes en la naturaleza, químicos de fuentes industriales y viviendas humanas, calidad microbial, y químicos de actividades agrícolas (que incluye no pesticidas y pesticidas utilizados en agricultura). La OMS no establece valores máximos y mínimos aceptables, pues su concepto se refiere principalmente al nivel en que se han evidenciado daños a la salud.

Por su parte, la EPA (2002), establece seis categorías de contaminantes: microorganismos, subproductos de desinfección, desinfectantes, químicos inorgánicos, químicos orgánicos, y radionucleidos, estableciendo conceptos referidos a los niveles aceptables de dichos contaminantes:
Máximo nivel de contaminación (MCL), que se refiere al nivel más alto de un contaminante que es permitido en agua potable. MCLs son niveles factibles de alcanzar usando el mejor tratamiento tecnológico disponible y considerando el costo. MCLs son estándares que deben cumplirse; y el concepto de *Máximo nivel de contaminante meta* (MCLG), el cual se refiere al nivel de contaminación en agua potable bajo el cual no se conoce o no se esperan riesgos a la salud. MCLGs permite un margen de seguridad y no son metas públicas de salud obligatoria. Con respecto a las sustancias desinfectantes, la EPA estable los conceptos de:
Máximo nivel residual de desinfectante (MRDL) – que es el nivel más alto de un desinfectante permitido en agua potable. Hay evidencias convincentes que adiciones de un desinfectante es necesario para control de contaminantes microbiales. Y el concepto de *Máximo nivel residual meta de desinfectante* (MRDLG)- que se refiere al nivel de un desinfectante en agua potable bajo el que no hay riesgos conocidos o esperados a la salud. MRDLGs no reflejan los beneficios del uso de desinfectantes para control de contaminantes microbiales.
Técnicas de Tratamiento- Un proceso previsto requerido para reducir el nivel de un contaminante en agua potable.

En el caso de la norma NGO 29 001, utiliza siete categorías: características físicas, características químicas, límites de toxicidad de los metales pesados, sustancias biocidas, sustancias no deseadas, sustancias orgánicas y características bacteriológicas. Para estas categorías, la norma NGO 29 001 define dos términos para establecer el nivel máximo y el nivel mínimo aceptable. El *Limite Máximo Aceptable* (LMA), que es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor; y el *Limite Máximo Permisible* (LMP), que es el valor de la concentración de cualquier característica de la calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano (MINECO, 2000).

Cuadro 37. Niveles de las Características fisicoquímicas que debe tener el agua potable según COGUANOR NGO 29-001, la EPA y la OMS. (excepto para el pH, y donde se indique lo contrario, los valores se reportan en mg/L)

Característica	COGUANOR NGO 29-001		EPA	OMS
	LMA	LMP		
Color	5.0 U	50.0 (1)	15	
Turbiedad	5-0 Utn o Utj	25.0 Utn o Utj (2)		
Olor	No rechazable	No rechazable	3	
Sabor	No rechazable	No rechazable		
pH	7.0 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 - 8.5	
Temperatura	18 – 25 °C	No mayor de 34° C		
Sólidos Totales Disueltos (SDT)	500	1,000	500	
Conductividad Eléctrica (a 25 °C)	100 – 750 μS/cm	< 1,500 μS/cm		
Detergentes aniónicos	0.2	1	0.5	
Aluminio (Al)	0.05	0.1	0.05 - 0.2	
Bario (Ba)	---	0.7	2	0.7
Boro (B)	---	0.3		0.5
Calcio (Ca)	75	150		
Zinc (Zn)	3	70	5	
Cloruro (Cl)	100	250	250	
Cobre (Cu)	0.05	1.5	1	
Dureza Total (Ca CO3)	100	500		
Fluoruro (F)	---	1.7	2	1.5
Hierro total (Fe)	0.1	1	0.3	
Magnesio (Mg)	50	150		
Manganeso (Mn)	0.05	0.5	0.05	0.4
Niquel (Ni)	0.01	0.02		
Nitrato (NO_3^-)	---	10	10*	50
Nitrito (NO_2^-)		1	1*	3 - 0.2
Sustancias fenólicas	0.001	0.002		
Sulfato (SO_4^{2-})	100	250	250	

* las mediciones están hechas en N de Nitrato o Nitrito.
(1)u, unidad de color en la escala de platino – cobalto.
(2)UTN, Unidad de turbiedad nefelométrica y UTJ, unidad de turbiedad Jackson.

Siguiendo, las categorías y parámetros establecidos en la norma NGO 29001 se presenta el Cuadro 37 donde se compara los niveles establecidos también por la EPA y la OMS.

Es necesario añadir que en Estados Unidos existe la regulación nacional secundaria del agua potable (NSDWRs o estándares secundarios) las cuales son líneas guía no obligatoria de regulación de contaminantes que pueden causar efectos cosméticos (tales como decoloración de la piel o dientes) o efectos estéticos (tales como sabor, olor o color) en el agua potable. La EPA recomienda sistemas estándares secundarios a sistemas de agua pero no requiere su cumplimiento. En esta regulación secundaria se incluyen: el Aluminio, el Cloro, el Color, el Cobre, la corrosividad, el Fluoruro, Agentes de espuma (detergentes), Hierro, Manganeso, pH, Plata, Sulfatos, Total de Sólidos Disueltos y Zinc.

En el caso de la OMS (2002), no ha establecido límites para el cloro, dureza, pH, sodio, sulfato y total de sólidos disueltos pues no se han visto efectos a la salud humana en los niveles encontrados hasta ahora en agua potable, en tanto que estas características si pueden afectar la aceptabilidad de la población al consumo del agua.

8.6.2 Desde las características bacteriológicas

Con respecto a la calidad microbial, puede verse en el Cuadro 38 que la norma guatemalteca acepta hasta 2.2 colonias de bacterias coliformes en 100 ml de agua, cuando el método utilizado es el de pruebas de tubos múltiples de fermentación. Cuando el método de análisis utilizado es el membranas de infiltración, la norma acepta como límite máximo una colonia en 100 ml de muestra de agua.

Cuadro 38. Valores de línea guía para la verificación de calidad microbial, en 100 ml de muestra de agua, según COUGANOR 29-001, EPA y OMS

Organismos	COGUANOR 29-001+	EPA++	OMS
Toda el agua directamente prevista como potable.			
E. coli o bacteria coliforme termotolerante[b,c]	< 2.2	0	No debe ser detectable
Agua tratada ingresando al sistema de distribución.			
E. coli o bacteria coliforme termotolerante[b]	< 2.2	0	No debe ser detectable
Agua tratada en sistema de distribución.			
E. coli o bacteria coliforme termotolerante[b]	< 2.2	0	No debe ser detectable

+ El análisis es para Coliformes totales y hace referencia al número más probable (NMP) en 100 ml de agua.
++El análisis es para Coliformes totales (incluyendo Coliformes fecales y E. coli), y se expresa en ug/l de muestra y % de muestras que aparecen contaminadas.

8.6.3 Desde los metales pesados

Con respecto a los niveles de metales pesados, en el Cuadro 39 se observa que, con excepción del Pb, la norma COGUANOR NGO 29-001 es más exigente que los niveles establecidos por la EPA y similar a los niveles que establece la OMS.

Cuadro 39. Niveles de metales pesados aceptados en agua potable, según COGUANOR NGO 29-001, EPA y OMS

Metal pesado	COGUANOR NGO 29-001		EPA (mg/L)		OMS
	LMA	LMP (mg/L)	MCLG o TT	MRDL	
Cadmio		0.003	0.005	0.005	0.003
Mercurio		0.001	0.002	0.002	0.001
Plomo		0.01	0	0.015	
Cromo (total)		0.05	0.1	0.1	0.05
Berilio			0.004	0.004	
Antimonio			0.006	0.006	
Arsénico		0.01	7	0.010 al 01/23/06	
Selenio		0.01			
Cianuro		0.07			

8.6.4 Desde los pesticidas

En el caso de los biocidas, básicamente pesticidas usados en agricultura, las tres normas establecen valores muy pequeños para la aceptación del agua. La EPA no establece nivel para el aldrín, compuestos organofosforados y carbamatos, el DDT y el dieldrín, y el 2,4,5 –T sencillamente porque ya han sido prohibidos en los Estados Unidos. En el Cuadro 40 se presentan los biocidas que regula COGUANOR, y se compara con los niveles que exigen la EPA y la OMS.

La OMS (2002) tampoco establece niveles de aceptación para varios pesticidas, en algunos casos, como por ejemplo el Toxafeno, debido a que es poco probable que ocurra en agua potable; y en el caso de otros, como el Heptacloro y Heptacloro epóxido, porque ocurren en concentraciones muy por debajo de aquellos en los cuales se han observado efectos tóxicos.

Cuadro 40. Compuestos biocidas con sus respectivos límites máximos aceptables y límites máximos permisibles (en *u*g/L), según COGUANOR 29-001, EPA y OMS

Pesticida (nombre genérico)	COGUANOR 29-001		EPA		OMS
	LMA	LMP	MCLG	MCL o TT	
Compuestos organofosforados	0	0.1			0.03
Compuestos carbamatos	3	200			
Aldrín		0.03			0.03
Clordano	0.003	0.003	0	0.002	0.2
DDT		1.0			
Dieldrín		0.03			0.03
Endrín		0.2	0.002	0.002	0.6
Heptacloro		0.2	0	0.0004	
Heptacloro epóxido		0.1	0	0.0002	
Lindano		0.2	0.0002	0.0002	0.3
Metoxicloro		20	0.04	0.04	20
Toxafeno		3.0	0	0.003	
Herbicidas clorofenoxi					
2,4-D (2,4 Ácido diclorofenoxiacético)		30	0.07	0.07	30
2,4,5-TP (2,4,5 Ácido triclorofenoxipropiónico)		30	0.05	0.05	
2,4,5-T (2,4,5 Ácido triclorofenoxiacético)		9			9

8.6.5 Calidad del agua de la microcuenca del río San pedro para el consumo humano

Desde el punto de vista de la turbiedad, solo una fuente de agua, el arroyo la pinada, no es apta para consumo humano en la época lluviosa, pues presentó un valor de 26.2 UT arriba del valor 25.0 recomendado por COGUANOR NGO 29-001.

Desde el punto de vista de la temperatura, todos los manantiales son aptos para consumo humano, pues los mismos presentaron valores de 15 a 18.9 °C.

Desde el punto de vista del pH, los sólidos totales disueltos, los elementos menores (Boro, Zinc, Cobre, Hierro y Manganeso), los cationes mayores Ca y Mg, la dureza total, los nitratos, los cloruros y los sulfatos, las aguas de la microcuenca son aptas para consumo humano.

Desde el punto de vista bacteriológico, y tomando de referencia la cantidad de coliformes fecales en 100 ml de agua, los ríos de la microcuenca no son aptos para consumo humano. En cuanto a los manantiales, los manantiales situados en la parte media y que se encuentran sin protección (manantiales de Xöxal,

Manantial de Rolando Parada, Manantial de la Municipalidad y Manantial de Chalá), así como tanques de distribución con fisuras (el tanque que distribuye el agua del Manantial Los Coles hacia la cabecera municipal) presentan contaminación con coliformes fecales arriba del valor aceptado por COGUANOR, por lo que no se recomienda su uso para fines de consumo humano en forma directa. En los manantiales Nimá La Esperanza (que se distribuye a la cabecera municipal y varias aldeas) y Chinacual (que es utilizado por aldea Los Alisos) no se encontró contaminación con coliformes fecales y por lo tanto son aptas para el consumo humano en forma directa.

En cuanto a niveles de metales pesados y de pesticidas organoclorados y organofosforados, las aguas de la microcuenca son aptas para consumo humano.

8.7 Calidad del agua para riego agrícola

8.7.1 Desde sus características fisicoquímicas

La calidad fisicoquímica del agua es importante debido a los efectos perjudiciales que puede provocar en el suelo y al desarrollo y rendimiento de los cultivos agrícolas. Las características fisicoquímicas más importantes son las sales como el Na por su efecto perjudicial al suelo y el Ca y Mg por su efecto antagónico sobre el Na. Por si misma el Na puede ser restrictiva en el uso del agua con fines de riego.

Un agua cuyo contenido de sales es muy alto, representa un alto riesgo de convertir el suelo productivo en un suelo estéril, debido a la acumulación de sal. Para evitar ello, se deben aplicar riesgos que eliminan sal en la misma proporción en que se adicionan al terreno. Al disolverse en las aguas, las sales se desdoblan para formar iones, por lo que se acostumbra describir el análisis de agua en dichos términos. (Sandoval Illescas, J. E., 1989)

Según Tapia Vargas, L. M. *Et. Al.* (S.f.), los parámetros fisicoquímicos más importantes a analizar en el agua para riego son: el pH, la conductividad eléctrica (dS/m), Ca, Mg, Na, Carbonatos y Bicarbontos, Cloruros y sulfatos, Nitratos y Amonio, Boro, Hierro y Manganeso, sólidos en suspensión (meq/L) y la relación de adsorción de sodio.

El resultado del análisis de agua del laboratorio, puede ser sujeto a pruebas sencillas para determinar una aproximación de la calidad de la información:

a) La suma de las concentraciones de cationes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}), debe ser aproximadamente igual a las concentraciones de aniones (Cl^{-}, CO_3^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}).
b) La suma de cationes y la suma de aniones (ambas expresadas en meq/L), debe ser aproximadamente 10 veces la coductividad eléctrica (CE), expresada en mmhos/cm o dS/m.
c) Un pH de 8 o más alto, se asocia con concentraciones elevadas de bicarbonatos (HCO_3^{-})

Otra de las razones principales por los cuales es necesario conocer las características de calidad del agua para riego, se debe a los problemas que se pueden provocar en los sistemas de riego, principalmente el riego por aspersión o el riego por goteo, donde las obturaciones de emisores es el problema más común. Por sus propiedades físicas y químicas, el agua presenta diferentes propiedades las cuales indican su potencial de taponamiento de emisores. Ciertos compuestos como el ácido sulfhídrico tiene el mayor potencial y los carbonatos el menor potencial (Tapia Vargas, *et. al.*, S.f.).

Una de las causas de obturación son los precipitados químicos como sulfatos, fosfatos, carbonatos, bicarbonatos, etc. En este caso se sugiere emplear compuestos químicos correctivos como el HNO_3, H_2SO_4 y HCl. En cada caso es necesario evaluar el costo y la disponibilidad para seleccionar un tratamiento. Existen en el mercado productos orgánicos que también contrarrestan el efecto de sales en el agua, como polimeros orgánicos, ácidos húmicos, etc., de diversas marcas, que han probado ser efectivos (Tapia et al., 2000). Concentraciones de 2 meq/L precipitan y tapan los emisores. Fe y Mn tapan emisores a concentraciones de 0.1 mg/L (Tapia Vargas, *et. al.*, S.f.).

El hierro en presencia de oxígeno, desarrolla rápidamente compuestos reductores que precipitan y son arrastrados por el agua hasta que obstruyen la boquilla del emisor. En aguas con este problema se recomienda airear el agua y construir un canal de decantación hasta un cárcamo para rebombear el agua ya libre de Fe. Las poblaciones bacterianas son frecuentes en canales a cielo abierto los cuales se emplean como redes de drenaje como ocurre en la región de Uruapan, Lombardía, Nueva Italia, cuyas concentraciones bacterianas son de más de 100,000, sobretodo coliformes, *E. coli* y *Klebsiella* sp. (Tapia *et. al.*, 2000).

