

Fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. 2. Calidad del agua para consumo humano¹

Gabriel Sosa Pérez²;
Francisco Jiménez Otárola³

Para el monitoreo de la calidad de agua para consumo humano en la zona de estudio, así como para sustentar la toma de decisiones relacionadas con la gestión del recurso, la presencia o ausencia de lluvias influyó en la mayor parte de los parámetros estudiados, lo que sugiere la importancia de muestrear tanto en la época seca como en la de lluvias. Además, la mayoría de los parámetros estudiados (60%) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre acueductos, lo que indica que el monitoreo de la calidad de agua debe hacerse en todos los acueductos.



Foto: Gabriel Sosa Pérez.

¹ Basado en Sosa Pérez (2007).

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Chihuahua, México. C.P. 33000 Tel. y Fax. 01 (639) 472 21 51 sosa.gabriel@inifap.gob.mx

³ Programa Gestión Territorial de Recursos Hídricos y Biodiversidad. fjimenez@catie.ac.cr

Resumen

Se analizó la calidad del agua para consumo humano en las épocas seca y lluviosa del 2007 en 21 acueductos del Municipio de Valle de Ángeles, microcuenca del río La Soledad, Honduras. Los parámetros analizados fueron temperatura, turbiedad, pH, fosfatos, nitratos, sólidos suspendidos, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes totales. La mayoría de parámetros analizados mostraron diferencias significativas entre épocas y entre acueductos, lo que sugiere la importancia y necesidad de realizar el monitoreo de calidad de agua en ambas épocas y en todos los acueductos. La turbiedad, pH, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y coliformes totales presentaron niveles superiores a los establecidos en la normas de calidad de agua para consumo humano en Honduras. Los niveles de coliformes totales fueron altos en la mayoría de los acueductos y en las dos épocas de muestreo, pero superiores en la época lluviosa lo que posiblemente ocasiona el incremento de personas atendidas en los centros de salud debido a enfermedades de origen hídrico reportadas en ese periodo. Es necesario aumentar los esfuerzos en la gestión integral de la microcuenca para mejorar la calidad del agua.

Palabras claves: Recursos hídricos; cuencas hidrográficas; red de agua potable; calidad del agua; contaminación del agua; gestión; Valle de Ángeles; Honduras.

Summary

Water Sources for Human Consumption in La Soledad Microwatershed, Honduras. 2. Quality of Water for Human Consumption.

The quality of water for human consumption was analyzed during the dry and rainy seasons of 2007 in 21 aqueducts, in the microwatershed of La Soledad River, municipality of Valle de Angeles, Honduras. Parameters analyzed were temperature, turbidity, pH, phosphates, nitrates, suspended solids, dissolved total solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and total coliforms. Most of the parameters evaluated showed significant differences between seasons and aqueducts; that suggests the importance and need of monitoring water quality in both seasons and in all aqueducts. Turbidity, pH, suspended solids, dissolved oxygen and total coliforms presented levels higher than accepted under Honduran standards for human consumption. Total coliform levels were high in all aqueducts and in both seasons, but higher in the rainy season, possibly, causing an increment in the number of people attended at health centers due to water-related diseases. It is necessary to increase effort in the integral management of the watershed to improve water quality for human consumption.

Keywords: Water resources; watershed; drinking water network; water quality; water pollution; management; Valle de Angeles; Honduras.

Introducción

Las aguas superficiales de los ríos y nacientes son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por sustancias químicas o microorganismos patógenos de origen natural o antrópico. De hecho, el agua es un vehículo de dispersión y transmisión de sustancias

químicas y especies bacteriológicas que pueden constituir un riesgo para la propagación de enfermedades. La ingesta de agua contaminada con patógenos puede producir efectos inmediatos en la salud, mientras que los químicos pueden acumularse en el organismo durante meses, años o décadas y sus

consecuencias pueden manifestarse en forma de intoxicaciones graves o letales (OPS/OMS 2004). Más de mil millones de personas alrededor del mundo consumen agua contaminada y cada año mueren cerca de 3,4 millones, principalmente niños, debido a enfermedades de transmisión hídrica (WHO 2001).

