

Influencia de la geología regional, los ciclos estacionales y los asentamientos humanos en la caracterización de las aguas superficiales de la cuenca de Linares-Cerro Prieto, N.L., México

Cecilia O. Rodríguez de Barbarín y Juan Manuel Barbarín-Castillo
Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, México

Recibido: 8 de octubre, 1991; aceptado: 21 de mayo, 1992.

RESUMEN

Un estudio físico, químico y bacteriológico de las aguas superficiales en la región de Linares, Nuevo León, NE México, fue efectuado de 1986 a 1990 con el fin de evaluar el impacto de la geología regional, el clima estacional y los asentamientos humanos en la caracterización de las mismas. Las muestras fueron tomadas a lo largo de los tres principales escurrimientos y la presa colectora de la cuenca, siendo analizadas para determinar los iones mayoritarios y su contenido en organismos coliformes. Las aguas están enriquecidas en los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- principalmente, pudiendo clasificarse en cálcico-sulfatadas para el río Pablillo y cálcico-bicarbonatadas para sus afluentes Hualahuises y Camachito. Esta clasificación en general no se altera con la temporada del año, aunque en períodos de estiaje existe un marcado aumento en la concentración. Los minerales asociados por intemperismo con la composición de las aguas son la calcita y el yeso. Altas concentraciones de organismos coliformes (≥ 1600 NMP/100 ml) son evidenciadas en la cercanía de las descargas de aguas domésticas. Al momento todavía el sistema tiene capacidad para diluir, asimilar y estabilizar en forma natural el contenido de dichas descargas, habiéndose determinado valores tan bajos como 4 NMP/100 ml en las aguas del vaso de la presa José López Portillo ("Cerro Prieto"), aunque en la época de estiaje este valor puede llegar hasta 500 NMP/100 ml con < 2 NMP/100 ml como coliformes fecales. El crecimiento poblacional y el sentido común hacen altamente recomendable detener la práctica actual de mezclar las aguas de desecho con las superficiales.

PALABRAS CLAVE: Linares, N.L., calidad del agua, México.

ABSTRACT

A physical, chemical, and bacteriological survey in the region of Linares, Nuevo León, NE Mexico, from 1986 to 1990, yields high Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} and Cl^- values (calcium sulfate in Río Pablillo and calcium bicarbonate for its affluents Hualahuises and Camachito). There is a strong increase in their concentration in the dry season. The main minerals associated with weathering are calcite and gypsum. High E. coli counts (≥ 1600 NMP/100 ml) are found near domestic sewers. The system still retains a reasonable capacity for tolerating these discharges. Values as low as 4 NMP/100 ml were found in José López Portillo ("Cerro Prieto") reservoir, but in the dry season these values can rise to 500 NMP/100 ml with less than 2 NMP/100 ml in fecal coliforms. With the increase in population, common sense strongly advises to stop immediately the discharge of sewage into the rivers.

KEY WORDS: Linares, N.L., water quality, Mexico.

INTRODUCCION

La química de los iones mayoritarios en las aguas de ríos revela la naturaleza de las interacciones roca-agua en complejos montañosos y cuencas, ayudándonos a comprender los procesos de transferencia de los elementos en el sistema global continente-río-océano. La importancia de ello ha guiado al desarrollo de un buen número de estudios geoquímicos en algunos sistemas de ríos del mundo, incluyendo al Amazonas (Gibbs, 1972; Stallard y Edmond, 1983, 1987), al Mekong (Carbannel y Meybeck, 1975), al Vouga en Portugal (Comans *et al.*, 1987) y al Ganges-Bramaputra en el sub-continente Indio (Sarin *et al.*, 1989), entre otros.

En este trabajo se presentan datos sobre la química de los iones mayoritarios en el sistema de ríos de la cuenca de Linares, NE de México, así como de la presa José López Portillo ("Cerro Prieto").

La importancia estratégica y económica de la cuenca reside en el hecho de que la presa, con capacidad para 393 millones de m^3 , fue construida con la finalidad de reforzar y asegurar el abastecimiento de agua en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey (2.6 millones de habitantes), capital del Estado de Nuevo León y tercer centro urbano e industrial en importancia en México. Actualmente se extrae agua de la presa, por períodos, a razón de 4.1 m^3/seg , bombeada por un acueducto de 135

km de longitud, se hace llegar a Monterrey, donde es potabilizada y distribuida por la red de la ciudad.

El propósito final del estudio fue el de evaluar los efectos que pudieran ejercer el ambiente geológico, el clima y los asentamiento humanos, para un posible y no improbable riesgo al abasto de agua de buena calidad, sin el cual Monterrey tendría definitivamente que reconsiderar las medidas de tratamiento o hasta sus estrategias de desarrollo y crecimiento.

HIDROGEOLOGIA REGIONAL

Comprendida en la Región Hidrológica RH25 "San Fernando-Soto La Marina" y localizada entre las coordenadas limítrofes de 24°24' y 24°58' de Latitud Norte y 99°34' y 99°59' de Longitud Oeste, la cuenca de Linares abarca una superficie de 1708 km² hasta la cortina de la presa Lic José López Portillo "(Cerro Prieto)". Porciones importantes de las provincias geológicas de la Sierra Madre Oriental y de la planicie costera del Golfo de México se hallan incluidas en la cuenca superficial (Figura 1).