La salinidad del agua se mide por su conductividad eléctrica (CE), la cual es directamente proporcional a la cantidad de sales. Las unidades son mmhos/cm (antes), o bien dS/m (ahora), ambas unidades son equivalentes.

Las sales disueltas, son compuestos que bajo ciertas condiciones pueden reaccionar entre ellas o con los fertilizantes y producir precipitados que obstruyen los emisores. Las sales se miden con el conductivímetro y sus unidades son mmhos/m o de acuerdo al sistema internacional (SI), dS/m. De acuerdo a su concentración pueden llegar a ser limitantes para la producción agrícola (Cuadro 41).

Las sales con menor riesgo, son los sulfatos de magnesio y calcio, las cuales son poco agresivas con el suelo, en general, las sales que contienen calcio y magnesio son de bajo riesgo. Caso contrario ocurre con el sodio el cual es un verdadero problema por su capacidad agresiva contra la estructura del suelo. El sodio, en combinación con el bicarbonato y el cloro, pueden acabar con un suelo agrícola, afectando la infiltración, la agregación y disolviendo la materia orgánica (Gavande, 1991, citado por Tapia Vargas *et al*, S.f.)

Cuadro 41. Peligro de salinidad para la agricultura por la conductividad eléctrica (CE) y el tipo de sal

CE del agua (dS/m)	Grado de problema	Tipo de Sal	Fórmula	Nivel de riesgo
<0.5	Libre	Sulfato de calcio	$CaSO_4$	1
0.5-1.0	Ligero	Sulfato magnesio	$Mg\ SO_4$	2
1.0-1.5	Moderado	Bicarbonato calcio	$Ca\ (HCO_3)_2$	3
1.5-2.0	Importante *	Cloruro de calcio	$CaCl_2$	4
2.0-2.5	Severo *	Sulfatode sodio	$Na_2\ SO_4$	5
2.5-3.0	Muy severo *	Bicarbonato sodio	$Na\ HCO_3$	6
>3.0	Grave*	Cloruro de sodio	NaCl	7

* depende del tipo de sal. 1 riesgo bajo-7 muy alto riesgo

De acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, las aguas utilizadas para irrigación, se clasifican bajo cuatro criterios principales:

a. El contenido de sales solubles
b. La concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y su efecto en las características físicas del suelo.
c. La concentración de iones tóxicos y su efecto en las plantas de cultivo, como Boro y Cloro.
d. El contenido bacteriológico.

Contenido total de sales solubles:

El efecto nocivo de las sales sobre las plantas se debe principalmente al aumento de la presión osmótica del suelo que está en contacto con las raíces. Por esta razón, desde el punto de vista del contenido de sales se le juzga bajo tres diferentes conceptos.

a. El aumento de la presión osmótica debido a la concentración total de sales
b. El aumento de la presión osmótica en atención a la salinidad efectiva.
c. El aumento de presión osmótica por la salinidad potencial.

Presión Osmótica (PO):

La presión osmótica se estima a través de la medición de la Conductividad Eléctrica (CE) a 25 °C en micromhos/cm o dS/m, que es la unidad aceptada para formar los índices de clasificación por sales. La relación que existe entre la CE y la concentración de sales es 1mhos/ cm es igual a 64,000 mg/L de sal.

Salinidad Efectiva (SE):

Es una estimación más apegada a la realidad del peligro potencial de las sales del agua, puesto que toma en cuenta la precipitación probable de los carbonatos de calcio y magnesio y parte de los sulfatos de calcio, que al llevarse a efecto dejan influir en el recargo de la presión osmótica.

Para la primera clase no existe peligro de ensalitramiento, por lo que no se ven afectados los rendimientos de los cultivos. En las otras clases es necesario aumentar las condiciones de lavado, contar con buen drenaje y utilizar dicha agua con otra que le ayude a disminuida la salinidad presente.

El cálculo de la SE se realiza en meq/L, con basa en los siguientes criterios:

Si $Ca^{2+} > (CO_3^- + HCO_3^- + SO_4^{2-})$ entonces:
SE = Sumatoria de Cationes - $(CO_3^- + HCO_3^- + SO_4^{2-})$

Si $Ca^{2+} < (CO_3^- + HCO_3^- + SO_4^{2-})$ pero $Ca^{2+} > (CO_3^- + HCO_3^-)$, entonces:
SE = Sumatoria de Cationes + Ca^{2+}

Si $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) < (CO_3^- + Mg2+)$, entonces
SE = Sumatoria de Cationes - $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$

Si $Ca^{2+} < (CO_3^- + HCO_3^-)$, pero $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (CO_3^- + HCO_3^-)$, entonces:
SE = Sumatoria de Cationes - $(CO_3^- + HCO_3^-)$

Si la Sumatoria de Cationes es significativamente menor a la Sumatoria de Aniones, entonces se emplea en la SE la Sumatoria de Aniones en lugar de la Sumatoria de Cationes.

El peligro de sodio del agua de riego se mide por la relación de adsorción de sodio (RAS) y el carbonato de sodio residual (CSR). El RAS se obtiene de:

Salinidad Potencial (SP):

Al reducirse la humedad del suelo, las sales existentes en la solución van gradualmente precipitándose quedando en última instancia los cloruros y parte de los sulfatos que presentan mayor solubilidad. El valor se cuantifica mediante el empleo de la siguiente relación:

$SP = Cl + 0.5 * SO_4^{2-}$, en meq/L

El efecto de la SP se observa en la permeabilidad del suelo.

Concentración relativa del Sodio con respecto a otros cationes:

La acumulación del sodio en el suelo causa dos problemas:

a. En forma directa como ión al ser absorbido y acumulado es tóxico para las plantas de cultivo, también altera las funciones nutricionales al impedir la asimilación del calcio.
b. Indirectamente al ser adsorbido por la partícula de arcilla sustituye al calcio y magnesio de ella, modificando las condiciones físico-químicas, favoreciendo la formación de una estructura adversa a la permeabilidad y al manejo del suelo.

Se han propuesto tres índices para estimar los efectos del sodio en el suelo:

La relación de Adsorción de Sodio (RAS); El Carbonato de Sodio Residual (CSR); y, El Porcentaje de Sodio Posible (PSP)

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS):

Los principales cationes son Calcio, Magnesio, Sodio, con pequeñas cantidades de Potasio. Si la proporción de Sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación , y así predomina el Calcio y Magnesio, el peligro es menor.

El RAS se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Donde:

Na, Ca y Mg = concentración del elemento en meq/L

Carbonato de Sodio Residual (CRS):

Este índice se cuantifica mediante la siguiente ecuación:

$$CSR = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Donde los elementos entre paréntesis están en meq/L.

Porcentaje de Sodio Posible (PSP):

Este índice es cuantificado mediante la siguiente expresión:

$PSP = \frac{Na^+ * 100}{SE}$, en donde el Na^+ y la SE se expresan en meq/L.

Concentración de iones tóxicos:

Existen ciertos elementos que en bajas concentraciones son necesarias para el desarrollo de las plantas, pero que al llegar a ciertos niveles pasan a constituir un peligro para el desarrollo de las mismas, entre éstos se encuentran principalmente el Boro y el Cloro (Ver Cuadro 42):

Boro: se encuentra en casi todas las aguas naturales y su concentración varía desde trazas hasta varios miligramos por litro. Las trazas de Boro son esenciales para el crecimiento de la planta, pero las concentraciones superiores a los 0.5 mg/L son consideradas deletéreas para los cítricos, nogales, y frutos de hoja caediza. Para las plantas más tolerantes, una concentración que pase de 4 mg/L se considera peligrosa. Las concentraciones tóxicas de Boro que se encuentran en algunas aguas de riego, obligan a tener presente este elemento en su clasificación.

Cloro: el ión cloruro es especialmente tóxico en árboles frutales como cítricos. Por su contenido de cloruros, las aguas se clasifican en tres clases; en la primera calidad no existe peligro de ensalitramiento por lo que no se ven afectados los rendimientos de los cultivos. En las otras dos calidades, es necesario aumentar las condiciones de lavado, tener un buen drenaje o utilizar mucho agua mezclada con otra que ayude a disminuir la salinidad que presenta.

Cuadro 42. índices de clasificación del agua a utilizarse en riego, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

No.	Índice	Clase	Rango	Clasificación del agua
1	C.E.	C1	100 a 250	Baja salinidad
	Conductividad	C2	250 a750	Salinidad media
	Eléctrica	C3	750 a 2250	Altamente salina
		C4	> 2250	Muy altamente salina
2	S.E.	Primera clase	< 3 meq/L	Buena, uso sin peligro
	Salinidad efectiva	Segunda clase	3 a 15 meq/L	Uso condicionado
		Tercera clase	> 15 meq/L	Uso peligroso, no recomendable
3	S.P.	Primera clase	< 3 meq/L	Buena
	Salinidad potencial	Segunda clase	3 a 15 meq/L	Condicionada
		Tercera clase	> 15 meq/L	Peligrosa
4	R.A.S.	S1	0 a 10	Con poco sodio, ; puede usarse en casi todos los suelos
	Relación de Adsorción de Sodio	S2	10 a 18	Con cantidad medida de sodio; presenta peligro en suelos arcillosos
		S3	18 a 26	Con cantidades elevadas de sodio; tendencias a acumular sodio.
		S4	> 26	Con cantidades muy elevadas de sodio; inadecuadas para el riego.
5	C.S.R.		< 1.25 meq/L	Buenas
	Carbonato de Sodio		1.25 a 2.5 meq/L	Condicionadas
	Residual		> 2.5 meq/L	No son buenas para riego
6	P.S.P.		< 50 %	Buenas, pueden emplearse sin peligro
	Porcentaje de Sodio Posible		> 50 %	Condicionada
7	Boro		< 0.3 mg/L	Buena
			0.3 a 4.0 mg/L	Condicionada
			> 4.0 mg/L	No recommendable
8	Cloro		< 1.0 meq/L	Buenas
			1.0 a 5.0 meq/L	Condicionadas
			> 5.0 meq/L	Peligrosas

Tomado de: Canastuj Coyoy, M. M. (1999)

De acuerdo con la metodología de USDA, si el porcentaje que la sumatoria de CO_3^- + HCO_3^- representa respecto a la Sumatoria de los Aniones es mayor al 20 %, y la Conductividad Eléctrica es mayor a 250 dS/m, entonces se procede a calcular los índices de SE, SP, CSR, PSP.

Una forma más simple de clasificar el agua para riego, esta dada por el diagrama de clasificación de aguas para riego que se basa en la CE (micromhos/ cm (CE * 10^6) y en la RAS.

De acuerdo con Tapia Vargas, et. al. (S.f.), los niveles de RAS, HCO_3^- y CSR llevan a cierta interpretación que implican determinado manejo del agua que se pretende utilizar en el riego, lo cual se presenta en el Cuadro 43.

Cuadro 43. Interpretación del nivel de riesgo del RAS y bicarbonatos en el agua

RAS	Nivel de problema	Solución	HCO_3^- (meq/L)	Nivel de problema	CSR	Nivel de problema
<3	Prácticamente libre de Na	No requiere enmienda	<0.6	Ninguno	<1.25	Agua recomendable
3-6	Moderado	Aplicación esporádica de yeso	0.6-1.5	Ninguno en riego rodado	1.25-2	Recomendable con manejo
6-9	Importante	Frecuente aplicación de yeso	0.6-3.0	Moderado en riego presurizado	>2	No recomendable
9-12	Severo	Requiere yeso dependiendo del nivel de Na	1.5-8.5	Moderado en riego rodado		
>12	Muy severo	Yeso	>8.5	Severo		

Tomado de Tapia Vargas, et. al. (S.f.)

8.7.2 Desde el punto de vista bacteriológico

A partir de que aguas residuales empezaron a ser utilizadas en la agricultura, y a partir de que enfermedades bacteriológicas empezaron a ser transmitidas por vegetales consumidos en crudo y regados con esta agua, se establecieron directrices de calidad microbiológica del agua de riego. La Enviromental Protectión Agricultural (EPA) de los Estados Unidos, establece que los coliformes fecales (medidos como media geométrica número de coliformes fecales en una muestra de 100 ml de agua de riego), debe ser menor que 1,000; en tanto que la media geométrica número de huevos de nematodos intestinales en una muestra de un litro de agua de riego debe ser menor que 1. Desde luego, su uso en estas condiciones de calidad implica el uso de determinados tratamientos para lograr la calidad microbiológica exigida.

8.7.3 Las aguas de la microcuenca del río San Pedro y su calidad para riego

Para cada uno de los meses de muestreo (marzo, abril y julio) se han hecho los análisis de cationes y aniones a partir de los cuales se han determinado los distintos parámetros de clasificación. La comparación de estos resultados con los rangos de clasificación para cada uno de los parámetros permite concluir respecto a la calidad de agua para riego de la microcuenca del río San Pedro.

Con respecto a los parámetros en el mes de marzo (Cuadro 44), puede verse que, con respecto a la CE, tres fuentes de agua (un arroyo, un manantial y un río) se clasifican de baja salinidad pues sus valores están abajo de 250. Las otras cuatro fuentes, más la descarga de aguas mieles, se clasifican como de salinidad media. Con respecto a los demás parámetros, excepto la descarga de aguas mieles cuyo uso para riego son condicionadas debido a su Salinidad Efectiva (SE), las aguas de la microcuenca del río San Pedro son adecuadas para el riego.

Respecto al diagrama de clasificación de aguas para riego, las tres fuentes señaladas se clasifican como C1S1, lo que significa que el agua es de baja salinidad (C1) y baja en sodio (S1), con lo cual puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad que se desarrolle salinidad; se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad. Asimismo, puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable; no obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Las otras cuatro fuentes de agua se clasifican como C2S1, es decir, aguas de salinidad media (C2) y baja en sodio (S1). Esto significa que puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales. Respecto al sodio, tendrá el mismo comportamiento descrito en el párrafo anterior.

Cuadro 44. Parámetros de calidad del agua para riego en 8 muestras de agua de la micro cuenca del río San Pedro, en marzo de 2004 (donde no se especifica, las dimensiónales se expresan en meq/L)

No.	Origen de la muestra	Altitud (msnm)	SE	SP	RAS (adim.)	CSR	PSP (%)	CE (ds/m)	B (mg/L)	Cl (mg/L)
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	0.52	0.36	0.14	-0.44	34.2	320	0.27	0.36
2	Río San Pedro antes de ingresar al Pueblo de SPN	1560	0.36	0.32	0.10	0.04	26.8	290	0.06	0.32
3	Arroyo a la Pinada	1565								
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	0.51	0.25	0.12	-0.39	23.0	190	0.04	0.25
5	Río Nimá, abajo de carretera a Guachipilín	1575	0.56	0.38	0.08	0.33	22.0	320	0.04	0.38
6	Manantial terreno de Marcos Bravo	1600								
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	0.23	0.22	0.04	-0.13	17.2	200	0.03	0.22
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	0.37	0.25	0.10	-1.01	36.9	360	0.03	0.25
9	Manantial Xémal El Aguacate	1945	0.27	0.25	0.10	0.50	24.1	143	0.02	0.25
10	Manantial Niyá SPN, proyecto de agua arriba Escuela	1970								
11	Manantial Chinacual	1991								
12	Manantial Nimá La Esperanza	2075								
13	Manantial Balencruz	2300								
14	Aguas mieles beneficio de café	1572	8.40	0.00	0.11	-2.31	1.47	650.00		0.00

Para 13 fuentes muestreadas en el mes de abril (Cuadro 45), la CE nuevamente mostró limitaciones de uso en algunas fuentes de agua.