Los efectos de las actividades humanas sobre los ecosistemas acuáticos pueden ser irreversibles a largo plazo y comprometen la calidad del agua (ONU/WWPA 2003). Las alteraciones en su calidad química y en los componentes bióticos pueden ser causadas o estar asociadas al cambio de uso de la tierra, lo cual provoca que las fuentes superficiales se vuelvan más vulnerables (Ometo et ál. 2000, Auquilla et ál. 2006). La evaluación de la calidad del agua que alimenta un sitio de captación es la base para tomar medidas preventivas y correctivas de vigilancia y protección (Borrego et ál. 2002).

En el Municipio de Valle de Ángeles, Honduras, gran parte de la población se dedica a actividades turísticas y de comercio; en ese contexto, es importante garantizar la disponibilidad de agua en calidad, así como favorecer las condiciones necesarias para mantener la oferta actual y futura de las fuentes abastecedoras, las cuales mayoritariamente se encuentran en la microcuenca La Soledad. Sin embargo, la presión urbanística y de desarrollo de infraestructura, así como los usos predominantes de la tierra y las tecnologías y prácticas de producción asociadas, aumentan constantemente la vulnerabilidad y el riesgo de escasez y contaminación del agua; de allí la necesidad de ejercer un control efectivo sobre la calidad del recurso hídrico. Con este estudio se buscó monitorear la calidad del agua y determinar su relación con el manejo de la microcuenca; además, se midieron los efectos e impactos de las actividades económicas que se realizan en la misma, para generar información que permita sustentar la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de la microcuenca y el recurso hídrico en particular. En un primer artículo, en este mismo número de la RRNA (pág. 101), se dio cuenta de los acueductos existentes en la microcuenca y de las prácticas agrosilvopecuarias empleadas; este

segundo artículo informa sobre la calidad del agua para consumo humano. En conjunto, se busca fortalecer y dar seguimiento a los procesos de gestión del desarrollo impulsados por los actores locales y externos del municipio, como las juntas de agua y la Alcaldía Municipal, con el apoyo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), a través del Programa Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas (Focuencias II).

Se trabajó en las fuentes de 21 acueductos de agua para consumo humano del municipio, donde se analizaron 12 parámetros físicos y químicos de calidad de agua. Los parámetros físicos medidos fueron: temperatura *in situ* (°C) y turbiedad (NTU). Los parámetros químicos fueron: fosfatos, nitratos, sólidos suspendidos, sólidos totales disueltos (todos ellos medidos en mg/l) y el pH. También se consideraron parámetros que reflejaran el contenido de materia orgánica en el agua, como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días y la demanda química de oxígeno (medidos en mg/l). En cuanto a los parámetros bacteriológicos, se analizaron los coliformes totales y coliformes fecales o termotolerantes (ambos medidos en UFC/100 ml).

El análisis se realizó en dos épocas del año 2007: el primero en la época seca, entre el 15 de marzo y 15 de abril y el segundo en la época de lluvias, entre el 15 de junio y 15 de julio. Se registraron y ubicaron en un mapa del municipio las obras de captación de agua potable que abastecen a los acueductos. Se analizaron fuentes superficiales de agua cruda; es decir, que no han sufrido ningún tratamiento y que provienen de quebradas o nacientes. Además, todas las obras de captación y tanques de almacenamiento fueron geo-referenciados para monitoreos futuros. Para la toma y

manejo de las muestra se siguió el instructivo del laboratorio de aguas del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados de Honduras (SANAA 2007). La mayoría de los análisis fueron realizados en el laboratorio del SANAA, excepto los de demanda química y bioquímica de oxígeno, que fueron realizados en el laboratorio del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).