El principal escurrimiento de la cuenca es el río Pablillo, que nace a unos 60 km al SW de Linares en la ceranía de los cerros Pablillo e Infiernillo (3167 m.s.n.m.), en la Sierra Madre Oriental. Este río corre con dirección SW-NE pasando por Linares, donde se le unen las aguas de los ríos Hualahuises y Camachito, éstas últimas en forma combinada dan origen a un río de corta trayectoria llamado Camacho, mismo que vierte sus aguas por la margen izquierda del río Pablillo a sólo 10 km al NE de Linares, ya para desembocar en la presa "Cerro Prieto" (INEGI, 1981).

Para el área y planicie de Linares el clima se define como semicálido-subhúmedo con una temperatura media anual de 22°C y una máxima de 43°C. La precipitación media anual es del orden de 700-800 mm. Estos parámetros se ven muy influenciados por la altitud, de tal forma que en las porciones de la cuenca dentro de la provincia geológica de la Sierra Madre Oriental, las precipitaciones llegan a ser del orden de 900-1100 mm en promedio anual. La región muestra claramente dos temporadas de lluvias. La temprana y poco significativa de abril-mayo, y la tardía más abundante en agosto-octubre. Estas lluvias vienen a ser el origen principal de las aguas de la cuenca (INEGI, 1981).

Aparte de las crecidas de los ríos durante la temporada de lluvias de agosto-octubre, el caudal durante los secos meses de verano es sostenido por la continua descarga de aguas subterráneas. La aportación promedio anual de la cuenca es de 230 millones de m³, correspondiendo al río Pablillo aproximadamente un 60 por ciento de dicha cantidad (de León Gómez, 1992).

Padilla y Sánchez (1982) ha reportado la geología del área del estudio. La Sierra Madre Oriental está constituida por rocas sedimentarias del Jurásico Superior al Cretácico Superior en capas fuertemente plegadas y fracturadas, hallándose completa toda secuencia estratigráfica desde la Formación Minas Viejas hasta la Formación Méndez, a lo que se suman conglomerados, aluviones y suelos del Cuaternario (Figura 2). La permeabilidad de las calizas masivas, especialmente las de la Formación Tamaulipas que sirven como acuífero principal, provee de los medios de retención y almacenamiento de las aguas de lluvia, razón por la cual se considera a la Sierra Madre Oriental zona de recarga y cuerpo receptor-almacenante de las aguas subterráneas de la región.

La planicie costera del Golfo de México, en la región en estudio, está básicamente constituida por rocas lutíticas del Cretácico Superior (Fm. Méndez), a las que sobreyacen conglomerados, gravas y limos fluviales del Plioceno y del Cuaternario. Las estructuras características de las rocas del Cretácico en la planicie costeras están formadas por numerosos pliegues de pequeñas dimensiones con abundantes fracturas y fallas. Estos rasgos permiten definir a las lutitas de la Fm. Méndez como un acuífero somero de moderada potencialidad. Los conglomerados y las gravas, sin embargo, forman un acuífero de mayor potencialidad.

Con base en lo anterior, la composición química de las aguas de la cuenca dependerá tanto de la distribución superficial como subterránea de las rocas mencionadas. La Fm. Minas Viejas del Jurásico Superior en la Sierra Madre Oriental, se halla constituida por rocas sedimentarias originadas en un ambiente lagunar cerrado con intensa evaporación, donde se precipitaron las gruesas capas de yeso (CaSO₄·2H₂O). Las aguas en contacto con estas rocas se distinguen por su alto contenido en los iones calcio y sulfato principalmente. Por otra parte, las aguas en contacto predominantemente con el resto de las rocas de la columna estratigráfica, se distinguen por su contenido en iones bicarbonato, calcio y magnesio, característicos de la interacción de agua con rocas calcáreas.

MUESTREO Y METODOLOGIA

Este trabajo, desarrollado a lo largo de 4 años, de octubre de 1986 a noviembre de 1990, permitió la toma de muestras durante todas las estaciones, correspondiendo con condiciones de caudal bajo, moderado y alto en los ríos. Se muestrearon 14 puntos o sitios (Figura 3 y Tabla 1), de los cuales 5 corresponden a la presa Cerro Prieto (claves L1 a L5), mientras los restantes 9 quedaron distribuidos estratégicamente aguas arriba y abajo de los poblados Linares y Hualahuises, así como en las confluencias de las corrientes (claves P1 a P4, H1, y H2 y C1 a C3 respectivamente para los ríos Pablillo, Hualahuises y Camachito-Camacho). La distancia entre puntos extremos de muestreo