Cuadro 45. Parámetros de calidad del agua para riego en 13 muestras de agua de la micro cuenca del río San Pedro, en abril de 2004 (donde no se especifica, las dimensionales se expresan en meq/L)

No.	Origen de la muestra	Altitud (msnm)	SE	SP	RAS (adim.)	CSR	PSP (%)	CE (ds/m)	CI
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	0.21	0.05	0.135	0.39	81.0	324	0
2	Río San Pedro antes de ingresar al Pueblo de SPN	1560	0.91	0.07	0.105	-0.81	13.2	296	0
3	Arroyo a la Pinada	1565	0.40	0.04	0.269	0.82	65.0	239	0
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	0.55	0.00	0.127	-0.43	21.7	221	0
5	Río Nimá, abajo de carretera a Guachipilín	1575	0.23	0.06	0.150	1.03	78.3	351	0
6	Manantial terreno de Marcos Bravo	1600	0.13	0.04	0.113	0.61	92.3	266	0
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	0.07	0.04	0.061	0.39	85.7	208	0
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	0.17	0.26	0.118	0.21	94.1	390	0
9	Manantial Xémal El Aguacate	1945	0.08	0.00	0.033	0.47	87.5	195	0
10	Manantial Niyá SPN, proyecto de agua arriba Escuela	1970	0.03	0.00	0.088	0.62	93.7	149	0
11	Manantial Chinacual	1991	0.03	0.04	0.031	0.39	85.7	215	0
12	Manantial Nimá La Esperanza	2075	0.03	0.03	0.031	0.13	85.7	226	0
13	Manantial Balencruz	2300	0.05	0.02	0.017	-0.02	40.7	247	0

Respecto a los demás parámetros, todas las fuentes son aptas para riego. Desde el punto de vista del diagrama de clasificación de aguas para riego, dos arroyos, todos los manantiales y uno de los ríos (8 fuentes de agua) se clasifican como C1S1. En tanto que un manantial y tres ríos se clasifican como C2S1.

Puede verse que tres de las fuentes de agua, también muestreadas en marzo, presentaron la misma limitación de la CE.

Las mismas 13 fuentes de agua muestreadas en el mes de julio (Cuadro 46), no presentan ninguna limitación para riego y se clasifican como C1S1. Sin duda, esto se debe a que las aguas de las lluvias, que aumentaron los caudales, diluyeron la concentración de sales en todas las fuentes y de ahí que la CE en este mes no representó ninguna limitación.

Cuadro 46. Parámetros de calidad del agua para riego en 13 muestras de agua de la micro cuenca del río San Pedro, en julio de 2004 (donde no se especifica, las dimensiónales se expresan en meq/L)

No.	Origen de la muestra	Altitud (msnm)	SE	SP	RAS (adim.)	CSR	PSP (%)	CE (ds/m)	Cl
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	1239	0.06	0.03	0.084	0.29	175.8	211	0
2	Río San Pedro antes de ingresar al Pueblo de SPN	1560	0.17	0.08	0.054	0.19	41.3	188	0
3	Arroyo a la Pinada	1565	0.14	0.07	0.201	0.02	145.6	132	0
4	Arroyo detrás de la biblioteca	1570	0.12	0.03	0.084	-0.03	69.9	212	0
5	Río Nimá, abajo de carretera a Guachipilín	1575	0.24	0.04	0.018	-0.21	8.9	161	0
6	Manantial terreno de Marcos Bravo	1600	0.43	0.02	0.091	-0.31	26.1	167	0
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	1692	0.31	0.06	0.037	-0.25	13.9	250	0
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	1692	0.08	0.04	0.038	-0.02	61.9	161	0
9	Manantial Xémal El Aguacate	1945	0.25	0.14	0.019	-0.22	8.5	294	0
10	Manantial Niyá SPN, proyecto de agua arriba Escuela	1970	0.22	0.02	0.055	-0.15	25.9	206	0
11	Manantial Chinacual	1991	0.25	0.07	0.018	-0.22	8.3	139	0
12	Manantial Nimá La Esperanza	2075	0.20	0.03	0.038	-0.14	23.3	224	0
13	Manantial Balencruz	2300	0.29	0.03	0.017	-0.15	37.8	144	0

En cuanto a la calidad bacteriológica para riego, en el Cuadro 47 se resumen los resultados de coliformes fecales encontrados en distintas fuentes de agua de acuerdo a los muestreos de 2003 y en 2004.

Cuadro 47. Coliformes fecales en muestras de 19 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro

No.	Fuente de agua	Coliformes fecales/ 100 ml			
		Epoca seca 2003	Epoca lluvias 2003	Epoca seca 2004	Epoca lluvias 2004
1	Manantial Niyá SCh				0
2	Manantial Belencruz SCh				0
3	Manantial Niyá SPN		0		0
4	Manantial Nimá La Esperanza	0	0	0	0
5	Manantial Los Coles	0	Incontables	0	Incontables
6	Manantial Chinacual	0		0	45
7	Manantial Chalá 1, Chimiche				0
8	Manantial Chalá 2, Chimiche				60
9	Manantial Chalá 3, Chimiche				8
10	Manantial Particular 1		8	0	
11	Manantial Particular 2		8		
12	Manantial Particular 3		12		
13	Manantial Particular 4			0	0
14	Manantial Particular 5			68	Incontables
15	Manantial Particular 6			6	
16	Manantial 7				0
17	Río Chinacual			Incontables	Incontables
18	Río Niyá			Incontables	Incontables
19	Río Nimá			0	Incontables

Puede observarse que para las muestras tomadas en la época seca de 2004, las aguas de todos los manantiales y uno de los ríos son aptas para riego. En otros dos ríos muestreados, el reporte de coliformes fecales fue incontable, lo cual se debe a que el laboratorio de la Jefatura de Área De Salud de Huehuetenango no realiza un conteo completo cuando la cantidad de coliformes fecales desarrollada en el cultivo de laboratorio es mayor a 200, con lo cual no se puede concluir respecto a la aptitud de esta agua para el riego.

En el caso de la época de lluvias de 2004, dos manantiales y tres ríos muestreados reportaron un número incontable de coliformes fecales y no se puede concluir respecto a su aptitud para riego. Otros diez manantiales mostraron ser aptas para riego pues el número de coliformes fecales encontrados no rebasó lo establecido por la EPA.

8.8 Las normas para los vertidos de aguas residuales y de beneficiado de café

En 1997, en Guatemala se discutía la propuesta de normas de aguas residuales (AGISA, 1997) pues en Guatemala no se contaba con este tipo de normas. Dada la carga de contaminante que se libera en las aguas residuales, era necesario fijar los límites permisibles de los contaminantes a aceptar en este tipo de aguas para que pudieran ser vertidos al ambiente (cuerpos de agua o directamente al suelo) y minimizar así los daños, tanto a la salud del ambiente y principalmente a la del ser humano. Los resultados de esta discusión, sin que todavía fueran aprobados como una norma para el país, se presentan en el Cuadro 48.

Cuadro 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.

Parámetros	Aguas municipales				Aguas de beneficiado de café			
	Valor promedio	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Valor promedio	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Sólidos en suspensión (mg/L)	240.0	125	100.0	60.0	1,826.0	125.0	100.0	60.0
DBO_5 (mg/L)	253.0	150	50.0	40.0	6,075.0	250.0	120.0	100.0
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	17,001,667.0	100,000	10,000.0	1,000.0				
DQO (mg/L)	351.0	200.0	100.0	80.0	7,000.0	500.0	250.0	200.0
P total (mg/L)	6.74	6.74	3.0	2.0	8.0	8.0	3.0	2.0
N total (mg/L)	42.0	42.0	15.0	10.0	20.0	20.0	15.0	10.0

Etapa 1 corresponde a un tratamiento primario
Etapa 2 corresponde a un tratamiento secundario
Etapa 3 corresponde a un tratamiento terciario

Una comparación con esta propuesta, permite ver que en la microcuenca del río San Pedro, dos fuentes de agua muestreadas sobrepasan algunos de los parámetros. Uno es el caso de las aguas mieles del beneficiado de café de Odilón Villatoro, que es vertido a una fuente de agua de manera directa, es decir sin ningún tipo de tratamiento. Para este vertido de aguas mieles, el DQO es de 10,923 mg/L, el DBO_5 es de 550 y el P total es de 8.71 mg/L.

Por otra parte, aunque no se realizó un análisis de estos parámetros para las aguas residuales de la municipalidad de San Pedro Necta, las muestras de tres ríos analizadas en el mes de marzo (río Nimá, río San Pedro antes de ingresar la cabecera municipal y punto de aforo del río San Pedro) presentaron altos niveles de DQO, correspondientes a 140, 173 y 260 mg/L, respectivamente. Puede verse que en el punto de aforo, el río San Pedro se está comportando como un vertido de aguas residuales pues sobrepasa el límite permisible propuesto. Estas mismas fuentes muestreadas en abril, reportaron bajos niveles de DQO, lo cual evidencia que son principalmente las aguas del beneficiado de café las que alteran este parámetro en los ríos.

Para los parámetros sólidos en suspensión, P total y N total, incluidos en la propuestos de norma, los niveles están por debajo del valor propuesto para las aguas residuales que han sido sometidas a un tratamiento terciario.

8.9 El tipo de aguas de la microcuenca del río San Pedro

En el Cuadro 49 se muestra el tipo químico de las aguas de la microcuenca. Con excepción de la muestra de descarga de aguas mieles del café, tomada en marzo, puede verse la presencia fuerte de Calcio y Magnesio influyendo en el tipo de aguas. Estos tipos de aguas están reflejando la dinámica hidroquímica a partir de que en la mineralogía de la zona prevalece la roca Carbonatada Cálcica y la Dolomita (Ca-Mg-CO_3).

Sólo en uno de los manantiales (código 13) no se encontró presencia de bicarbonatos o carbonatos en abril, posiblemente a que los flujos subterráneos de agua son tan mínimos que la dinámica de disolución de la roca carbonatada se reduce, y se ve favorecido durante la época de lluvias (julio) donde se observa que el tipo químico pasa a ser bicarbonatada cálcica-magnésica.

En cuanto a la descarga de aguas mieles, la acidez del fruto incorporada a las aguas, determina una neutralización del efecto de bicarbonatos y carbonatos, de manera que en las aguas prevalecen los cationes

mayores, y principalmente el Potasio (K) mayormente requerido por la planta en los procesos de maduración y desarrollo del fruto.

Cuadro 49. Tipo químico de las fuentes de agua muestreadas en 2004, en la microcuenca del río San Pedro

No.	Fuente de Agua	Tipo químico de aguas		
		Marzo	Abril	Julio
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	$Ca\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$
2	Río San Pedro antes de ingresar a la cabecera municipal	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
5	Río Nimá, antes de ingresar al río San Pedro	$Ca\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	$Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
14	Aguas mieles del beneficio de Café	K-Ca-Mg		
3	Arroyo hacia la Pinada		$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
4	Arroyo detrás de la biblioteca	$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$
6	Manantial Terreno de Marcos Bravo		$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
9	Manatial terreno Sr. De Xémal	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
10	Manantial Niyá SPN		$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$
11	Manantial Chinacual		$Ca\text{-}CO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
12	Manantial Nimá		$Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$
13	Manantial Balencruz		Ca-Mg	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$

$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$ Aguas bicarbonatadas, carbonatadas cálcico-magnésicas.
$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ Aguas carbonatadas-bicarbonatadas cálcico magnésicas.
$Ca\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$ Aguas Bicarbonatadas-carbonatadas cálcicas.
$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$ Aguas Bicarbonatadas cálcico-magnésicas.
$Ca\text{-}HCO_3$ Aguas bicarbonatadas cálcicas.
$Ca\text{-}CO_3$ Aguas carbonatadas cálcicas.
$Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3$ Aguas carbonatadas cálcico magnésicas.
$Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ Aguas carbonatadas-bicarbonatadas cálcicas.
Ka-Ca-Mg Aguas minerales Potásico-cálcico-magnésicas.
Ca-Mg Aguas cálcico-magnésicas.

9. LAS ESTRATEGIAS Y ACCIONES DE MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El manejo del agua se entiende como el uso, aprovechamiento y explotación del agua para la satisfacción de las necesidades o intereses presentes en un momento dado, en una sociedad específica, de manera tal que se mantengan y se mejoren la cantidad y la calidad del agua tanto para las generaciones actuales y futuras, garantizando al mismo tiempo la reproducción del ciclo hidrológico, de los ciclos ecológicos y de la vida acuática. Es decir, aquel conjunto de acciones racionales de uso, aprovechamiento y explotación que conducen al ordenamiento integrado de los recursos hídricos, según el concepto del BID (1998) "*... los distintos proyectos o actividades son el resultado de un proceso en que se tiene en cuenta todos los usos, incluido el medio ambiente. Trata de resolver los conflictos entre usuarios y usos mediante una mayor oferta, pero también mediante la innovación institucional y la ordenación de la demanda. Por lo general se presta mejor a los adjetivos "global", "ecológicamente consciente", y "orientado a los incentivos", y "participatorio" en cuanto a los recursos hídricos a que tienen que estar asociadas a fin de ser sostenibles.*"

A partir de ello, y para ser coherentes con las políticas nacionales y regionales, el manejo del agua debe estar en concordancia con el plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos del istmo centroamericano –PACADIRH-, avalada por los gobiernos de la región en 1997 (CCAD, 1998). El principal objetivo de este plan de acción es: *"promover el desarrollo de los recursos hídricos del istmo centroamericano dentro del contexto del plan nacional de desarrollo social y económico de los países sobre la base del uso racional y sostenible y de la planificación y gestión integradas del agua"*. Este plan de acción define como uso racional: la utilización apropiada, la eficiencia que evita el desperdicio y la equidad como función social que ampara el derecho igualitario al uso y libre acceso de todos a un recurso común; y define que el uso sostenido implica la efectividad o máximo provecho, la protección para mantener su calidad en armonía con la preservación del medio ambiente, y la conservación que garantice el uso indefinido en beneficio de las presentes y futuras generaciones.

A continuación se plantean algunos elementos necesarios a contemplar en un plan de manejo local del recurso hídrico, mismo que debe desarrollarse en la visión de resolver los problemas actuales de manejo del agua y prever la necesidad de agua de las generaciones futuras en un marco de preservación y conservación del recurso en sí mismo y en su utilidad ecológica.

9.1 Los usos del agua

La Figura 49 muestra la ubicación de los distintos proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos en al microcuenca del río San Pedro: para consumo humano, riego, recreación y cultivo de peces.

9.1.1 Agua para consumo humano

Existe un total de 29 proyectos relacionados con la microcuenca del río San Pedro. Veintiséis de estos proyectos son utilizados dentro de la microcuenca y tres son utilizados fuera de la microcuenca.