El análisis de datos se hizo con el programa InfoStat para el análisis de varianza (ANAVA) con un diseño completamente aleatorizado y estructura factorial de tratamientos dados por la combinación del factor época (seca y lluviosa) y el factor acueducto (21 acueductos).

$$Y_{ij} = \mu + E_i + L_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Variable respuesta (parámetros de calidad de agua)
- μ : Media general
- E_i : Efecto de la *i*-ésima época
- L_j : Efecto del *j*-ésimo acueducto
- ε_{ij} : Término de error independiente, bajo el supuesto de distribución normal $(0, \sigma^2)$

Para el ANAVA se hizo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y gráficos de dispersión de residuos *versus* predichos para evaluar la homogeneidad de varianzas de los 12 parámetros de calidad de agua estudiados. En los casos en que las variables no cumplieron con los supuestos de normalidad, se realizó una transformación de los datos a rangos (estadísticos de orden). Para determinar si existe alguna relación entre las variables o parámetros de calidad de agua, se realizó un análisis con el coeficiente de correlación de Pearson, a fin de determinar si existe algún grado de asociación entre los parámetros y si la asociación observada era significativa.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis de calidad de agua se presentan para parámetro y por época; se consideró su posible relación con el uso del suelo en las zonas cercanas a las obras de captación (Cuadro 1). Los datos que no cumplieron con los supuestos de normalidad se presentan como rangos y los valores reales de las variables se transformaron para el análisis.

Temperatura

Hubo diferencias estadísticamente significativas entre épocas ($p=0,0004$). Al contrario de lo esperado, la temperatura fue más alta en el periodo lluvioso, con una media de $18,5^{\circ}\text{C}$; en la época seca la temperatura media fue de $17,4^{\circ}\text{C}$. Los resultados no tuvieron la tendencia esperada de mayor temperatura en la época seca, cuando la radiación solar incidente sobre la superficie es mayor y el balance de energía es generalmente dominado por el flujo de calor sensible. Es posible que en los meses de lluvia, la nubosidad evite la pérdida de radiación calórica de onda larga, lo que favorece el aumento de la temperatura del aire y del agua. En la zona de estudio, la temperatura alcanza los

valores máximos en abril, mayo y junio, mientras que los valores más bajos se presentan entre noviembre y febrero; este comportamiento se asocia con el movimiento del ecuador climático durante las diferentes épocas del año (Zúñiga 1990).

El coeficiente de correlación entre la temperatura y la turbiedad fue estadísticamente significativo ($r=0,3796$, $p=0,0004$), así como entre la temperatura y los sólidos totales disueltos ($r=0,2517$, $p=0,0209$). Esto significa que el aumento de los sólidos totales disueltos y de la turbiedad en la época de lluvias haya posiblemente influido en el incremento de la temperatura. Las partículas suspendidas absorben calor de la radiación solar, con lo que las aguas turbias se calientan y se reduce la concentración de oxígeno en el agua.

Entre acueductos también hubo diferencias estadísticas significativas ($p=0,0001$) que podrían explicarse por la ubicación de las fuentes de agua: los acueductos con menor temperatura se ubican en la zona núcleo del Parque Nacional La Tigra (PNLT), donde predomina un bosque mixto latifoliado y un denso bosque de coníferas. Las fuentes con temperaturas más altas se encuentran

a menor altitud, al Este del municipio, donde hay terrenos agrícolas con bosque mixto de cobertura parcial (Cuadro 2).

Turbiedad

Hubo diferencias estadísticas significativas entre épocas ($p=0,0400$); en la época seca la turbiedad promedio fue de 1,56 UNT, y de 7,19 UNT en la época lluviosa. La diferencia probablemente se debe al incremento de la escorrentía en el periodo de lluvias, que arrastra contaminantes y sedimentos.

La diferencia entre acueductos fue estadísticamente significativa ($p=0,0003$), aunque no hay una clara relación entre los niveles de turbiedad en fuentes protegidas por bosques y fuentes rodeadas por terrenos agrícolas y de pastoreo. Los tres acueductos con mayor turbiedad se ubican en el área de amortiguamiento del PNLT (Cuadro 3), donde hay bosque de pino poco denso, no se pastorea ni hay terrenos agrícolas. No obstante, según lo observado en el campo, se dan cortas clandestinas de madera, lo que posiblemente haya influido en la calidad del agua, al incrementarse el arrastre de sedimentos sobre pendientes con valores de hasta 100%.