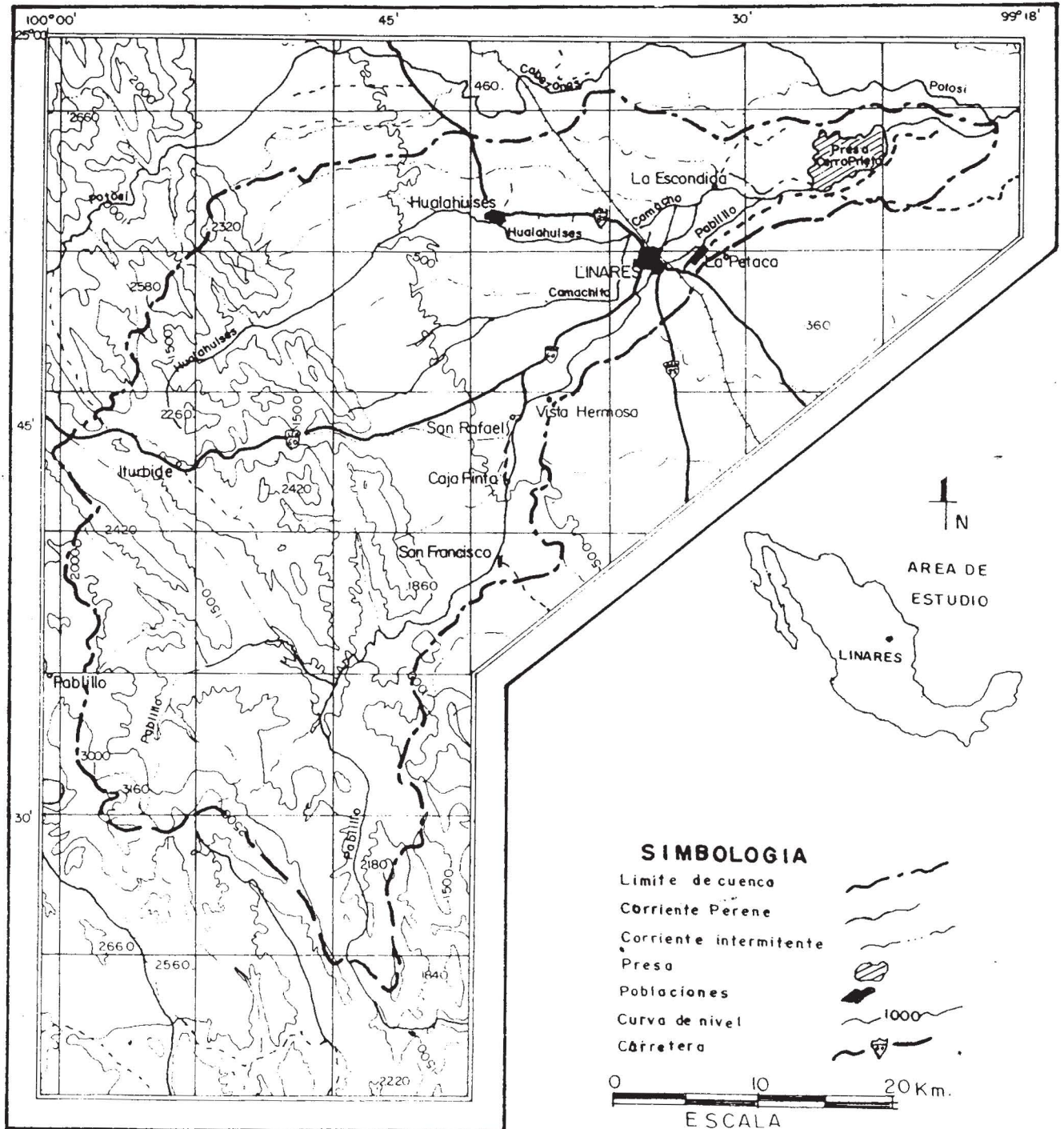


Fig. 1. Cuenca del río Pabillito.