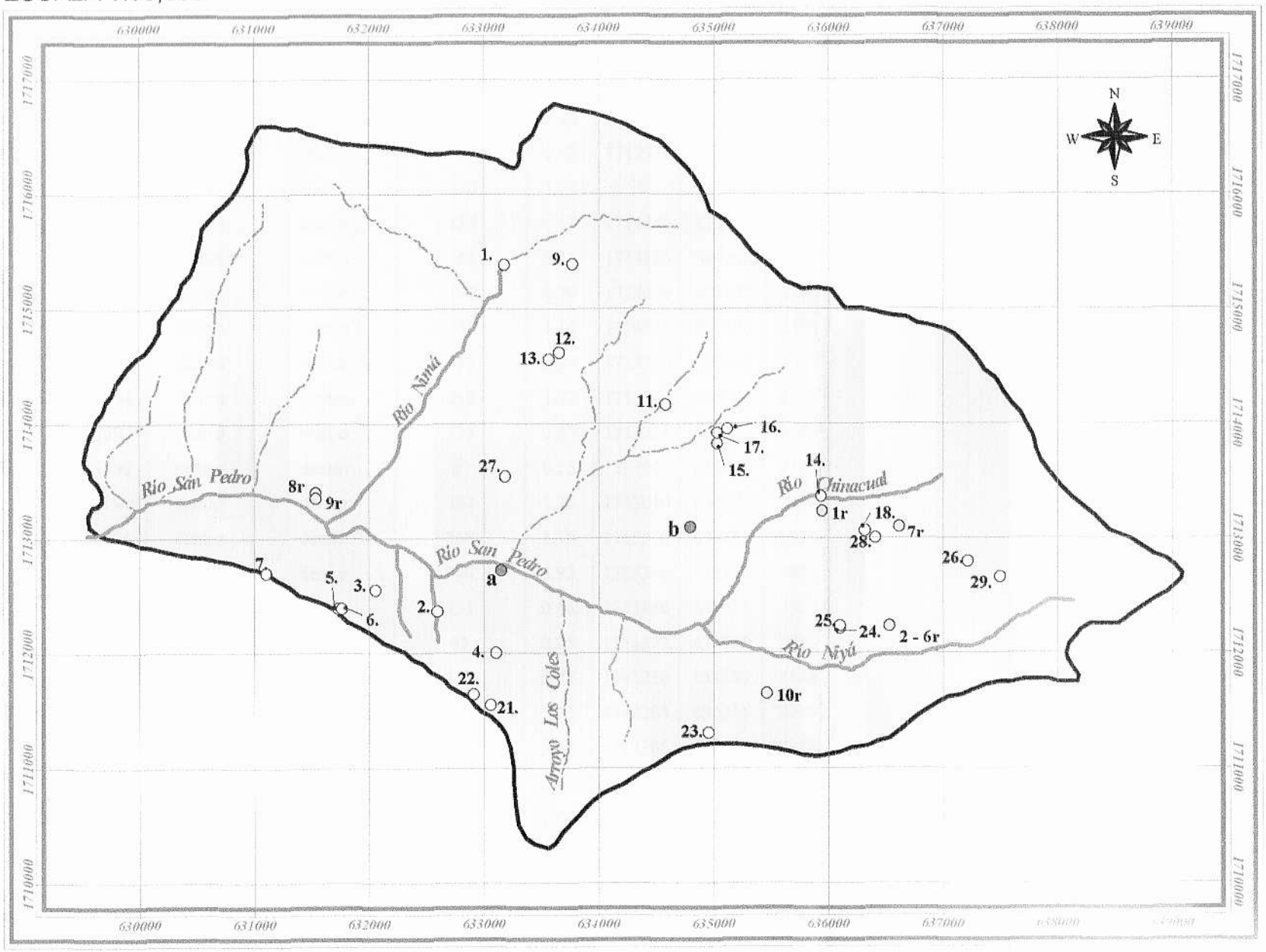
Siete de los proyectos dentro de la microcuenca utilizan aguas provenientes de fuentes ubicadas fuera de la microcuenca.

En el Cuadro 50 puede verse que el total de agua suministrado en estos proyectos relacionados con la microcuenca, asciende a 81.44 L/s, equivalentes a 0.0814 m^3/s.

Sin embargo, 6.2 L/s de agua son movilizados a proyectos ubicados fuera de la microcuenca, En tanto que 75.23 L/s son aguas utilizadas en proyectos ubicado dentro de la microcuenca. Del caudal de agua utilizado en los proyectos ubicados dentro de la microcuenca, 4.53 L/s provienen de fuentes de agua (manantiales) ubicados fuera de la microcuenca. Lo que da un saldo negativo de 1.67 L/s de aguas que son movilizadas fuera de la microcuenca. Es decir, de un caudal de 81.44 L/s utilizados en los proyectos de agua para consumo humano relacionados con la microcuenca, 1.67 L/s no circulan en la microcuenca, de manera que un caudal total de 79.77 L/s es movilizado en los proyectos de agua para consumo humano dentro de la microcuenca.

81.44 L/s abastecen de agua para consumo humano a un total de 12,821 personas. 2,111 personas habitan fueran de la microcuenca y se abastecen con un caudal de 6.2 L/s. En tanto que 10,510 personas que habitan dentro de la microcuenca se abastecen con un caudal de 75.24 L/s.

ESCALA 1:50,000



1000 0 1000 2000 Metros

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA
CON ESPECIALIZACIÓN EN PLANIFICACIÓN Y MANEJO
DEL RECURSO HÍDRICO EN AGRONOMÍA

LEYENDA

Límite de microcuenca

Tipo de corriente

Permanente

Intermitente

Proyectos para consumo humano

1. Cabecera municipal
2. Cabecera municipal
3. Cabecera municipal
4. La Pinada Sector 1
5. La Pinada Sector 2
6. La Pinada, sector 3
7. La Pinada, sector 3
9. Vista Hermosa
11. Tzalay
12. La Laguna, Tanque 2
13. La Laguna, Tanque 1
14. Los Alisos
15. Chinacual, tanque 1
16. Chinacual, tanque 2
17. Chinacual, tanque 3
18. Nimá
19. Tapix
20. Guachipilín
21. Tepán Los Coles
22. Tepán Los Coles
23. Los Coles
24. Buena Vista Los Coles
25. Niyá San Pedro Necta
26. Niyá, Santiago Chimaltenango
27. Canoítas, San Pedro Necta
28. Canoítas, SPN
29. Chepón, Santiago Chimaltenango

Proyectos con fines de riego

- 1r Chinacual
- 2-6r Niyá, San Pedro Necta
- 7r Niyá, Santiago Chimaltenango
- 8-9r Río Nimá
- 10r El Aguacate Los Coles

Proyectos con fines de recreación

- a Aldea Los Alisos
- b Zona de Las Vegas

Proyecto de cultivo de peces

- b Zona de Las Vegas









Proyección Universal Transversal Mercator
Elipsoide WGS-84 Zona 15
Datum WGS-84
Distancia Horizontal y Vertical de Cuadrícula: 1000 m.

Cuadro 50. Características de los proyectos de agua para consumo humano relacionados con la micro cuenca del río San Pedro

No.	Comunidad/ Proyecto	Año de inicio	Ubicación proyecto**	Ubicación fuente de agua**	personas que se abastecen	Caudal Lps	Coordenadas		altitud msnm
							N	W	
1	Cabecera municipal		dentro	dentro	2404	44.39	1715390	633135	1945
2	Cabecera| municipal		dentro	dentro	1057	0.25	1712400	632560	1560
3	Cabecera municipal	2003	dentro	dentro	127	0.44	1712615	631990	1687
4	La Pinada Sector 1	2000	dentro	fuera	122	0.08	1711960	633090	1922
5	La Pinada Sector 2	1980	dentro	fuera	250	1.01	1712385	631680	1783
6	La Pinada, sector 3	1996	dentro	fuera	122	0.75	1712400	631680	1781
7	La Pinada, sector 3	1996	dentro	fuera	73	0.53	1712730	631015	1713
8	Siete Cerros+	2000	dentro	fuera	630	1.75			
9	Vista Hermosa La Laguna	1999	dentro	dentro	134	0.15	1715355	633600	2244
11	Tzalay	1986	dentro	dentro	365	0.55	1714165	634600	2087
12	La Laguna, Tanque 2	2000	dentro	dentro	147	0.70	1714690	633670	2113
13	La Laguna, Tanque 1	1984	dentro	dentro	258	1.85	1714620	633590	2105
14	Los Alisos	1970	dentro	dentro	733	2.90	1713350	635925	1970
15	Chinacual, tanque 1	1984	dentro	dentro	219	1.72	1713940	635060	2116
16	Chinacual, tanque 2	1997	dentro	dentro	133	0.50	1713921	635028	2140
17	Chinacual, tanque 3	1999	dentro	dentro	80	0.25	1713925	635030	2138
18	Nimá	1984/89	dentro	dentro	762	1.25	1713010	636252	2380
19	Tapix+	1986	dentro	dentro	268	1.10	1715390	633135	1945
20	Guachipilín	1979	dentro	dentro	746	3.95	1715390	633135	1945
21	Tepán Los Coles	2000	dentro	fuera	151	0.16	1711460	633055	2084
22	Tepán Los Coles	2003	dentro	fuera	95	0.25	1711572	632955	2026
23	Los Coles	2003	dentro	dentro	670	0.78	1711230	634880	2158
24	Buena Vista Los Coles+		dentro	dentro	286	5.75	1712208	636513	2075
25	Niyá, SPN		dentro	dentro	510	3.56	1712208	636513	2075
26	Niyá, SCh		dentro	dentro	168	0.61	1712715	637280	2120
27	Canoítas, SPN	1994	fuera	dentro	997	2.60	1713345	633135	1945
28	Canoítas, SPN	2002	fuera	dentro	839	1.55	1712975	636270	2340
29	Chepón, SCh+		fuera	dentro	275	2.05	1712680	637620	2180
29	**Total**				**12621**	**81.44**			

+ Volumen disponible estimado con base a la población.
** Esta ubicación es respecto a la microcuenca.
SPN significa San Pedro Necta y SCh significa Santiago Chimaltenango.
Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo realizado del 26 de abril al 5 de mayo de 2004.

9.1.2 Agua para riego

El riego es otro uso del agua presente en la microcuenca. Con estos fines, existen varios proyectos que movilizan un caudal de 32.5 L/s, lo que abastece a 117 familias.

Cuadro 51. Proyectos de riego en la micro cuenca del río San Pedro

No.	Aldea	Lugar de donde proviene el agua	Ubicación Proyecto++	Familias que se abastecen	Caudal Lps	Coordenadas		altitud msnm
						N	W	
1	Los Alisos	Chinacual	dentro	108	20.9	1713350	635925	1970
2	Captación familiar	Niyá, SPN	dentro	1	3.2	1712208	636513	2075
3	Captación familiar	Niyá, SPN	dentro	1	1.55	1712208	636513	2075
4	Captación familiar	Niyá, SPN	dentro	1	1.5	1712208	636513	2075
5	Captación familiar	Niyá, SPN	dentro	1	2.25	1712208	636513	2075
6	Captación familiar	Niyá, SPN	dentro	1	1.49	1712208	636513	2075
7	Captación familiar	Niyá, SCh	dentro	1	0.7	1713105	636610	2370
8	Captación familiar	Río Nimá	dentro	1	0.26	1713375	631510	1380
9	Captación familiar	Río Nimá	dentro	1	0.26	1713350	631488	1380
10	Captación familiar	El Aguacate Los Coles	dentro	1	0.49	1711640	635480	1991
		Total		**117**	**32.5**			

++ Esta ubicación es respecto a la microcuenca.
Fuente: elaboración propia con base en datos de aforos realizados del 26 de abril al 5 de mayo de 2004.

El proyecto de riego más grande existente en la microcuenca, es el proyecto de agua para riego que pertenece a la comunidad Los Alisos con una infraestructura que llega a 108 familias y moviliza un caudal de 20.9 L/s en la época seca o de estiaje.

La principal observación para el proyecto de Los Alisos, es que no todas las familias realizan agricultura con riego. En visitas de campo se observó que mucho del riego es utilizado principalmente para mantener las plantaciones de café durante la época seca. Solamente en Niyá y en Los Coles, los proyectos de riego, que son familiares, son utilizados para siembra de hortalizas, principalmente tomate, papas y arveja china, pero en plantaciones muy pequeñas (no más de 800 m^2/familia).

9.1.3 Agua para recreación

En cuanto al agua para recreación, 2 familias han establecido infraestructura (piscinas) para hacer uso del agua con este fin. En uno de los casos, se disponen de dos piscinas y su uso está abierto al público que

tiene derecho de ingreso pagando 2.00 quetzales/persona. En el otro caso, el uso es exclusivamente personal o familiar.

Para un volumen total de agua de 183.3 m^3 requeridos en las piscinas, renovados cada 18 días como promedio, se tiene un volumen total anual de uso de agua para recreación de 3,345.2 m^3.

Cuadro 52. Características de los proyectos de agua para uso recreativo en la microcuenca del río San Pedro

No.	Lugar de ubicación	Tipo de uso	Lugar de donde proviene el agua	Espejo de agua (m^2)	Volumen m^3	Período de renovación (días)	Coordenadas		altitud msnm
							N	W	
1	Zona de Las Vegas	Privada pública	Las Vegas	90	145.8	20.0	1731650	634800	2020
2	Zona de Las Vegas	Privada pública	Las Vegas	30	19.5	20.0	1712850	633150	1580
3	Aldea Los Alisos	Privada personal	Chinacual	24	18	15.0	1712850	633150	1580
			Total	**144**	**183.3**	**18.3**			

Fuente: elaboración propia con base en datos de campo del 26 de abril al 5 de mayo de 2004.

La piscina 1 tiene dimensiones de 6 m de ancho, 15 m de largo, y una profundidad que varía de 1.32 a 1.92 m. Para que las personas puedan entrar en contacto con el agua en esta piscina, es necesario aplicar diariamente 10 onzas (0.284 Kg) de hipoclorito de calcio al 65 % y en cada período de renovación 500 ml (0.68 Kg) de ácido muriático.

La piscina 2 tiene dimensiones de 5 m de ancho, 6 m de largo y 0.65 m de profundidad. Para que las personas puedan entrar en contacto con el agua en esta piscina, es necesario aplicar diariamente 1 onza (0.0284 Kg) de hipoclorito de calcio al 65 % y en cada período de renovación 0.13 Kg de ácido muriático.

9.1.4 El agua como fuente de pesca

De acuerdo con entrevistas a personas clave de la microcuenca, la actividad de pesca no es frecuente en la microcuenca debido a que los ríos son pequeños y no hay abundancia de peces. Señalan que la zona del río San Pedro que está cercana al río Selegua, luego de atravesar la cabecera municipal de San Pedro Necta, se encuentran peces de "buen" tamaño, sin embargo debido a que a este río son vertidas las aguas residuales no les apetece realizar la actividad de pesca en dicha zona.

En cuanto a la producción de peces, solamente una persona ubicada en la zona de la microcuenca conocida como Las Vegas, está cultivando peces del tipo "mojarra". Sin embargo, su producción es incipiente y la cría en producción es de aproximadamente 300 peces.