Cuadro 1. Análisis de varianza de los resultados de calidad de agua en los acueductos del municipio de Valle de Ángeles, Honduras

Variable	Unidad de medida	Test: LSD Fisher Alfa:=0.05				CV	p-valor		
		Época seca (n=21)		Época lluviosa (n=21)			N = 42	Época	Acueducto
		Valor real	RANG	Valor real	RANG				
Temperatura	°C	17,45(A)*		18,52(B)		4,55	0,0004	0,0001	
Turbiedad	NTU	1,56	18,88 (A)	7,19	24,12 (B)	35,94	0,0400	0,0018	
pH	pH	6,56 (A)		6,34 (A)		6,36	0,1121	0,0001	
Fosfatos	mg/l	0,83 (B)		0,50 (A)		56,85	0,0112	0,3326	
Nitratos	mg/l	0,06	17,67 (A)	0,13	25,33 (B)	41,38	0,0112	0,0239	
S. suspend.	mg/l	10,67	26,19 (B)	4,76	16,81 (A)	56,49	0,0211	0,8305	
S.T. disuel.	mg/l	20,55(A)		24,12(A)		31,77	0,1181	0,0001	
Oxígeno dis.	mg/l	6,31 (B)		5,28 (A)		12,94	0,0002	0,0059	
DBO5	mg/l	1,72	27,10 (B)	0,85	15,90 (A)	49,02	0,0026	0,4187	
DQO	mg/l	2,75	22,57 (A)	1,51	20,43 (A)	49,92	0,5250	0,2703	
Col. totales	UFC/100 ml	107,62	13,62 (A)	486,81	29,38 (B)	38,73	0,0001	0,1640	
Col. term.**	UFC/100 ml	2,38		1,95		--	--	--	

* Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre épocas ($p <= 0,05$)

** No se incluyó en el análisis estadístico

Cuadro 2. Relación entre la ubicación de las fuentes y la temperatura promedio del agua en ocho acueductos de Valle de Ángeles

Acueducto	Temperatura (°C)	Cobertura vegetal y uso del suelo	Altitud (msnm)
Liquidambal	15,75	Bosque mixto latifoliado (PNLT)	1740
La Cimbra	16,00	Bosque de coníferas (PNLT)	1703
El Portillo	16,00	Bosque mixto latifoliado (PNLT)	1800
El Cantón	16,15	Bosque mixto latifoliado (PNLT)	1783
El Guayabo	19,75	Bosque mixto de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	1340
El Molino	20,75	Periferia de zona urbana	1391
Guanacaste	22,00	Bosque de coníferas ralo	1260
Jocomico	22,75	Zona agrícola	1280

Cuadro 3. Acueductos de Valle de Ángeles con resultados superiores al límite recomendado de turbiedad

Acueducto	Turbiedad NTU
El Suizo	5,92
El Tablón	8,15
La Escondida	16,93
Los Lirios	39,24

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbiedad
La Norma de Calidad de Agua de Honduras recomienda un valor de 1 NTU y un máximo admisible de 5 NTU (SANAA 2007).

pH

No hubo diferencias estadísticas significativas en los valores de pH entre épocas ($p=0,1121$), pero fueron altamente significativas entre acueductos ($p=0,0001$). Los bajos niveles de pH se deben, posiblemente, a la influencia del material geológico (Cuadro 4). En la zona afloran rocas volcánicas cineríticas y lávicas, de composición mayormente ácida y con altos niveles de mineralización, posiblemente de tipo hidrotermal (PMDN-CATIE 2002). El efecto se evidencia en que los tres acueductos con el valor de pH más bajo captan el agua directamente de manantiales, mientras que en los otros acueductos se capta en el cauce de los ríos.