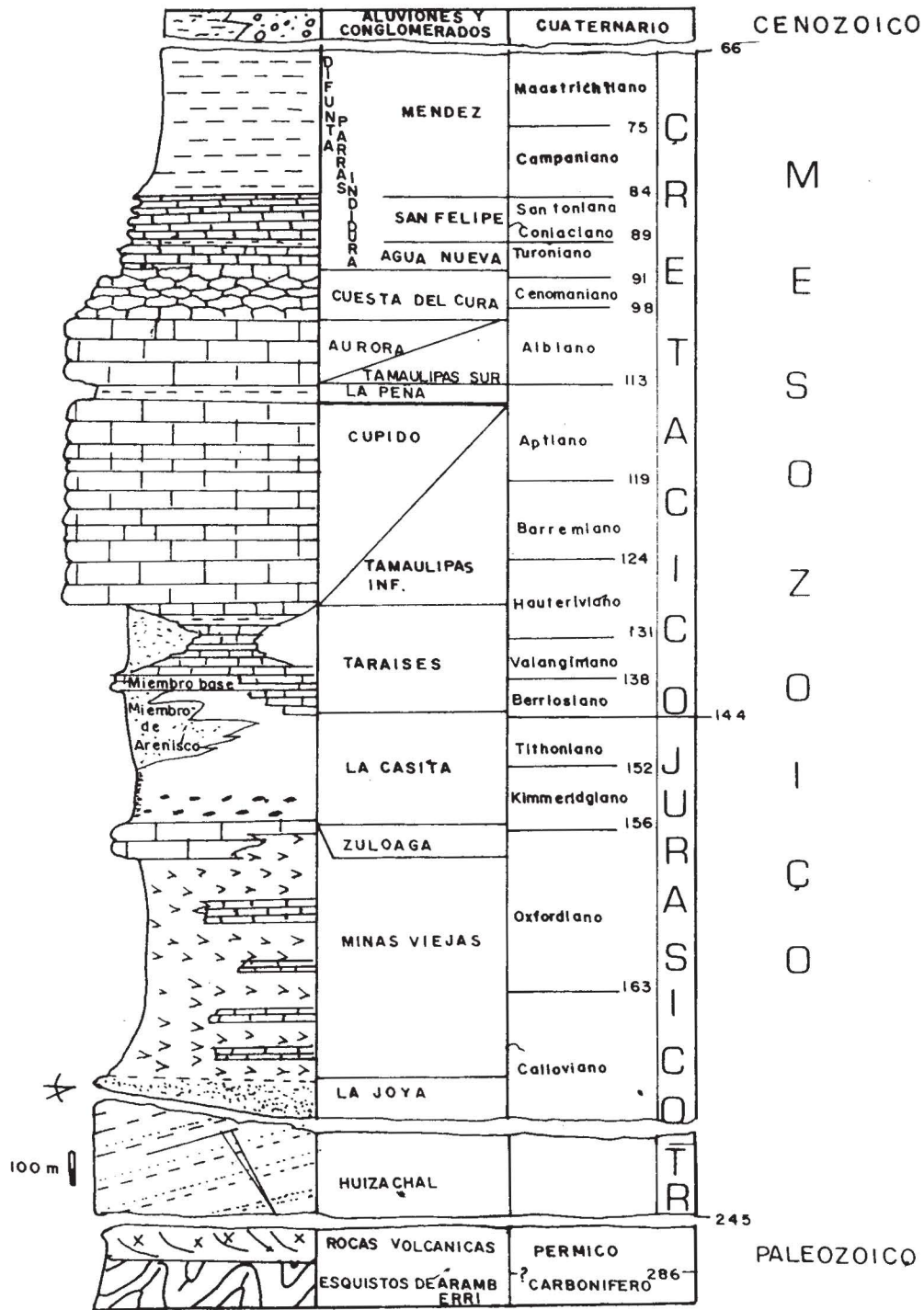


Fig. 2. Columna estratigráfica de la región noreste de la Sierra Madre Oriental. Las cifras indican edades en millones de años (Michalzik, 1988).