De recorridos al mercado que se realiza en la cabecera municipal de San Pedro Necta los días jueves y domingo, se observó que no existe venta de pescado fresco. El pescado puesto a la venta es pescado seco y los volúmenes de venta son pequeños. Puede decirse que no existe una cultura de cultivo y/o de consumo de peces o productos hidrobiológicos en la microcuenca.

9.1.5 Otros usos del agua

Otros usos del agua tienen que ver con las actividades domésticas como lavado de ropa, aseo personal, lavado de vehículos y lavado de las calles; el uso del agua en el beneficiado del café; el uso del agua para la descarga de basura; y el uso del agua para la descarga de aguas jabonosas y aguas residuales. Según Cobos, C. (2001), en Guatemala es una práctica común usar cuerpos de agua (ríos, lagos) para la disposición de desechos sólidos y líquidos. Este uso del recurso es uno de los más nocivos, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino que también, porque causa la reducción de disponibilidad futura del recurso pues genera la contaminación.

En la microcuenca del río San Pedro, el agua suministrada por el servicio de agua para consumo humano, es utilizada también para el lavado de ropa, el aseo personal y para los usos de la cocina en general. En la cabecera municipal es común observar que el agua es utilizada para regar las calles con el objetivo de evitar o lavar el polvo que se acumula, principalmente en la época seca, y en el caso de las personas que poseen vehículos es común que utilicen esta agua para su limpieza.

Otro uso importante del agua es en el beneficiado del café. Tanto en el caso de la cabecera municipal como de las aldeas, el agua utilizada es la proveniente del servicio de agua para consumo humano, aunque se observó a varias personas que utilizan el agua de manantiales existentes en sus terrenos para esta actividad. El otro aspecto involucrado en este uso, es verter directamente el agua sobre el suelo o añadirla a los flujos superficiales, de manera que toda las aguas mieles producto del beneficiado del café van a desembocar en el cauce principal de la microcuenca.

Así también, las fuentes de agua son utilizadas para la descarga de basura. Puesto que en la época seca los caudales son pequeños y los flujos presentan menor velocidad, el río San Pedro llega a constituir un basurero de material plástico, aluminio, ropa y distinto tipo de basura que es descargado a sus márgenes.

Esta información es corroborada por el Delegado del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, quien señala una lista amplia de personas de la cabecera municipal que no hacen uso del servicio de tren de aseo de la municipalidad sino que utilizan el río de "botadero" de basura.

Otro uso que se hace de las fuentes de agua de la microcuenca, principalmente de los ríos Nimá y San Pedro Necta, es que son utilizados para descarga y traslado de aguas jabonosas y aguas residuales.

En el caso de las aguas jabonosas, todas las aldeas descargan las mismas a los cauces naturales desde donde por escurrimiento llegan a las flujos de agua principales. En el caso de la cabecera municipal no hay una separación de las aguas jabonosas y las aguas residuales sino que ambas son recogidas en la red de drenaje establecida en el año 2002. El diseño de esta red permite que las aguas de desecho producidas en la cabecera municipal sean descargadas directamente a las aguas del río San Pedro una vez éste ha atravesado la cabecera municipal.

9.2 Demanda actual y proyectada del agua

9.2.1 Demanda actual del agua

En el Cuadro 53 puede apreciarse que 8 proyectos muestran déficit en cuanto a disponibilidad y por tanto no satisfacen la demanda actual. Sin embargo, en el balance total del caudal existente en la microcuenca en los proyectos señalados, hay un excedente que rebasa en 209 % la demanda actual, de manera que el déficit que muestran algunos proyectos refleja una inadecuada distribución del recurso.

Puede apreciarse que en la cabecera municipal, es donde existe el mayor excedente de disponibilidad, sin embargo uno de los proyectos muestran déficit por lo que no satisfacen la demanda de los usuarios. De la misma manera en la aldea La Pinada, dos proyectos muestran excedentes en tanto que un proyecto muestra déficit. Los proyectos de las aldeas Vista Hermosa La Laguna, Tzalay, uno de los proyectos en la aldea Nimá, uno de los Proyectos de Tepán Los Coles y el proyecto de la aldea Los Coles tampoco satisfacen la demanda de los usuarios. Asimismo, el proyecto de La aldea Canoítas, que está situada fuera de la microcuenca, tampoco satisface la demanda actual de agua para consumo humano.

Cuadro 53. Demanda actual y disponibilidad de agua para consumo humano en las comunidades de la microcuenca del río San Pedro

No.	Comunidad/Proyecto	Población	Caudal disponible		Dotación	caudal demandado (m^3/d)			Excedente o
		actual	L/s	m^3/d	L/hab/d	medio	conducción	distribución	déficit (m^3/d)
1	Cabecera municipal	2404	44.39	3835.61	90	216.36	259.63	432.72	3,402.89
2	Cabecera municipal	1057	0.25	21.60	90	95.13	114.16	190.26	(168.66)
3	Cabecera municipal	127	0.44	37.83	90	11.43	14.86	22.86	14.97
4	La Pinada Sector 1	122	0.08	6.84	90	10.98	14.27	21.96	(15.12)
5	La Pinada Sector 2	250	1.01	87.45	90	22.50	29.25	45.00	42.45
6	La Pinada, sector 3	122	0.75	65.15	90	10.98	14.27	21.96	43.19
7	La Pinada, sector 3	73	0.53	45.65	90	6.57	8.54	13.14	32.51
8	Siete Cerros+	630	1.75	151.20	90	56.70	73.71	113.40	37.80
9	Vista Hermosa La Laguna	134	0.15	13.09	90	12.06	15.68	24.12	(11.03)
11	Tzalay	365	0.55	47.92	90	32.85	42.71	65.70	(17.78)
12	La Laguna, Tanque 2	147	0.70	60.42	90	13.23	17.20	26.46	33.96
13	La Laguna, Tanque 1	258	1.85	160.22	90	23.22	30.19	46.44	113.78
14	Los Alisos	733	2.90	250.15	90	65.97	85.76	131.94	118.21
15	Chinacual, tanque 1	219	1.72	148.89	90	19.71	25.62	39.42	109.47
16	Chinacual, tanque 2	133	0.50	43.20	90	11.97	15.56	23.94	19.26
17	Chinacual, tanque 3	80	0.25	21.60	90	7.20	9.36	14.40	7.20
18	Nimá	762	1.25	108.00	90	68.58	89.15	137.16	(29.16)
19	Tapix+	268	1.10	95.04	90	24.12	31.36	48.24	46.80
20	Guachipilín	746	3.95	341.33	90	67.14	87.28	134.28	207.05
21	Tepán Los Coles	151	0.16	13.59	90	13.59	17.67	27.18	(13.59)
22	Tepán Los Coles	95	0.25	21.29	90	8.55	11.12	17.10	4.19
23	Los Coles	670	0.78	67.14	90	60.30	78.39	120.60	(53.46)
24	Buena Vista Los Coles+	286	5.75	496.80	90	25.74	33.46	51.48	445.32
25	Niyá, SPN	510	3.56	307.69	90	45.90	59.67	91.80	215.89
26	Niyá, SCh	168	0.61	52.54	90	15.12	19.66	30.24	22.30
27	Canoítas, SPN	997	2.60	224.45	90	89.73	116.65	179.46	44.99
28	Canoítas, SPN	839	1.55	134.18	90	75.51	98.16	151.02	(16.84)
29	Chepón, SCh+	275	2.05	177.12	90	24.75	32.18	49.50	127.62
29		**12621**	**81.44**	**7036.00**		**1135.89**	**1445.51**	**2271.78**	**4764.22**

+ Caudal estimado con base a la población.
SPPN significa San Pedro Necta y SCh significa Santiago Chimaltenango.

9.2.2 Proyección de la demanda del agua

En el Cuadro 54, puede apreciarse que en 25 años, habrán 18 proyectos cuya disponibilidad de agua tendrán déficit y no podrán satisfacer la demanda en ese año. Sin embargo, en el balance total puede verse que la disponibilidad tendrá un excedente equivalente al 44.4 % del volumen de demanda en ese año.

El déficit se considera sustancial dentro de 25 años, para uno de los proyectos de la cabecera municipal, para las aldeas Siete Cerros, Tzalay, Nimá, Los Coles y Canoítas.

Cuadro 54. Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de la microcuenca del río San Pedro

No.	Comunidad/Proyecto	Población en 25 años	Caudal disponible		Dotación L/hab/d	caudal demandado (m^3/d)			Excedente o déficit (m^3/d)
			lps	m^3/d		medio	conducción	distribución	
1	Cabecera municipal	5157	44.39	3835.61	90	464.13	556.96	928.27	2,907.34
2	Cabecera municipal	2267	0.25	21.60	90	204.07	244.89	408.14	(386.54)
3	Cabecera municipal	272	0.44	37.83	90	24.52	31.88	49.04	(11.21)
4	La Pinada Sector 1	262	0.08	6.84	90	23.55	30.62	47.11	(40.27)
5	La Pinada Sector 2	536	1.01	87.45	90	48.27	62.75	96.53	(9.08)
6	La Pinada, sector 3	262	0.75	65.15	90	23.55	30.62	47.11	18.04
7	La Pinada, sector 3	157	0.53	45.65	90	14.09	18.32	28.19	17.46
8	Siete Cerros+	1351	1.75	151.20	90	121.63	158.12	243.27	(92.07)
9	Vista Hermosa La Laguna	287	0.15	13.09	90	25.87	33.63	51.74	(38.65)
11	Tzalay	783	0.55	47.92	90	70.47	91.61	140.94	(93.02)
12	La Laguna, Tanque 2	315	0.70	60.42	90	28.38	36.90	56.76	3.66
13	La Laguna, Tanque 1	553	1.85	160.22	90	49.81	64.75	99.62	60.59
14	Los Alisos	1572	2.90	250.15	90	141.52	183.97	283.04	(32.88)
15	Chinacual, tanque 1	470	1.72	148.89	90	42.28	54.97	84.56	64.33
16	Chinacual, tanque 2	285	0.50	43.20	90	25.68	33.38	51.36	(8.16)
17	Chinacual, tanque 3	172	0.25	21.60	90	15.45	20.08	30.89	(9.29)
18	Nimá	1635	1.25	108.00	90	147.12	191.25	294.23	(186.23)
19	Tapix+	575	1.10	95.04	90	51.74	67.26	103.48	(8.44)
20	Guachipilín	1600	3.95	341.33	90	144.03	187.24	288.06	53.28
21	Tepán Los Coles	324	0.16	13.59	90	29.15	37.90	58.31	(44.71)
22	Tepán Los Coles	204	0.25	21.29	90	18.34	23.84	36.68	(15.39)
23	Los Coles	1437	0.78	67.14	90	129.36	168.16	258.71	(191.57)
24	Buena Vista Los Coles+	614	5.75	496.80	90	55.22	71.78	110.43	386.37
25	Niyá, SPN	1094	3.56	307.69	90	98.46	128.00	196.93	110.76
26	Niyá, SCh	360	0.61	52.54	90	32.44	42.17	64.87	(12.33)
27	Canoítas, SPN	2139	2.60	224.45	90	192.49	250.23	384.98	(160.53)
28	Canoítas, SPN	1800	1.55	134.18	90	161.98	210.58	323.97	(189.79)
29	Chepón, SCh+	590	2.05	177.12	90	53.09	69.02	106.19	70.93
29		**27074**	**81.44**	**7036.00**		**2436.70**	**3100.90**	**4873.41**	**2162.59**

+ Caudal estimado con base a la población.
SPN significa San Pedro Necta y SCh significa Santiago Chimaltenango.
Fuente: elaboración propia.

9.3 La concepción del recurso hídrico en los lideres de la población que habita la microcuenca

Un taller de trabajo fue realizado con la participación de representantes de 14 comités de agua de las comunidades que habitan en la microcuenca, representantes de cuatro comités de agua potable que habitan fuera de la microcuenca, dos representantes del concejo municipal, un facilitador del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y un facilitador de la Sección de Saneamiento Ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta.

Herramientas de Diagnóstico para el Desarrollo Participativo (Geilfus, F, 1998) fueron empleados para generar análisis, discusión y reflexión acerca de la situación, las causas y posibles soluciones de la contaminación del agua en la microcuenca del río San Pedro.

Los elementos más importantes discutidos tienen que ver con la visión de los participantes sobre la contaminación y la valoración que hacen de la contaminación en las aguas de la microcuenca y sus comunidades. De acuerdo a esta visión, la contaminación es definida como: *es cuando el agua ya esta mezclada con todos los desechos de una comunidad.* En esta misma visión comunitaria, las aguas superficiales se contaminan: *por tirar basura, animales muertos, por poner el desagüe en el río como hace el casco urbano, por tirar desagüe de las casas, por usar herbicidas e insecticidas, por no tener letrinas.* Las aguas subterráneas se contaminan, *defecando en el aire libre, usando herbicidas, insecticidas y abono químico en agricultura y cuando llueve se filtra en la tierra hasta que caiga en las aguas subterráneas, de esta forma se contamina.*

Con relación a las actividades que las personas de la microcuenca realizan en su vida diaria y que provocan contaminación del agua, señalaron: a) lavar bombas de aspersión que han servido para fumigar insecticidas, b) tirar basura o desechos como envases de funguicidas, herbicidas o pulpas de café; c) tirar animales muertos en los ríos; d) tiras las aguas sucias (aguas residuales) a los ríos. En cuanto a los efectos de la contaminación en las personas, está fue analizada principalmente desde el punto de vista de la salud: *por no hervir el agua, por no clorarlo, los niños se enferman, nos da diarrea y vómitos.* De la misma manera, el análisis de tendencias y efectos de la contaminación en el futuro señalan: *si seguimos haciendo las mismas actividades que ahora contaminan el agua, entre diez años la contaminación va a estar peor, van a aumentar las enfermedades de nuestros hijos, más pobreza por causa de las enfermedades, todo esto porque no hay mantenimiento del agua.*

Desde la visión comunitaria, las principales fuentes de agua son nacimientos, pozos y ríos, siendo los nacimientos las fuentes menos contaminadas; los pozos presentarían una contaminación intermedia, principalmente producto de la basura, contaminación eventual por causa de la agricultura o por presencia animal (que ingresan a estos por no estar protegidos, sellados con cemento o bien cercados) y de contaminación eventual por causa de la agricultura; y los ríos son las fuentes de agua más contaminadas producto de que a los ríos van a parar todos los desechos sólidos de las comunidades (basura orgánica e inorgánica), aguas jabonosas, aguas residuales, aguas mieles del beneficiado de café, el lavado que la lluvia hace de pesticidas y fertilizantes que se aplican en la agricultura así como el suelo arrastrado por la erosión.

Las causas principales la atribuyeron a las pocas medidas que ellos aplican, destacaron su falta de conocimientos pero principalmente destacaron la falta de voluntad de todas las personas en cuanto a poner en práctica medidas que afecten lo menos posible la calidad del agua. Un ejemplo que destacaron, es el hecho de que la municipalidad de San Pedro Necta ha canalizado todas las aguas residuales directamente al río San Pedro.