Posiblemente también hubo influencia del suelo y vegetación en todas las fuentes de agua, ya que el 64% del territorio es de uso forestal, donde predominan bosques de coníferas y suelos ácidos. Según Porta et ál. (1999), la acidificación de los suelos es determinada por diversos factores, como la litología de los materiales originarios (rocas

pobres en bases, sedimentos con sulfuros, etc.), los componentes del suelo (silicatos, óxidos de Al, Fe, ácidos solubles); la posición topográfica (por la entrada de aguas con protones o por la salida con pérdidas de bases) y la vegetación (extracción de bases, ciclos biogeoquímicos y la naturaleza de la materia orgánica incorporada al suelo).

Fosfatos

Hubo diferencias estadísticas significativas en los resultados de fosfatos entre las dos épocas ($p=0,0112$), con una media de 0,83 mg/l para el periodo seco y 0,50 mg/l en el lluvioso. La diferencia entre acueductos no fue estadísticamente significativa ($p=0,3326$).

El análisis de correlación mostró una relación significativa entre los sólidos suspendidos y los fosfatos ($r=0,3027$, $p=0,0051$), lo que indica que entre mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, mayor es la probabilidad de presencia de fosfatos. Según FAO (1996), los sedimentos pueden representar una sustancia contaminante tanto

desde el punto de vista físico como químico; la contaminación química incluye la absorción de metales, fósforo y sustancias químicas orgánicas hidrofóbicas. Esto explicaría la mayor presencia de fosfatos en el periodo seco, cuando los niveles de sólidos suspendidos fueron mayores.

Según Chapman (1992), los fosfatos se encuentran principalmente en aguas superficiales en forma natural (rocas, restos de animales) y en forma artificial (fertilizantes y detergentes, aguas residuales, establos). Las formas artificiales posiblemente influyeron en la diferencia de resultados entre épocas, ya que las actividades productivas, como la agricultura y la ganadería, varían en la escala temporal; es decir, se dan en ciertos momentos y en otros no, lo cual puede afectar la calidad del agua.

Nitratos

Los datos obtenidos fueron transformados a rangos para su análisis. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre épocas ($p=0,0112$), con valores reales para el periodo seco de 0,06 mg/l y para el lluvioso de 0,13 mg/l. La diferencia entre acueductos también resultó estadísticamente significativa ($p=0,0239$); sin embargo, los resultados son muy bajos, pues en ningún acueducto la presencia de nitratos es superior al límite permitido por la Norma de Calidad de Agua de Honduras (25 mg/l como valor recomendado y 50 mg/l como máximo admisible). Tampoco hubo una relación clara entre los niveles de nitratos y el uso del suelo alrededor de las diferentes fuentes.

Aunque las concentraciones son muy bajas, la mayor concentración de nitratos en la época lluviosa se debe probablemente al transporte por escorrentía del agua de lluvia. El nitrato es uno de los aniones principales en las aguas naturales, pero su concentración se puede incrementar gradualmente debido al lixiviado del

nitrógeno proveniente de abonos agrícolas, parcelas de cultivos o de fosas sépticas (Perry et ál. 2002).

Brooks et ál. (1996) expresan que el aporte del nitrógeno al agua no sólo se debe a una mayor frecuencia de actividades agrícolas, sino también a la entrada de material orgánico de origen natural. Dado que los niveles de nitratos son bajos, esta última aseveración sugiere la presencia de nitratos en fuentes o acueductos ubicados en zonas de bosque, incluso dentro del PNLT, donde no hay terrenos agrícolas o acceso de ganado, pero sí una gran cantidad de materia orgánica natural originada en el bosque.

Sólidos suspendidos y sólidos totales disueltos

Los datos de la variable ‘sólidos suspendidos’ mostró diferencias estadísticamente significativas entre épocas ($p=0,0211$). La media del periodo seco fue de 10,67 mg/l y de 4,76 mg/l para el lluvioso. Entre acueductos no hubo diferencias significativas ($p=0,8305$). En las fuentes de los acueductos que presentaron niveles altos de turbiedad también se observó una asociación entre la turbiedad y los sólidos suspendidos (Cuadro 5). En el caso del acueducto Chiquistepe, los datos de turbiedad posiblemente también están influenciados por el contenido relativamente alto de hierro en el agua (0,09 mg/l).