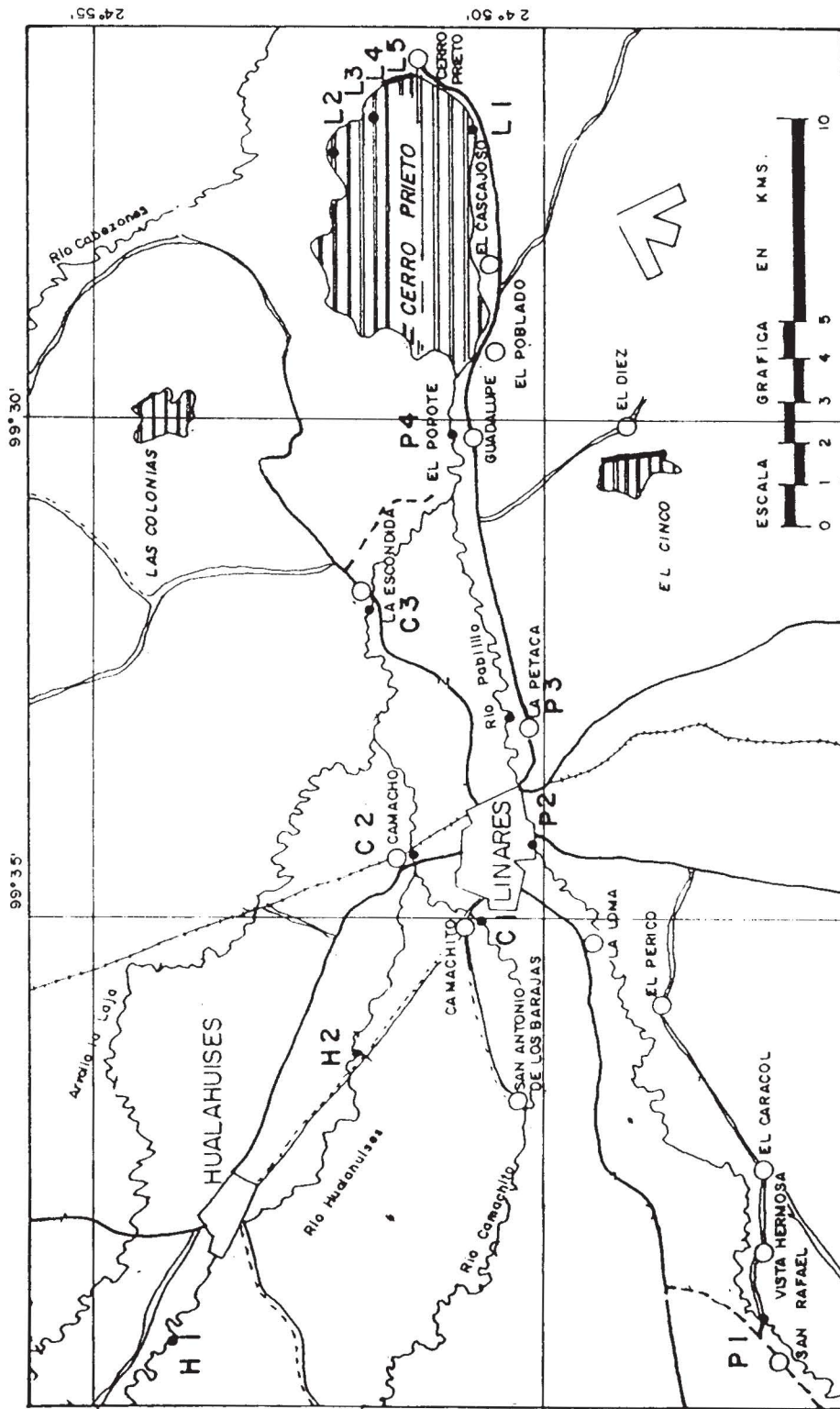


Fig. 3. Area en estudio señalando los puntos de muestreo.

Tabla 1

Claves y coordenadas de los 14 puntos de muestreo en la cuenca Linares-Cerro Prieto.

Río Pablillo		Presa "Cerro Prieto"	
P1	99°38'52''W 24°46'13''N	L1	99°23'53''W 24°54'33''N
P2	99°33'30''W 24°51'15''N	L2	99°24'09''W 24°56'33''N
P3	99°32'32''W 24°51'48''N	L3	99°24'08''W 24°56'10''N
P4	99°28'14''W 24°54'02''N	L4	99°24'08''W 24°56'10''N
		L5	99°24'08''W 24°56'10''N
Río Camachito/Camacho		Río Hualahuises	
C1	99°35'05''W 24°51'32''N	H1	99°43'05''W 24°53'26''N
C2	99°34'22''W 24°52'34''N	H2	99°37'27''W 24°52'20''N
C3	99°31'08''W 24°54'14''N		

fue de 31 km. Los muestreos en la presa se efectuaron en diferentes ubicaciones y a diversas profundidades. Así, L1 y L2 corresponden con puntos a los lados del vaso a profundidades de 2 y 5 m respectivamente. Las muestras L3, L4 y L5 fueron tomadas del vaso a profundidades de 2, 10 y 20 m respectivamente. Las técnicas experimentales se presentan en la Tabla 2.

La calidad de los análisis fue verificada mediante el control en el balance de las especies catiónicas y aniónicas. El porcentaje de error entre estas especies en miliequivalentes por litro provee una medida de la exactitud de los resultados analíticos. Sólo se tomaron en cuenta los datos para aquellas muestras en que el error en el balance fue menor de 6%.

RESULTADOS

Química de los iones mayoritarios

Los datos sobre la composición iónica de las aguas del río Pablillo, sus tributarios y la presa "Cerro Prieto", son reportados en la Tabla 3. Esta tabla no incluye los datos de concentración de los iones minoritarios Fe^{3+} , NO_2^- y Li^+ . Estos tienen los siguientes rangos de concentración de 0.001 a 0.6 mg/l, de 0.0 a 0.02 mg/l y de 0.0 a 0.07 mg/l, respectivamente. Estas especies y sus valores de concentración no se utilizaron en este trabajo, excepto en la determinación del error en el balance iónico.

Temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica

La temperatura de las aguas no se considera como fuertemente influenciada por la altitud, sino más bien por la temporada estacional del muestreo, ya que los puntos de muestreo extremos se hallan separados por sólo 31 km de

distancia dentro de la planicie. Los valores medidos oscilan entre 17°C (9 de enero de 1987, 19 de enero y 22 de febrero de 1988) y 33°C (29 de agosto de 1989).

Los valores de pH determinados en el campo fueron para el río Pablillo en el rango de 7 a 8.4, río Hualahuises de 7.1 a 8.4, río Camachito de 6.9 a 8.4 y presa "Cerro Prieto" entre 7.1 y 8.3. Estas fluctuaciones en los valores de pH obedecen más bien a factores estacionales que de localización de puntos de muestreo, dándose los mayores valores durante las temporadas de más bajo caudal en el estío. De los datos de la Tabla 3 puede observarse también que cada escurrimiento mantiene aproximadamente constante su pH a lo largo del tramo estudiado. Los rangos de valores de pH son típicos para las aguas de ríos que no se hallan contaminadas con aguas industriales. En la naturaleza, los ríos presentan valores de pH en el rango de 6.5 a 8.5 (Hem, 1985).