La matriz de priorizacion de problemas (Geilfus, F. 1998) fue utilizado para priorizar las fuentes de contaminación (Cuadro 55). Los criterios que utilizaron para esta prioridad fueron: cantidad de personas que producen la fuente de contaminación, tiempo al año en que permanece la fuente de contaminación, peligrosidad de la fuente de contaminación y tipo de fuentes de agua que posiblemente son afectadas por la fuente de contaminación.

Cuadro 55. Priorización de las fuentes de contaminación de acuerdo a criterios de lideres de comités de agua de la microcuenca del río San Pedro.

Fuente de contaminación	Priorización (votos)	Criterios de la priorización
Aguas jabonosas	6	Cantidad de personas que produce la fuente de contaminación; Tiempo del año que permanece la fuente de contaminación; Peligrosidad de la fuente de contaminación Tipo de fuentes de agua que son afectadas. 1 Manantial 2 Pozo 3 Rio
Aguas mieles del beneficiado de café	5	
Aguas sucias (negras)	5	
Basura orgánica (animales muertos, desechos animales, restos de verduras, frutas, etc.)	4	
Aplicación de pesticidas	3	
Letrinas de hoyo	3	
Aplicación de abonos químicos	2	
Basura inorgánica (plástico, naylon, vidrios, latas, etc.)	0	

Como posibles soluciones se plantean:

- *Tener aseado los tanques para que no tengan contaminación.*
- *No permitir suciedad como: desagües, fumigar insecticidas, ganado, bestias, cabras, marranos y viviendas con desemboques cerca del tanque del agua.*
- *Sin curar el agua, no se debe tomar el agua del río.*
- *Se debe reforestar, sembrar árboles, controlar y dar mantenimiento del agua.*
- *Se debe evitar tirar el agua del beneficio de café en los ríos.*

9.4 Los niveles educativos y la capacitación en el manejo de los recursos hídricos

Diversos estudios muestran que en la medida en que nuestro nivel educativo y nuestro nivel de conocimientos y experiencias positivas aumenta, nuestra actitud y nuestras acciones tienden a ser más armónicas hacia nosotros mismos, hacia la sociedad y hacia nuestro entorno natural. En esto radica la importancia de conocer esta variable para buscar explicar la situación que se vive en la microcuenca con relación al manejo del agua.

De acuerdo con la encuesta realizada en este estudio, en el Cuadro 56 puede observarse que el 50 % de los jefes de familia de la microcuenca del río San Pedro No saben leer ni escribir. Y con relación a un mayor nivel educativo, puede observarse que el 8.7 % a tenido acceso a la educación media y solamente un 0.8 % posee estudios universitarios.

Cuadro 56. Nivel de escolaridad en 2004, en la microcuenca del río San Pedro

Nivel de escolaridad	Número de personas entrevistadas	% de personas entrevistadas
No sabe leer ni escribir	300	50.0
1-3er año primaria	141	23.5
4- 6to año primaria	102	17.0
Básico	24	4.0
Diversificado	28	4.7
Universitario	5	0.8
Total	600	100.0

Fuente: encuesta realizada en la microcuenca en el segundo semestre de 2004.

Asimismo, en el Cuadro 57 se muestran los resultados de la encuesta, con relación al número y % de personas entrevistadas que han recibido capacitación en temas relacionados al manejo del agua. Puede observarse que el 94.6 % de los entrevistados no han recibido ningún tipo de capacitación al respecto. Y que el 5.4 % de entrevistados ha recibido capacitación en temas como la reforestación, las letrinas aboneras, el manejo de la basura, el medio ambiente, la salud ambiental y el manejo del agua.

Estas condiciones de educación y de capacitación reflejan muy poco esfuerzo gubernamental e institucional por elevar las capacidades locales. Con ello, los esfuerzos por hacer un uso sostenido y sustentable de los recursos naturales queda completamente en manos de los habitantes de la microcuenca y entonces un factor a tomar en cuenta en el análisis debe ser los aspectos culturales particulares de la población. Profundizar la comprensión de este aspecto no ha sido parte de este estudio.

Cuadro 57. Temas en que se han capacitado las personas de la microcuenca del río San Pedro

Temas en los que se ha recibido capacitación	Número de personas entrevistadas	% de personas entrevistadas
Reforestación y manejo forestal	7	1.2
Letrinas aboneras	4	0.7
Manejo de la basura	5	0.8
Medio ambiente	4	0.7
Salud ambiental	8	1.3
Manejo del agua	6	1.0
Ninguno	566	94.3
Total	600	100.0

Fuente: encuesta realizada en la microcuenca en el segundo semestre de 2004.

9.5 Las acciones comunitarias e institucionales que se realizan

9.5.1 La intensidad de uso de la tierra

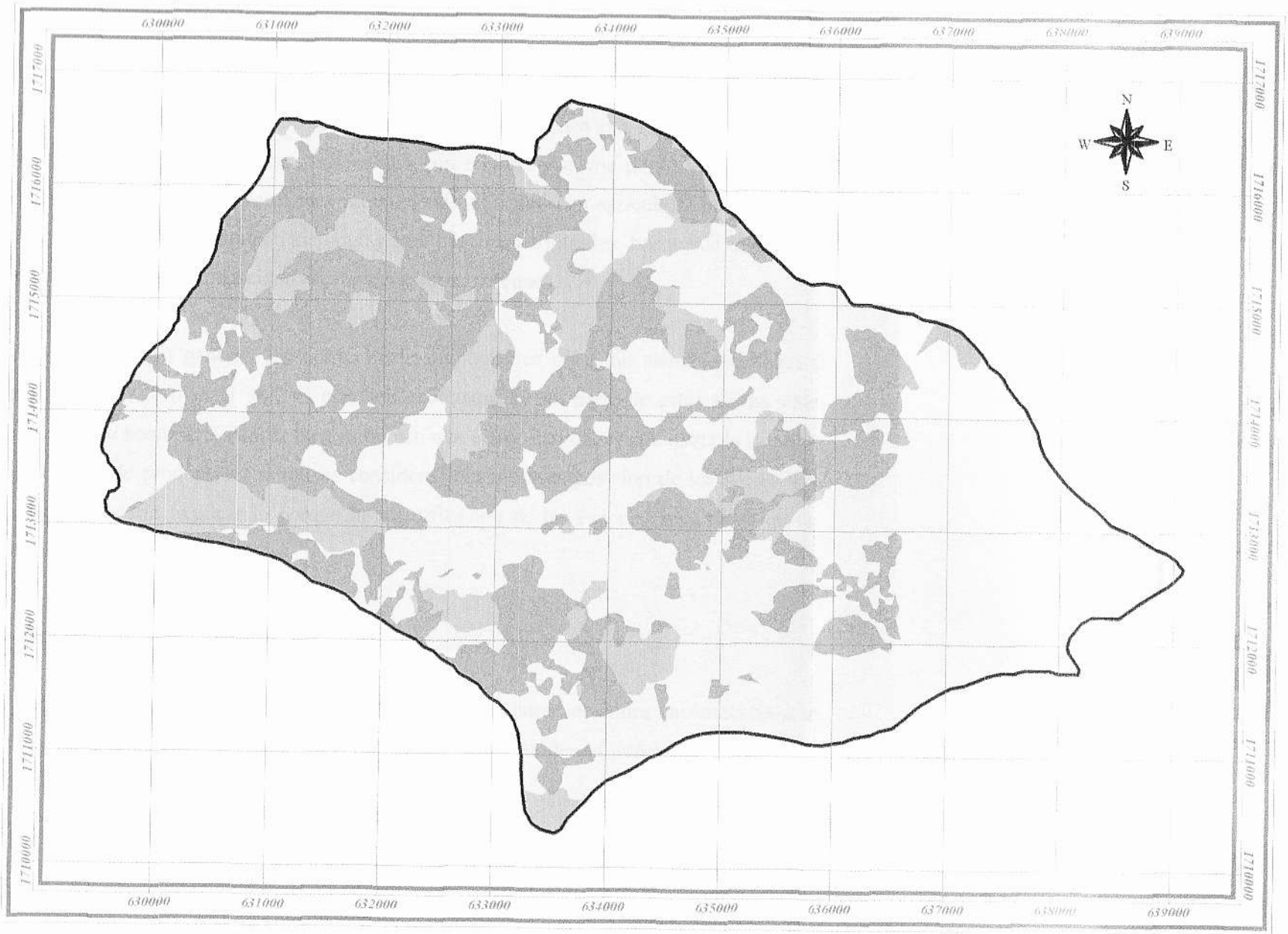
A nivel general, puede decirse que el uso de la tierra es el elemento que mejor refleja el nivel de coherencia o incoherencia de las comunidades con una manejo adecuado de los recursos hídricos.

La intensidad de uso de la tierra es una herramienta de análisis que se obtiene a partir de sobreponer el mapa de capacidad de uso de la tierra sobre el mapa de uso actual de la tierra. El resultado de este análisis permite establecer áreas que están siendo utilizados de acuerdo a su capacidad (uso adecuado), las que están siendo utilizados más allá de su capacidad (sobreuso), y aquellas que están siendo utilizados con menor exigencia a su capacidad (subuso).

Aplicado a las tierras de la microcuenca del río San Pedro (Cuadro 58 y Figura 50), se observa que el 38.7 % de la superficie está siendo sobre utilizada, debido a que son áreas las cuales deberían destinarse a usos forestales, bien de producción, bien de protección, y en la actualidad están siendo utilizados para agricultura tradicional (basada principalmente en el cultivo del maíz), pastos naturales, son áreas expuestas o bien el bosque ha sido desplazado por la agricultura tradicional y finalmente dejadas en descanso permitiendo el desarrollo de arbustos o matorrales.

Solamente el 11.7 % de la superficie está siendo utilizado adecuadamente, y esto representa aquellas áreas cuya capacidad de uso se enmarca en la agroforestería anual o agroforestería con cultivos permanentes, y actualmente están siendo utilizados para agricultura perenne, específicamente con cultivo de café bajo sombra.

ESCALA 1:50,000



1000 0 1000 2000 Metros

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA
CON ESPECIALIZACIÓN EN PLANIFICACIÓN Y MANEJO
DEL RECURSO HÍDRICO EN AGRONOMÍA

LEYENDA

CATEGORÍA DE INTENSIDAD DE USO	Ha	%
Sobre - Uso	1326.26	38.70
Sub - Uso	1699.50	49.65
Uso Correcto	409.96	11.78
Límite de microcuenca		

AGRONOMÍA

CARA

CEIBA

Proyección Universal Transversal Mercator
Elipsoide WGS-84 Zona 15
Datum WGS-84
Distancia Horizontal y Vertical de Cuadricula: 1000 m.

Cuadro 58. Intensidad de uso del suelo en la microcuenca del río San Pedro.

Intensidad de uso	Superficie	
	Km^2	%
Sobre uso	13.2	38.7
Uso adecuado	4.0	11.7
Subuso	17.0	49.6
Total	**34.2**	**100.0**

Puede observarse también que el 49.6 % de la superficie de la microcuenca está siendo subutilizada a partir de que son tierras que deberían destinarse a agricultura con mejoras (en una parte) y para fines de agricultura perenne (en otra parte) pero que actualmente está siendo utilizado con agricultura perenne (caso de la superficie cuya capacidad es agricultura con mejoras) y para bosques latifoliados, bosque de coníferas o bosque mixto (caso de la superficie cuya capacidad es para agricultura perenne).

Este análisis sugiere que, en general, las tierras de la microcuenca no están siendo sometidos a procesos erosivos intensos, pues si bien el 38.7 % está sobreutilizado, buena parte de estas tierras están siendo cultivadas con café bajo sombra, lo cual si bien es un uso que ejerce mayor presión sobre la tierra en comparación con los bosques de producción, si reduce considerablemente la exposición de los suelos a la precipitación. Esta situación estaría explicando porque la cuantificación de las especies de sólidos en las aguas superficiales, es relativamente baja.

9.5.2 Los esfuerzos institucionales y comunitarios

Sin que sea parte de un plan de manejo del agua, sino más bien como acciones encaminadas a la reducción de la pobreza en la microcuenca, se citan a continuación una serie de esfuerzos que contribuyen hacia un manejo sostenible de los recursos hídricos.

1) La protección de los afloramientos de manantiales que son captados para fines de consumo humano (Comités de Agua).
2) La implementación de proyectos de letrinas aboneras que evitan la deposición de desechos humanos en el subsuelo o a flor de tierra (INTERVIDA).
3) La implementación de pequeños proyectos de reforestación que ayudan a reducir la escorrentía superficial y la erosión y facilitan los procesos de infiltración del agua en el suelo y la recarga de acuíferos (MARN).

4) La realización de campañas de recolección de basura depositada sobre la superficie de los ríos (ASODESI y Escuelas públicas).
5) La realización de campañas de concientización para reducir el vertimiento de aguas que provocan encharcamiento y pueden ser caldo de cultivo para el desarrollo del mosquito transmisor de la Malaria (*Anopheles* sp.) (MALARIA).
6) El uso del suelo con fines de masas boscosas, ya sea por las limitaciones de la calidad de los suelos, de la pedregosidad o por las altas pendientes pero que contribuye a reducir la escorrentía superficial y la erosión y a facilitar la infiltración del agua en el suelo.
7) El uso del suelo con cultivos permanentes (cultivo del café bajo sombra) que contribuye a reducir la erosión.
8) Proyectos agrícolas basados en la agricultura orgánica dirigidos a algunas comunidades de la microcuenca (CEIBA).

Algo destacable la reforestación iniciada por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y la iniciativa de las familias habitantes de la microcuenca en cuanto a la siembra de árboles.

De acuerdo con Ramírez, E. (2004), en el 2003 el MARN promovió la siembra de 2,332 árboles en siete comunidades ubicadas en la microcuenca (Cuadro 59), persiguiendo la finalidad de reforestar y dar protección a los manantiales.

Cuadro 59. Reforestación y protección de manantiales promovido por el MARN en 2003

No.	Comunidad	# árboles
1	La Pinada	333
2	Tepán	333
3	Los Alisos	333
4	Chinacual	333
5	Tzalay	333
6	Los Coles	333
7	Siete Cerros	334
Total		2332

Fuente: entrevista a Delegado del MARN.

Por otra parte, de acuerdo a la encuesta realizada en esta investigación, se determinó que en 2003 las familias de la microcuenca sembraron un total de 9,270 árboles. En el Cuadro 60 puede apreciarse que el 6.7 % de los entrevistados afirmaron haber hecho esta actividad para proteger los manantiales, el 2.8 % lo hizo para proteger los ríos y el 90.5 % lo hizo para diversos usos (sombra de café, tener madera y tener leña).

Cuadro 60. Cantidad de árboles sembrados en 2003, por las familias de la microcuenca del río San Pedro

Finalidad de la siembra de árboles	No. de árboles	%
Para proteger manantiales	617	6.7
Para proteger el río	260	2.8
Árboles para diversos usos	8,393	90.5
Total árboles sembrados en 2003	**9,270**	**100.0**

Fuente: encuesta realizada en el segundo semestre de 2004.

Puede verse que estos esfuerzos no incluyen el manejo de las aguas residuales producidas en la cabecera municipal de San Pedro Necta; el manejo de las aguas mieles producidas en el beneficiado del café; el manejo de las aguas jabonosas; y la solución de conflictos en la propiedad y uso del agua.