Para los sólidos totales no hubo diferencias estadísticamente significativas entre épocas ($p=0,1181$), pero sí entre acueductos ($p=0,0001$). La diferencia entre acueductos probablemente se debe a la influencia del uso de la tierra sobre la calidad del agua. Brooks et ál. (1991) mencionan que los sedimentos intervienen en la mayoría de procesos de uso del suelo. Los aprovechamientos forestales, el uso del fuego, la ganadería y la agricultura son sólo algunas de las actividades asociadas a la contaminación de

aguas por sedimentos. La medida de sólidos totales incluye sólidos disueltos y sólidos suspendidos; los materiales disueltos u orgánicos incluyen calcio, bicarbonato, nitrógeno, hierro, sulfato y otros átomos encontrados en el agua (Roldán 1992). Esta divergencia de sólidos sugiere múltiples causas posibles que podrían explicar la ausencia de relaciones claras entre acueductos y el uso del suelo que rodea a las fuentes de agua.

Oxígeno disuelto

Para este parámetro de calidad del agua hubo diferencias estadísticas entre épocas ($p=0,0002$); en el periodo seco la media fue de 6,31 mg/l y de 5,28 mg/l en el lluvioso; o sea, ligeramente inferior al rango establecido por la Norma de Calidad de Agua de Honduras (Cuadro 6). Entre los acueductos también hubo diferencias estadísticas significativas ($p=0,0059$). La menor concentración de oxígeno disuelto en el periodo

Cuadro 4. Acueductos de Valle de Ángeles con resultados inferiores al rango recomendado de pH

Acueducto	pH
El Guayabo	4,45
Bordo Las Martitas	4,77
Las Martitas	5,34
Quebrada Honda	5,48
El Portillo	5,81
San Francisco	5,86
El Suizo	5,98
Los Lirios	6,30
Chinacla	6,38
Liquidambal	6,45
Chiquistepe	6,47

La Norma de Calidad de Agua de Honduras recomienda un pH entre 6,5-8 (SANAA 2007).

Cuadro 5. Acueductos de Valle de Ángeles con resultados superiores al límite recomendado para sólidos suspendidos

Acueducto	Turbiedad (NTU)	Sólidos suspendidos (mg/l)
El Liquidambal	0,71	12
La Escondida	16,93	14
Los Lirios	39,24	16
Chiquistepe	1,62	30

La Norma de Calidad de Agua de Honduras recomienda un valor menor a 10mg/l para sólidos suspendidos (SANAA 2007).

Cuadro 6. Acueductos de Valle de Ángeles con resultados fuera del rango recomendado para oxígeno disuelto

Acueducto	Oxígeno disuelto (mg/l)
Jocomico	4,70
El Guayabo	4,85
Chiquistepe	5,30
Chinacla	5,43
Sabaneta	5,73
La Escondida	5,95

La Norma de Calidad de Agua de Honduras recomienda un rango de 6-8 mg/l para oxígeno disuelto (SANAA 2007).



El agua es un medio de dispersión y transmisión de sustancias químicas y especies bacteriológicas que pueden constituir un riesgo para la salud

lluvioso posiblemente se relacione con las mayores temperaturas para el mismo periodo y los mayores niveles de turbiedad. Con el incremento de la temperatura, las tasas de respiración pueden aumentar; en consecuencia, disminuye la solubilidad del oxígeno y aumentan las tasas de mineralización de la materia orgánica y el consumo de oxígeno (Seoánez 1999).

Demanda química y bioquímica de oxígeno

En cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO) no hubo diferencias estadísticas significativas entre épocas ($p=0,5250$) ni entre acueductos ($p=0,2703$). Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) hubo diferencias significativas entre épocas ($p=0,0026$) con valores de 1,72 mg/l en el periodo seco y de 0,85 mg/l en el lluvioso. Entre acueductos no hubo diferencias significativas ($p=0,4187$).