Los datos de conductividad eléctrica (CE) de las aguas, también medidos en el campo, fueron: para el río Pablillo en el rango de 360 a 1400 $\mu\text{mhos/cm}$, río Hualahuises de 237 a 490 $\mu\text{mhos/cm}$, río Camachito de 335 a 800 $\mu\text{mhos/cm}$ y presa "Cerro Prieto" de 335 a 800 $\mu\text{mhos/cm}$. En cada caso los valores altos ocurrieron durante los períodos de caudal más bajo, es decir, en la temporada de estiaje. Las aguas del río Hualahuises son mucho menos cargadas de iones mayoritarios (como Ca^{2+} , HCO_3^- y SO_4^{2-}) que las del resto de los escurrimientos estudiados, lo que se demuestra por sus comparativamente bajos valores de CE.

Bacteriología de las aguas

La Tabla 4 resume los valores medidos para los parámetros bacteriológicos Coliformes totales y Coliformes fecales (NMP/100 ml) en los ríos Pablillo, Hualahuises,

Tabla 2

Métodos experimentales

Parámetro	Método
Temperatura	Termómetro de mercurio.
pH	Potenciométrico in situ.
Conductividad eléctrica	Conductimétrico in situ (calibrado con soluciones estandares).
Calcio y Magnesio	Valoración con EDTA y/o Espectrometría de absorción atómica
Sodio y Potasio	Espectrometría de absorción atómica
Bicarbonato y Carbonato	Valoración en el laboratorio dentro de un tiempo máximo de 24 hrs del muestreo.
Cloruro	Valoración con AgNO_3 .
Nitrato	Potenciometría con electrodo de ión específico.
Sulfato	Gravimetría, precipitación con BaCl_2 .
Fosfato	Colorimetría. Método del ácido vanadomolibdofosfórico.
Sílice	Espectrofotometría. Método del molibdosilicato.
Sólidos disueltos	Gravimetría.
Coliformes totales	Prueba estándar de tubos múltiples
Coliformes fecales	Prueba estándar de tubos múltiples

Las determinaciones de campo y laboratorio fueron hechas utilizando métodos estandares de análisis (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 1985).

Tabla 3

Análisis físico y químico de las aguas del río Pabillo, sus tributarios y la presa "Cerro Prieto".