Una características de estos esfuerzos es que son aislados, no se guían por un manejo organizado, coordinado y visionario tanto interinstitucional como intercomunitario, respecto a la solución de los conflictos sociales y técnicos del manejo del agua para dar solución a los problemas actuales como a los problemas en el futuro.

Un indicador de esta situación es el enorme excedente de agua disponible para consumo humano en la cabecera municipal, sin embargo, en la práctica hay varias familias que no cuentan con el servicio de agua domiciliar; en general, en toda la cuenca hay excedente de agua disponible en los proyectos de agua, pero existen varias familias todavía sin acceso al servicio de agua domiciliar.

9.6 Las contradicciones en el uso y manejo actual del recurso hídrico

9.6.1 La distribución del recurso hídrico para fines de consumo humano

En este estudio se ha mostrado que algunos proyectos de abastecimiento de agua no satisfacen las demandas de los usuarios y existen personas que no cuentan con el servicio de abastecimiento de agua. Obviamente, esta situación existe a partir de que el ejercicio del derecho humano al uso del agua no es el eje político que establece la distribución del recurso.

En la microcuenca del río San Pedro, el acceso y distribución del agua para los distintos usos se basan en las posibilidades reales de la población de acceso del uso del agua en términos económicos, debido a que es el mercado o compra venta de bienes lo que define el acceso al recurso. De hecho, todas las instituciones,

gubernamentales o no gubernamentales, que proporcionan apoyo para la ejecución de un proyecto de suministro de agua, exigen como requisito a los interesados la propiedad de la fuente de agua.

Que el acceso a la fuente de agua se rija por este mecanismo, permite que determinadas comunidades estén en mejores condiciones para acceder al agua. Por ejemplo, el hecho de haber empezado su proyecto con mayor antigüedad; haber localizado una fuente en tierras municipales; y, situarse relativamente cerca de la fuente de agua.

Sin embargo, a partir de que las fuentes de agua disponibles se hacen escasas, las condiciones de acceso se hacen más difíciles. Por ejemplo: las municipalidades ya no permiten el acceso a una fuente de agua a personas o comunidades que no estén situadas en su jurisdicción; los propietarios de las fuentes de agua toman la decisión de no vender o especulan con el precio de la fuente de agua; y las comunidades que cuentan con proyectos de abastecimiento con suficiente caudal deciden no compartir el agua con otras comunidades o personas.

Elementos de este tipo están presenten en la microcuenca, y si no se superan a tiempo, se esperaría que dentro de 25 años hayan conflictos violentos entre comunidades del mismo grupo cultural, que hasta ahora han vivido en armonía en una superficie geográfica relativamente pequeña, en la cual han contado a la fecha con abundancia del recurso hídrico por lo cual, de la misma microcuenca, se han realizado trasvases de este recurso a otras microcuencas para fines de abastecimiento humano.

Obviamente, una distribución equitativa del recurso, basada en el derecho humano de acceso al agua, pasa por resolver dificultades técnicas, como la que se presenta cuando las comunidades están situadas en altitudes mayores a las fuentes de agua. Pero la falta de políticas municipales e institucionales orientadas al ejercicio del derecho humano de acceso al agua, deja a la iniciativa comunitaria la solución a la problemática de dar satisfacción a la demanda de agua. De ahí que cada comunidad ha conformado su comité de agua potable y realice un proceso de gestión que va desde localizar una fuente de agua, negociar con el propietario de la fuente de agua las condiciones de uso y realizar gestiones ante distintas instituciones con los objetivos de: conseguir apoyo para garantizar la propiedad de la fuente de agua; apoyo para la gestión de la formulación y diseño del proyecto; y, consecución de los fondos financieros que hagan posible la ejecución del proyecto de abastecimiento.

9.6.2 Los conflictos sociales por el agua

Dada esta situación que rige el acceso al uso del agua, dos conflictos sociales se observan en la microcuenca del río San Pedro. El primero, ya señalado, tiene que ver con que, pese al excedente de disponibilidad del agua de los proyectos para consumo humano, hay varias familias en la microcuenca que no tienen el servicio de agua domiciliar y tienen que hacer uso del agua directamente de los manantiales en su punto de afloramiento. Esto tiene como consecuencias principales los daños a la salud debido a que son manantiales sin protección, expuesto a la intemperie y, por tanto, al uso por los animales y a la escorrentía superficial en la época de lluvias.

El segundo conflicto está relacionado con la propiedad del agua y lo enfrenta un sector de población de la comunidad de Chinacual. Puesto que en Guatemala el agua está ligada a la propiedad de la tierra, y en la microcuenca existe en determinadas zonas propiedad municipal de la tierra, y puesto que algunas municipalidades empiezan a enfrentar problemas de escasez de fuentes de agua para fines de proyectos de agua para consumo humano, el Comité de Agua de Chinacual enfrenta un problema de propiedad con la municipalidad de Santiago Chimaltenango. De acuerdo al Presidente del Comité de Chinacual, en la transacción de compra venta de la fuente de agua fueron engañados respecto a los derechos de propiedad, y esta es la base de la municipalidad de Santiago Chimaltennago para exigir al Comité de Agua de Chinacual que dejen de hacer uso de la fuente de agua que está situada en sus tierras.

Los mecanismos para la solución de este conflicto no están claros en la microcuenca. El Comité de Chinacual está acudiendo a FONTIERRA para resolverlo. En todo caso, si este conflicto no es solucionado desde el punto de vista del derecho humano al uso del agua, este sector de población de la comunidad de Chinacual no podrá abastecerse del agua, perderá toda la inversión económica y física hecha en la instalación del proyecto, deberá abastecerse de fuentes de agua menos seguras en cantidad y calidad, deberá buscar otra fuente de agua con un caudal suficiente para abastecerse, deberá hacer las gestiones para su adquisición y luego podrá hacer las gestiones para la instalación de un nuevo proyecto.

10. CONCLUSIONES

10.1 Respecto a los niveles de contaminación

a) Desde los parámetros físico químicos, de metales pesados y de pesticidas organoclorados y organofosforados, no se encontró evidencia de contaminación en todas las fuentes de agua muestreadas.

b) Los principales efectos de las fuentes de contaminación se observaron en los parámetros de DQO, DBO_5, y en los niveles de coliformes fecales.

c) Para la fuente de agua: punto de aforo del río San Pedro, los niveles de DQO y DBO_5 rebasaron los niveles permitidos para los vertidos de aguas residuales y para los vertidos de aguas mieles del beneficiado del café en el mes de marzo de la época seca. No se encontró lo mismo en el mes de abril de la época seca, ni en el mes de julio de la época lluviosa, donde los niveles de DQO y DBO_5 no rebasaron los niveles permitidos para estos vertidos.

d) Para el caso de las fuentes de agua: río San Pedro, río Nima, río Chinacual y río Niyá, los niveles de coliformes fecales rebasaron los niveles permitidos para consumo humano en los meses de marzo, abril y julio (época seca y época lluviosa).

e) Dos de los manantiales más importantes, por su utilización para el abastecimiento de agua para consumo humano en la microcuenca (manantial Nimá La Esperanza y manantial Nillá SPN), no presentaron contaminación bacteriológica, tanto en época seca como en época lluviosa. Es de destacar que el manantial Nimá no cuentan con infraestructura de protección.

f) Para el mes de abril (época seca), cinco manantiales no presentaron contaminación bacteriológica mostrando ser aptos para consumo humano (manantial Nimá La Esperanza, manantial Los Coles, manantial Chinacual, manantial Elvidio Herrera y manantial Particular 1). Los manantiales Los coles y Elvidio Herrera cuentan con infraestructura de protección, aunque las mismas presentan fisuras por lo que sus condiciones no son adecuadas.

g) Un total de siete manantiales (manantial Nimá La Esperanza, manantial Nillá SPN, manantial Niyá SCh, manantial Balencruz, manantial Chalá 1, manantial Elvidio Herrera y manantial particular 7) no presentaron contaminación con coliformes fecales en el mes de julio (época lluviosa) por lo que se mostraron aptos para consumo humano. No fue el caso de otros cinco manantiales (manantial Los Coles, manantial Chinacual, manantial Chalá 2, manantial Chalá 3 y manantial Particular 5), que presentaron contaminación con coliformes fecales en el mes de julio y por lo tanto no aptos para consumo humano.

h) Con fines de riego, en el mes de abril de la época seca, ocho fuentes de agua (arroyo La Pinada, arroyo detrás de la Biblioteca, río Niyá, río Chinaculal, manantial Xémal El Aguacate, manantial Niyá SPN, manantial Chinacual, manantial Nimá La Esperanza y manantial Balencruz) se clasifican como C1S1. Otras cinco fuentes de agua (río Chinacual, río Nimá, manantial marcos Bravo, río San Pedro antes de su ingreso a la cabecera municipal y punto de aforo del río San Pedro) se clasifican como C2S1.

i) Las fuentes de agua clasificadas como C1S1 no presentan limitación para riego, en tanto que las fuentes de agua clasificadas como C2S1 tienen como mayor limitación para su uso, el hecho de que las aguas sean bicarbonatadas y tengan un pH arriba de 7.5. El hecho de ser bicarbonatadas sugiere que se debe poner cuidado en la elección del tipo de riego debido a la formación de sarro. Por su parte, el hecho de que el pH esté arriba de 7.5 puede reducir la efectividad de pesticidas.

j) Con fines de riego, en el mes de julio de la época lluviosa, las mismas fuentes de agua fueron clasificadas como C1S1.

k) Desde el punto de vista bacteriológico, siguiendo la recomendación del USDA (< 1000 coliformes fecales/100 ml), el agua de todos los manantiales analizados (manantial Nimá La Esperanza, manantial Chinacual, manantial Niyá SPN, manantial Balencruz, manantial Los Coles, manantial Xöxal, manantial Chalá 1, manantial Chalá 2, manantial Chalá 3, manantial Rolando Parada, manantial Francisca Vásquez, manantial Municipal y manantial de Elvidio Herrera), son aptas para riego de cultivos agrícolas que se consumen normalmente en crudo.

l) La química de las aguas en la microcuenca, las define como aguas duras. Al respecto, es clara la influencia de la geología en la calidad del agua, ello repercute en el tipo de aguas predominantemente carbonatadas o bicarbonatadas cálcicas, cálcica- magnésicas o magnésicas.

10.2 Respecto a las fuentes de contaminación

a) La fuente de contaminación responsable del incremento del DQO y DBO_5 en las aguas del río, una vez este ha cruzado la cabecera municipal, es el vertido de aguas mieles del beneficiado del café. Esto se muestra porque en el mes de marzo, las aguas del río rebasan los niveles de DQO permitidos para aguas mieles del beneficiado de café y aguas residuales, pero no rebasan estos mismos niveles en el mes de abril, mes en que el vertido de aguas mieles del beneficiado de café no se presenta pues ha finalizado la época de beneficiado del café.

b) Dado los niveles de coliformes fecales encontrados en los ríos, los vertidos de aguas residuales y la deposición de excretas humanas son dos fuentes principales de contaminación.

c) El hecho de que en la época seca pocos manantiales estén contaminados bacteriológicamente y que los niveles encontrados son bajos, sugiere que la deposición de excretas humanas en letrinas de hoyo favorecen procesos que reducen los niveles de contaminación.

d) Si bien en época lluviosa la cantidad de manantiales con contaminación de coliformes fecales se incrementa, los niveles en que se encuentran los coliformes fecales sugiere que la conductividad hidráulica de los suelos y las fisuras que son característicos del material geológico, están provocando que los contaminantes se incorporen a acuíferos más profundos cuyos flujos no tienen salida en la microcuenca, de manera que los manantiales muestran poca evidencia de contaminación respecto a este parámetro.

10.3 Respecto a las estrategias hacia un manejo adecuado del recurso hídrico

a) El balance oferta-demanda de agua para consumo humano, presenta actualmente un importante excedente (4,7664.2 m^3/d). Este balance se reducirá en 25 años, a una tasa de crecimiento de la población del 3.1 %, pero seguirá existiendo excedente (2,162.59 m^3/d). Pese a ello, la mayor problemática reflejada en el uso del recurso tienen que ver con las políticas de distribución del

mismo, pues para una abundancia del recurso en una superficie relativamente pequeña (34.2 km^2), existen comunidades y grupos de personas que no poseen proyectos de abastecimiento de agua para consumo humano. La evidencia principal de lo que puede incrementar en el futuro, se refleja ahora en el conflicto social que vive una comunidad de la microcuenca, con la municipalidad de Santiago Chimaltenango, donde está en juego el ejercicio del derecho humano al uso del agua.

b) Pese a que los niveles educativos en la microcuenca son bajos (50 % no saben leer ni escribir, el 40.5 % cursó algún grado de primaria y solo un 9.5 % alcanzaron la educación media o un grado superior), y que un 94.5 % de los jefes de familia en la microcuenca no han recibido capacitación en temas relacionados al manejo adecuado del agua y de los recursos naturales, la intensidad de uso de la tierra que realizan las familias en la microcuenca indica poca presión sobre el recurso bosque, con lo cual los suelos y las fuentes de agua no están sufriendo un proceso alarmante de deterioro.

c) La población presenta una visión e interpretación bastante acertada de la situación de contaminación del recurso hídrico y de sus fuentes de contaminación. Del grupo de fuentes de contaminación que priorizaron, el vertido de aguas mieles del beneficiado del café, las aguas residuales de las viviendas y cabecera municipal y las letrinas de hoyo, concuerdan con las fuentes de contaminación establecidas a partir de los niveles de contaminación encontrados en este estudio.

d) La mayor parte de acciones de manejo del agua realizadas por las familias de la microcuenca, están enmarcadas en actividades referidas a proteger las fuentes de agua dado su uso para consumo humano. Estas actividades están enmarcadas en el mantenimiento y limpieza de las fuentes de agua y en acciones de reforestación.

e) La presión sobre el recurso agua en el futuro se dará en función del crecimiento poblacional. Eso significa que las fuentes de contaminación que incrementarán su potencial serán las aguas residuales y las letrinas de hoyo. Se considera que el vertido de aguas mieles del beneficio no será una fuente de contaminación que crecerá en el futuro, pues la mayor parte de superficie potencial para este cultivo ya está en producción, como también por la crisis que los productores de este cultivo viven dado la reducción del precio en el mercado.