La diferencia encontrada entre épocas para la DQO posiblemente se debe a la variación temporal de las actividades agrícolas y de pastoreo, dado que los resultados coinciden con la mayor presencia de fosfatos y sólidos suspendidos en el periodo seco. Por lo anterior,

no se puede asegurar que haya una presencia considerable de materia orgánica. Las aguas naturales con valores de DBO menores a 4 mg/l se consideran razonablemente limpias, pero si el valor es mayor que 10 mg/l las aguas ya están contaminadas con materia orgánica (Brooks et ál. 1991). El análisis de correlación mostró un coeficiente alto y positivo entre la DBO y la DQO ($r=0,3856$, $p=0,0003$).

Coliformes totales

Hubo diferencias estadísticamente significativas entre épocas ($p=0,0001$); los valores promedio fueron de 107 UFC/100 ml para el periodo seco y 486 UFC/100 ml para el lluvioso. La diferencia entre acueductos no resultó estadísticamente significativa ($p=0,1640$). En el análisis de correlación se obtuvo un coeficiente negativo significativo entre los coliformes totales con el oxígeno disuelto ($r=-0,3818$, $p=0,0003$). Según Roldán (1992), cuando la materia orgánica entra en contacto con el agua, los microbios y macroinvertebrados colonizan e inician el proceso de descomposición, durante el cual los organismos consumen oxígeno disuelto en el agua.

La Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable de Honduras indica que el valor recomendado para el análisis de coliformes totales debe ser 0 UFC/100 ml, por lo tanto, todos los acueductos resultaron con valores superiores a la norma (Cuadro 7).

Otra correlación significativa resultó entre los sólidos totales disueltos y los coliformes totales ($r=0,4894$, $p=0,0001$). Según Perry et ál. (2002), las partículas que provocan la turbiedad pueden funcionar como asientos de absorción de sustancias tóxicas en el agua y proteger a los patógenos (incluyendo a los coliformes) de la desinfección. Esto podría explicar la mayor cantidad de coliformes totales en la época de lluvias, cuando fue mayor el nivel de turbiedad.

En un análisis complementario sobre la frecuencia de enfermedades de origen hídrico en el municipio de Valle de Ángeles se identificaron siete enfermedades asociadas con el agua: dengue, dermatitis alérgica, diarrea/disentería, escabiosis/pediculosis, hepatitis A, infecciones de la piel y parasitismo intestinal. Tales enfermedades podrían deberse al consumo de agua contaminada con coliformes y otros patógenos, la falta de higiene por escasez de agua para lavarse o preparar alimentos y las condiciones sanitarias deficientes en el hogar. El número de pacientes atendidos a causa de estas enfermedades aumentó en la época de inicio y establecimiento de las lluvias (mayo-junio), cuando también aumenta la cantidad de coliformes totales.

Conclusiones

La presencia o ausencia de lluvias influyó en la mayor parte de los parámetros estudiados, lo que sugiere la importancia de muestrear tanto en la época seca como en la de lluvias para el monitoreo de la calidad de agua para consumo humano en la zona de estudio, así como para sustentar la toma de decisiones relacionadas con la gestión del recurso.

Cuadro 7. Promedio de coliformes totales en los acueductos de Valle de Angeles, Honduras

Acueducto	UFC/100 ml	Acueducto	UFC/100 ml
Las Martitas	20	El Tablón	240
Quebrada Honda	25	Chagüitillo, Sauce y Cañadas	250
El Cantón	70	Bordo Las Martitas	270
Liquidambal	105	El Molino	300
El Portillo	135	Chiquistepe	400
La Esperanza	140	Los Lirios	545
Chinacía	140	Guanacaste	560
San Francisco	170	El Suizo	620
La Cimbra	175	El Guayabo	709
Sabanetas	180	Jocomico	962
La Escondida	225		

La mayoría de los parámetros estudiados (60%) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre acueductos, lo que indica que el monitoreo de la calidad de agua debe hacerse en todos los acueductos.