Año	Día/Mes	Clave	Temp. °C	pH	CO ₂ µmhos/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ *	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	SDT	
1986	15/10	P1	23	7.3	500	132.6	6.5	16.2	0.7	168.0	0.0	26.0	-	186.0	< 0.2	< 0.2	13.9	-
		P3	26	7.2	640	120.6	7.0	19.3	1.7	132.0	0.0	26.7	-	181.0	< 0.2	< 0.2	14.1	-
		P4	25	7.2	810	136.1	10.3	29.0	2.0	195.0	0.0	32.0	-	184.0	< 0.2	< 0.2	20.5	-
		H1	23	7.4	360	71.9	5.7	10.5	0.9	245.0	0.0	9.8	-	22.5	< 0.2	< 0.2	13.2	-
		C3	26	6.9	640	95.8	8.7	27.3	1.4	202.0	0.0	28.5	-	91.5	< 0.2	< 0.2	15.3	-
		L1	25	7.5	620	91.9	8.4	20.0	2.5	144.0	0.0	25.9	-	146.0	< 0.2	< 0.2	13.0	-
		L2	25	7.5	530	93.4	7.7	20.6	3.0	146.0	0.0	24.8	-	146.0	< 0.2	< 0.2	14.0	-
		L1	21	7.3	700	97.5	8.5	20.0	2.2	146.9	0.0	18.1	-	156.0	< 0.2	< 0.2	12.8	-
		L2	20	7.2	500	95.3	8.4	20.0	1.7	149.4	0.0	18.1	-	144.0	< 0.2	< 0.2	13.5	-
		H1	19	7.1	340	61.1	8.4	18.1	0.8	165.7	0.0	1.6	-	92.4	< 0.2	< 0.2	24.5	-
1987	05/01	L1	16	7.2	590	100.3	8.4	25.1	3.1	206.3	0.0	18.1	-	159.5	< 0.2	< 0.2	14.5	-
		L2	17	7.3	540	98.1	8.5	23.4	2.5	294.9	0.0	18.1	-	155.8	< 0.2	< 0.2	14.7	-
		L1	21	7.3	525	100.1	8.6	22.3	2.8	233.7	0.0	20.7	-	149.8	< 0.2	< 0.2	12.2	-
		L2	20	7.3	800	102.9	8.9	28.7	2.2	164.2	0.0	19.7	-	153.5	< 0.2	< 0.2	13.2	-
		P1	25	7.4	620	153.1	7.1	17.9	1.1	132.6	0.0	20.6	-	273.8	< 0.2	< 0.2	13.3	-
		P3	30	7.3	680	139.7	8.1	25.7	1.0	186.8	0.0	21.8	-	222.5	< 0.2	< 0.2	13.4	-
		P4	30	7.2	1400	148.4	14.7	35.2	0.9	144.6	0.0	36.1	-	277.3	< 0.2	< 0.2	21.1	-
		L1	29	7.4	540	91.0	8.6	23.4	1.9	146.9	0.0	20.6	-	167.8	< 0.2	< 0.2	13.1	-
		L2	26	7.3	500	89.1	8.8	23.4	2.6	155.2	0.0	19.2	-	167.0	< 0.2	< 0.2	12.6	-
		L1	31	7.3	580	83.9	9.0	21.7	2.1	106.2	0.0	21.3	-	168.0	< 0.2	< 0.2	12.9	-
1988	17/06	L2	29	7.4	530	85.1	9.0	20.5	2.1	96.4	0.0	19.1	-	156.8	< 0.2	< 0.2	13.7	-
		P1	25	7.0	600	115.8	6.6	15.0	0.7	165.1	0.0	17.1	-	191.0	< 0.2	< 0.2	13.5	-
		P3	29	7.1	600	103.8	8.3	18.3	0.9	214.9	0.0	16.2	-	141.0	< 0.2	< 0.2	14.0	-
		P4	31	7.3	640	112.3	9.2	15.7	0.9	199.8	0.0	17.2	-	171.0	< 0.2	< 0.2	13.5	-
		C1	26	7.2	430	77.6	8.5	20.4	1.1	287.0	0.0	10.1	-	46.6	< 0.2	< 0.2	23.2	-
		C3	30	7.4	640	112.8	7.2	16.3	1.1	146.8	0.0	16.2	-	189.0	< 0.2	< 0.2	13.5	-
		L1	31	7.4	490	83.9	8.8	16.4	2.4	133.0	0.0	17.9	-	161.5	< 0.2	< 0.2	12.5	-
		L2	31	7.4	600	87.6	8.7	20.9	2.8	133.7	0.0	17.1	-	156.0	< 0.2	< 0.2	13.9	-
		L1	21	7.0	710	138.4	10.6	28.8	0.9	319.3	0.0	24.5	-	110.5	< 0.2	< 0.2	10.3	592
		L1	17	7.3	520	98.6	7.2	19.8	1.8	220.6	0.0	15.8	-	146.0	< 0.2	< 0.2	13.9	361
1988	22/06	L1	17	7.2	600	85.0	9.6	21.8	1.7	107.1	0.0	15.8	-	152.0	< 0.2	< 0.2	13.6	-
		L2	18	7.3	540	86.7	9.6	21.5	1.9	107.1	0.0	17.5	-	160.5	< 0.2	< 0.2	13.6	-
		P1	24	8.2	450	147.8	6.8	20.4	0.7	167.5	0.0	17.6	-	218.5	< 0.2	< 0.2	12.2	558
		P4	29	8.3	600	114.7	8.0	21.2	1.0	201.7	0.0	15.7	-	136.5	< 0.2	< 0.2	14.4	-
		H1	23	8.4	300	65.0	8.5	6.6	0.4	199.2	0.0	1.9	-	20.0	< 0.2	< 0.2	10.4	222
		C3	28	8.1	620	105.3	6.8	20.6	1.0	192.9	0.0	12.1	-	131.5	< 0.2	< 0.2	13.1	410
		L1	29	8.2	540	84.5	8.2	22.1	2.0	110.4	0.0	15.7	-	162.5	< 0.2	< 0.2	13.4	-
		L2	30	8.3	530	84.5	7.6	21.6	1.7	112.9	0.0	22.3	-	164.5	< 0.2	< 0.2	13.3	-
		H1	25	8.3	310	66.9	2.9	6.7	0.4	190.7	0.0	3.6	-	19.3	< 0.2	< 0.2	12.3	244
		H2	26	8.3	490	88.0	7.7	20.5	0.5	243.3	0.0	12.5	-	57.6	< 0.2	< 0.2	16.0	378
1988	25/07	C3	29	8.3	700	117.5	10.5	39.5	0.8	242.1	0.0	40.1	-	145.0	< 0.2	< 0.2	19.0	554
		L1	28	8.2	600	86.2	11.1	22.6	2.1	114.8	0.0	19.6	-	167.0	< 0.2	< 0.2	13.5	464

* No se realizaron las determinaciones. (-)

Tabla 3. (Continuación).