11. RECOMENDACIONES

11.1 Respecto a las fuentes y los niveles de contaminación del recurso hídrico

a) Los resultados de este estudio con relación a las fuentes de contaminación y a los niveles de contaminación del recurso hídrico de la microcuenca, deben ser tomados como la línea de base de la calidad del agua de la microcuenca y a partir de la misma realizar un plan de monitoreo de la calidad del agua, con una periodicidad de tres años, que permita establecer la evolución de las fuentes de contaminación y la evolución de la calidad del agua.

b) Se recomienda que este plan de monitoreo se efectúe en las siguientes fuentes de agua: 1) manantial Nimá, 2) manantial Chinacual, 3) manantial Niyá, 4) río San Pedro antes de su ingreso a la cabecera municipal, 5) río Nimá antes de su ingreso al río San Pedro, y 6) el punto de aforo del río San Pedro (previo a su ingreso al río Selegua).

c) En virtud de que el cultivo del café, con su proceso de agroindustria, es la actividad económica más importante de la microcuenca, y a partir de que los vertidos de aguas mieles alteran significativamente la calidad del agua del cauce principal de la microcuenca, se recomienda realizar un estudio específico sobre el impacto del vertido de aguas mieles del beneficiado en el cauce principal tomando de período para el estudio los meses en que se realiza esta actividad, que va de finales de diciembre a mediados de marzo. Una comparación puede hacerse si se toma de referencia las primeras semanas de diciembre y el mes de abril.

d) Puesto que es alta la densidad poblacional dela zona y es alto el uso de letrinas de hoyo o pozo ciego, y dada la naturaleza karstica de la geología de la microcuenca, es recomendable hacer estudios específicos que permitan evaluar el impacto de la infiltración y percolación de los contaminantes originadas en las letrinas hacia las aguas subterráneas.

e) Desde las condiciones topográficas existentes en la microcuenca, y pese a que algunas fuentes de agua se clasifican como C2S1, para fines de riego es recomendable utilizar sistemas de riego a presión. Específicamente, se considera más adecuado el riego por goteo debido a su nula capacidad de provocar erosión. De ser utilizadas las fuentes de agua clasificadas como C2S1, se recomienda la utilización de métodos químicos, como aplicación de ácidos (HNO_3, HSO_4 y HCL) para evitar el

taponamiento de las tuberías que provoca la presencia bicarbonatos. Para el uso de estos métodos químicos es necesario una capacitación especial, pues su uso puede resultar peligroso para el usuario de no realizarlo adecuadamente.

11.2 Respecto a lineamientos para un manejo adecuado de la calidad del recurso hídrico

En este sentido, el mayor esfuerzo deberá realizarse con los usuarios del agua. Información y análisis sobre la situación actual del recurso y sobre las implicaciones futuras de mantener los mismos esquemas de manejo actual, son elementos necesarios para concienciar a los usuarios del agua y emprender acciones más compatibles con un manejo racional y sostenido del recurso. Se proponen los siguientes lineamientos:

- ✓ Establecer un radio fijo de protección (50 m. mínimo) en donde no se permita ningún tipo de actividad antropogénica para aquellos manantiales utilizados para agua de consumo humano.
- ✓ Realizar tratamiento al agua, principalmente cloración en los tanques de distribución.
- ✓ Monitorear constantemente la calidad del agua de los manantiales captados, principalmente bacteriológica, 2 veces al año (época seca y lluviosa).
- ✓ Implementar sistemas de mantenimiento constante a las obras (caja de captación y tanque de distribución) de los sistemas de abastecimiento de agua.
- ✓ Reciclar y procesar las aguas residuales, las aguas jabonosas y las aguas mieles del beneficiado de café, de manera de reducir sus niveles de contaminantes antes de que sean vertidos a los suelos o a las aguas de los ríos. En el caso de aldeas situadas aguas arriba en zonas que drenan natural y rápidamente hacia los ríos, es necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Implementar sistemas de tratamientos de residuos sólidos, como fosas sépticas o letrinas aboneras principalmente.
- ✓ Hacer estudios exhaustivos de suelos para ubicar los depósitos sanitarios, para evitar que los residuos de la basura alcancen los niveles freáticos y contaminen el agua subterránea.
- ✓ Separar los desechos sólidos en los hogares y evitar lanzar al agua contaminantes como aceites, solventes, pinturas y materia orgánica.
- ✓ Disponer de manera especial de ciertos desechos como las pilas y baterías eléctricas, evitando que se derramen en el suelo o en el agua.

- ✓ Utilizar en mayor medida los estiércoles animales como fuente de abono orgánico, con lo cual se reducirían los niveles de estiércoles como fuentes de contaminación bacteriológica.
- ✓ Realizar demostraciones de la efectividad de pesticidas con el uso de las aguas de la microcuenca.
- ✓ Mantener los bosques riparios o realizar acciones de reforestación en las zona aledañas al cauce de los ríos y los manantiales con la finalidad de establecer una zona de retardo y atenuación de posibles contaminantes.
- ✓ Las acciones de reforestación y protección de manantiales impulsadas por el MARN son positivas y deberán incrementarse.
- ✓ Puesto que la reforestación es una acción vista positivamente y practicada por las familias de la microcuenca, es preciso canalizar incentivos forestales para que fortalezcan esta práctica.

Para que estos lineamientos puedan impulsarse, es necesario que la Municipalidad de San Pedro Necta los tome en cuenta y conforme una alianza con los diferentes sectores organizados de la microcuenca (comités comunitarios, organismos no gubernamentales y organismos gubernamentales correspondientes) para que las mismas se vayan concretando.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. AGISA (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, GT). 1997. Programa de seguimiento a la propuesta de normas de aguas residuales para Guatemala. Guatemala. 41 p.

2. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual de caficultura. 3 ed. Guatemala. 318 p.

3. _____. 1999. Manual de beneficiado húmedo del café. Guatemala. 240 p.

4. Aparicio, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.

5. Ayuntamiento de Granada, ES. s.f. Diagnóstico ambiental: 4.5.3. agricultura intensiva: prácticas que deterioran los recursos locales (en línea). España. Consultado 3 ene. 2005. Disponible en: http://www.aldearural.com/subcategorias/documentacion/Agriculturaintensiva.html.

6. BID (Banco Interamericano de Desarrollo, US). 1998. Estrategia para la ordenación integrada de los recursos hídricos. Estados Unidos. 45 p.

7. Canastuj Coyoy, MM. 1999. Estudio del aprovechamiento del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala para el riego de pastos de corte en la finca de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia. Tesis MSc. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. 52 p.

8. Castañeda, O.; De Castañeda, P. 1993. Plaguicidas en Guatemala –uso, impacto ambiental y alternativas. Guatemala, MAGA. 48 p.

9. Castillo Orellana, S. 1989. Análisis y calidad del agua con fines de riego. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 108 p.

10. CEDUCA (Consejo de Educación Continua y Actualización, GT). 1995. Curso de especialización "estudios de impacto ambiental" módulo I: la legislación guatemalteca y los tratados internacionales en torno al medio ambiente. Guatemala, Colegio de Ingenieros de Guatemala. s.p.

11. CEIBA (Asociación para la Promoción y el Desarrollo de la Comunidad, GT). 2001. Estudio biofísico de San Pedro Necta. Guatemala. 116 p.

12. CEPAL (Comisión Económica para América Latina, CL); CELACDE (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía, CU); SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación Económica, GT). 2001. Guatemala: desarrollo y población, un diagnóstico sociodemográfico. Guatemala. 84 p.

13. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, PE). s.f. Análisis del sector agua potable y saneamiento en Guatemala. Plan regional de inversiones en ambiente y salud (en línea). Perú. Consultado 6 jul. 2004. Disponible en: http//www.cepis@ops-oms.org

14. Cobos, CR. 2002. El agua: situación actual y necesidades de gestión. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala. 31 p.

15. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones, GT). 1975. Normas para la calidad del agua potable. Guatemala. 3 p.

16. Cruz, JR De La. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.

17. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología Subterránea. 2 ed. España, Barcelona, Omega v. 1. 1157 p.

18. De Romero, N. 2001. Calidad del agua e importancia de su monitoreo para fertirrigación (Presentación de Power Point). Guatemala, Soluciones Analíticas, División Agrícola. 27 láminas.

19. Eaton, AD; Clesceri, LS; Greenberg, AE. 1998. Standar methods for the examination of water and wastewater. Washington, APHA (American Public Health Association) / AWWAA (American Water Works Asociation) / WEF (Water Environmental Federation, US). Cap. 10, 157 p.

20. EPA (Environmental Protection Agency, US). 2002. Valores guía para contaminantes en agua potable (en línea). US. Consultado 6 jul. 2004. Disponible en: www.epa.org

21. Galvão, LA; Escamilla, JA; Henao, S; Loyola, E; Castillo, C; Arbelaez, P. 2002. Plaguicidas y salud en el istmo centroamericano. Estados Unidos, Washington, DC, OPS, División de Salud y Ambiente, Programa de Calidad Ambiental. 67 p.

22. Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. El Salvador, San Salvador, IICA/GTZ. 208 p.

23. González, O. 2004. Notas del curso: manejo y planificación de los recursos hídricos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Programa de Postgrado, Maestría en Ciencias de Manejo Sostenible del Suelo y Agua. s.p.

24. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de Hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.

25. _____. s.f. Criterios para recomendar el manejo de la fertilidad del suelo. Guatemala, Hydro Nordic. p. 25-67.

26. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1966. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Cuilco, no. 1862 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

27. _____. 1966. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja Todos Santos Cuchumatán, no. 1862 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

28. _____. 1967. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja La Democracia, 1862 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

29. _____. 1975. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja San Sebastián Huehuetenango, no. 1862 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

30. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR); OEA (Organización Estados Americanos, GT). 1996. Diagnóstico preliminar de las cuencas fronterizas Guatemala-México: cuencas de los ríos Suchiate, Coatán, Cuilco, Selegua y Nentón. Guatemala. p. 69-127.

31. Iles, DL. 1995. Ground water contamination in south Dakota. US, Division of Geological Survey, Department of Environment and Natural Resources. 4 p.

32. Illescas Sandoval, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.

33. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2004. IV censo nacional agropecuario 2003: características generales de las fincas censales y de productoras y productores agropecuarios (resultados definitivos). Guatemala. tomo 1. 1 CD.

34. _____. 2004. IV censo nacional agropecuario 2003: número de fincas censales, superficie cosechada, producción obtenida de cultivos anuales o temporales y viveros. Guatemala. tomo 2. 1 CD.

35. _____. 2003. Censos nacionales XI de población y VI de habitación: características de la población y de los locales de habitación censados. Guatemala. 271 p.

36. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2004. Registros climáticos del período 1990-2003 de la Estación Meteorológica San Pedro Necta. Guatemala. s.p.

37. INTECAP (Instituto de Tecnificación y Capacitación, GT). 1991. Porcinocultura. Guatemala. 246 p.

38. Librys, US. s.f. Metales pesados: cadmio, plomo y mercurio (en línea). US. Consultado 21 jun. 2004. Disponible en: http://www.librys.com/problemasdequimica/plomo.html.

39. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw – Hill. 386 p.

40. Machorro, R; Requena, J; Yash, E; Bran, EO. 2003. Evaluación de calidad de agua y análisis de crecidas en la porción occidental de la cuenca del río Cahabón. Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, USAC, Centro Universitario del Nor Oriente, CUNOR, Departamento de Geología. 88 p.

41. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Mapas del departamento de Huehuetenango, distintas escalas (en línea). Guatemala. Consultado 10 ene. 2004. Disponible en http://www.maga.gob.gt/sig.

42. _____. 2000. Mapas temáticos de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 CD.

43. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional del Bosque, GT). 2001. Mapa fisiográfico- geomorfológico de la República de Guatemala a escala 1:250,000: memoria técnica. Guatemala. 109 p.

44. Martínez, O. 2004. Informe técnico de viviendas, agua potable y letrinización en las comunidades del municipio de San Pedro Necta. Guatemala, Huehutenango, San Pedro Necta. s.p. (Comunicación Personal)

45. Mérida Mérida, M. 2001. Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos, en la subcuenca del río Cuntze, Malacatancito, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 51 p.

46. MINECO (Ministerio de Economía, GT); COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones, GT). 2000. Norma NGO 29 001 agua potable. Guatemala. 14 p.

47. Motta Franco, EL. 1999. Estudio de la erosión hídrica del suelo, micro cuenca del río Itzapa, Chimaltenango, de 1994 a 1996. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 98 p.

48. Nolan, BT; Ruddy, BC; Hitt, KJ; Helsel, DR. 1998. A national look at nitrate contamination of ground water (this article replaced USGS Fact Sheet FS-092-96). Water Conditioning and Purification 39(12):76-79. Consultado 15 nov. 2003. Disponible en: http://water.usgs.gov/nawqa/wcp.

49. Oliva Hernández, BE. 2003. Calidad fisicoquímica del agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén. Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química, Departamento de Análisis Inorgánico, Unidad de Análisis Instrumental. Proyecto 83-00 línea FODECYT. 135 p.

50. Oliva Hernández, BE; Callejas Rivera, BC; Pérez Sabino, JF. 2001. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas. Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología / Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología / USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química, Departamento de Análisis Inorgánico, Unidad de Análisis Instrumental. Proyecto 82-99 línea FODECYT. 142 p.

51. OMS (Organización Mundial de la Salud, SW). 1995. Guías para la calidad del agua potable: recomendaciones. 2 ed. Suiza. v. 1, 195 p.

52. _____. 2003. Guidlines for drinking water quality. 3 ed. Suiza. Consultado 6 jun. 2004. Disponible en: http\\www.oms.or.

53. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto Nacional de Bosques. 106 p.

54. Padilla Cámbara, TA. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la micro cuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sábana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Costa Rica, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Postgrado. 103 p.

55. _____. 2004. Hidrogeoquímica, notas del curso. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Programa de Postgrado, Maestría en Ciencias de Manejo Sostenible del Suelo y Agua, con especialización en Planificación y Manejo de los Recursos Hídricos. s.p.

56. Pérez Sabino, JF. 2003. Carga de nutrientes y sedimentos del río Polochic y su impacto sobre la integridad ecológica del lago de Izabal. Tesis MSc. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Maestría en Estudios Ambientales. 251 p.

57. _____. 2003. Contaminación fisicoquímica y bacteriológica del río Dulce y del lago de Izabal. Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. 122 p.

58. PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, GT). 2002. Guatemala: una agenda para el desarrollo humano. Guatemala, 314 p.

59. Ramírez, E. 2004. Plan de reforestación y protección de manantiales de la oficina del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el municipio de San Pedro Necta. Guatemala, Huehuetenango, San Pedro Necta. s.p. (Comunicación personal)

60. Ritzema, HP. 1994. Drainage principles and aplications. Trad. Hedí Alejandro Vanegas Chacón. Wageningen, The Netherlands, ILRI. p. 87-172.

61. Schiere, J. 1989. LASF una letrina para la familia. Guatemala, Sacatepéquez, Santa María Cauqué, Comité Central Menonita. 64 p. (Edición Semilla).

62. SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, GT); CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, GT); CRRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos); CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana); PARLACEN (Parlamento Centroamericano, GT); DANIDA (Gobierno de Dinamarca, Ministerio del Exterior, DK). 1998. Plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos del istmo centroamericano: documento base para su discusión. Guatemala. 44 p.

63. Simmons, C. 1956. Descripción de los suelos que aparecen en la carta agrológica de reconocimiento de la República de Guatemala. Guatemala, Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. s.p.

64. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos dela República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1,000 p.

65. Tapia Vargas, LM. 2000. Manual práctico y económico de fertirriego para productores agrícolas. México, Universidad de Chapingo. 57 p.

66. Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria Politécnica, Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales. 2000. Demanda de oxígeno y materia orgánica (en línea). España. Consultado 26 jul. 2004. Disponible en www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=268

67. Universidad del Valle de Guatemala, GT. 1998. Residuos de plaguicidas organoclorados (en línea). Guatemala, Proyecto de investigación entre la Universidad del Valle de Guatemala y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Consultado 10 nov. 2003. Disponible en: http//:www.uvg.edu.gt.