La turbiedad, pH, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y coliformes totales presentaron niveles superiores a los establecidos en las normas de calidad de agua para consumo

humano definidas para Honduras. En futuros monitoreos debe prestarse especial atención y definir acciones que permitan reducir o eliminar las fuentes de afectación de la calidad de agua.

La diferencia en cobertura vegetal y uso del suelo influyeron en los parámetros temperatura y sólidos totales disueltos; en ambos casos, el valor del parámetro fue menor cuando la fuente se ubica a

mayor altitud y en zona boscosa. Los niveles de fosfatos y nitratos encontrados fueron bajos, tanto en acueductos que presentan una cobertura vegetal boscosa como en los que tienen una mayor influencia de áreas de agricultura. Esto sugiere que las prácticas agrícolas actuales no son fuentes determinantes de contaminación de las aguas.

Los niveles de coliformes totales fueron altos en la mayoría de los acueductos y en las dos épocas de muestreo, aunque superiores en la época lluviosa. Posiblemente, esto influye en el incremento del número de personas atendidas en los centros de salud debido a enfermedades de origen hídrico durante el establecimiento del periodo lluvioso.

Las fuentes de agua que se captan en zonas de actividad agrícola y presencia temporal de ganado tuvieron un conteo mayor de coliformes totales, lo que evidencia la relación estrecha entre las actividades productivas y la contaminación del agua.

Literatura citada

- Aquilla, RC; Astorga, Y; Jiménez, F. 2006. Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 48: 81-92
- Borrego, J; Morales, JA; De la Torre, ML; Grande, JA. 2002. Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of the Tinto and Odiel River Estuary (Southwestern Spain). *Environmental Geology* 41: 785-796.
- Brooks, KN; Ffolliott, P; Gregersen, HM; DeBano, L. 1996. Hydrology and the management of watersheds. 3 ed. Iowa, Estados Unidos, Iowa State University Press. 574 p.
- Brooks, KN; Ffolliott, PF; Gregersen, HM; Thames, JL. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa, Estados Unidos, Iowa State University Press. 392 p.
- Chapman, D. 1992. Water quality assessments: A Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. London, Reino Unido, UNESCO. 565 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1996. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Roma, Italia. Informes sobre temas hídricos no. 1. 385 p.
- Ometo, JP; Martinelli, LA; Ballester, MV; Gessner, MV; Krusche, AV; Victoria, RL; Williams, M. 2000. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba River Basin, South-East Brazil. *Freshwater Biology* 44: 327-337.
- ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2003. 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: agua para todos, agua para la vida. París, Francia, UNESCO-WWAP. 577 p.
- OPS/OMS (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud). 2004. Agua y Salud. OPS/HEP/99/33. 28 p.
- Perry, DC; Michael, C; Beger, PS. 2002. Aspectos de la calidad del agua: salud y estética. In *American Water Works Association (Ed.). Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua contaminada*. 5 ed. Barcelona, España, McGraw-Hill. p.47-118.
- PMDN-CATIE (Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2002. Componentes de análisis de vulnerabilidad, identificación de medidas y diseño de un plan de capacitación a nivel municipal. Tegucigalpa, Honduras. 33 p.
- Porta, CJ; López, AM; Roguero, DC. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 849 p.
- Roldán, PG. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia, Universidad de Antioquía. 529 p.
- SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados de Honduras). 2007. Instructivo de toma de muestras. Tegucigalpa, Honduras, Laboratorio de control de calidad de agua. 4 p.
- Seoánez, M. 1999. Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental. 2 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 702 p.
- Sosa Pérez, G. 2007. Componentes de la gestión del agua para consumo humano en el municipio de Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 174 p.
- WHO (World Health Organization). 2001. WHO highlights global impact of unsafe water. Reuters Health Information (en línea). Consultado 5 jun. 2007. <http://id.medscape.com/reuters/prof/2001/03/03.23/20010322publ002.html>
- Zúñiga, AE. 1990. Las modalidades de la lluvia en Honduras. Tegucigalpa, Honduras, Guaymuras. 141 p.