Año	Día/Mes	Clave	Temp. °C	pH	CE µmhos/cm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	SiO ₂	SDT
1988	25/07	L2	30	8.2	570	85.3	9.2	22.3	2.1	98.6	0.0	21.4	-	180.0	< 0.2	13.3	472
		H1	25	8.2	330	58.1	10.7	6.1	0.5	202.3	0.0	2.7	-	19.1	< 0.2	11.3	223
	29/08	H2	25	8.1	383	50.5	15.8	8.6	0.6	207.2	0.0	1.8	-	26.7	< 0.2	12.2	256
		C1	26	8.1	448	74.4	7.6	21.4	0.7	225.6	0.0	9.4	-	35.1	< 0.2	17.0	284
	26/09	L2	29	8.1	620	83.3	7.5	23.4	2.0	105.4	0.0	21.6	-	148.0	< 0.2	12.2	415
		H1	24	8.1	289	70.2	1.7	4.4	0.6	193.0	0.0	1.7	-	23.2	< 0.2	11.7	186
	24/10	H2	23	7.6	317	69.0	5.3	6.6	0.7	200.3	0.0	3.5	-	29.2	< 0.2	12.1	220
		C1	25	8.1	481	92.3	6.7	23.1	0.8	275.2	0.0	16.7	-	51.6	< 0.2	19.0	334
		L1	31	8.4	483	88.4	3.7	15.4	1.9	136.4	0.0	14.1	-	118.5	< 0.2	12.2	-
		L2	30	8.4	465	80.9	3.9	14.0	1.8	144.5	0.0	12.3	-	111.5	< 0.2	12.3	329
P1		23	7.2	360	122.0	3.6	18.6	0.9	194.0	0.0	23.9	-	132.1	< 0.2	14.3	395	
P3		26	7.1	425	111.4	4.2	18.4	0.9	176.9	0.0	24.8	-	142.0	< 0.2	14.8	408	
P4		27	7.1	520	113.4	9.1	21.8	0.9	212.8	0.0	22.9	-	136.0	< 0.2	16.5	460	
H1		23	7.1	255	59.4	5.9	5.3	0.5	182.8	0.0	1.2	-	20.7	< 0.2	12.1	195	
H2		23	7.2	274	69.1	6.0	8.6	0.6	199.8	0.0	4.8	-	28.6	< 0.2	13.1	234	
C1		23	8.3	380	89.9	10.7	27.3	0.6	252.2	0.0	22.0	-	56.0	< 0.2	18.8	331	
28/11	C3	26	7.1	375	91.1	7.7	20.6	0.7	233.8	0.0	19.3	-	86.8	< 0.2	15.8	317	
	L2	26	7.1	375	84.0	5.4	13.9	1.8	156.5	0.0	12.1	-	110.0	< 0.2	13.0	339	
	P1	18	8.2	405	124.0	6.0	15.8	0.7	199.1	0.0	18.0	-	165.0	< 0.2	13.3	461	
	P3	21	8.2	455	116.8	5.6	17.4	0.8	178.4	0.0	20.0	-	157.0	< 0.2	13.4	405	
	P4	22	8.2	600	134.4	8.1	24.8	0.9	213.6	0.0	28.0	-	187.0	< 0.2	15.1	499	
	H1	18	8.3	237	63.8	3.1	5.0	0.5	182.7	0.0	1.9	-	21.6	< 0.2	11.3	186	
	H2	18	8.1	295	75.0	5.0	10.3	0.6	211.6	0.0	3.9	-	21.6	< 0.2	12.8	224	
	C1	17	8.2	335	83.7	8.8	25.0	0.5	258.6	0.0	20.0	-	45.6	< 0.2	17.2	282	
	C3	21	8.2	450	102.5	8.5	28.4	0.7	240.1	0.0	28.0	-	92.5	< 0.2	14.2	398	
	L2	22	8.3	395	88.1	5.4	14.3	1.6	166.9	0.0	14.0	-	112.5	< 0.2	13.1	372	
1989	27/02	P1	19	7.6	680	89.1	5.8	15.8	1.7	197.6	0.0	19.7	-	115.4	< 0.2	14.1	249
		P3	24	8.2	650	114.5	12.3	19.1	0.9	142.0	0.0	24.2	-	180.8	< 0.2	13.5	378
	H1	21	7.8	300	62.9	3.1	5.1	0.5	166.3	0.0	4.4	-	28.2	< 0.2	11.1	190	
	H2	21	7.8	430	81.4	5.1	16.0	0.6	219.5	0.0	7.2	-	48.8	< 0.2	13.7	190	
	C1	20	6.9	650	99.1	10.9	53.4	0.6	287.0	0.0	44.8	-	85.6	< 0.2	20.3	464	
	C3	22	7.9	800	120.1	9.7	43.5	0.7	248.0	0.0	48.3	-	125.1	< 0.2	16.2	456	
	L1	20	8.0	460	92.2	6.3	17.5	1.8	155.1	0.0	16.2	-	115.5	< 0.2	13.4	314	
	L1	27	8.1	510	77.3	7.4	18.9	2.0	112.5	0.0	18.1	-	0.0	137.6	< 0.2	13.4	457
	L2	27	8.1	510	77.5	7.3	18.2	1.9	111.8	0.0	18.1	-	0.0	140.7	< 0.2	13.4	460
	29/08	P1	24	7.3	780	146.8	8.0	22.1	0.9	170.6	0.0	31.0	-	1.0	271.2	0.2	14.4
P3		30	8.0	800	125.4	13.5	21.6	1.2	137.1	0.0	34.6	-	1.0	257.9	0.2	15.6	553
P4		33	7.9	930	125.4	10.0	37.3	1.1	190.5	0.0	41.0	-	9.0	216.5	0.3	14.5	552
H1		26	7.8	350	61.5	3.1	5.8	0.6	175.6	0.0	2.1	-	1.0	44.9	0.2	12.1	214
H2		27	7.8	400	69.4	5.0	13.0	0.6	201.1	0.0	4.8	-	1.0	52.3	0.4	13.9	245
L5		21	8.1	490	81.7	7.4	19.8	2.0	123.9	0.0	19.7	-	7.6	138.6	0.4	13.5	352
P2		20	7.4	680	132.4	4.7	21.8	0.8	192.9	0.0	23.7	-	11.0	200.0	0.2	13.9	438

Tabla 3. (Continuación).

Año	Día/Mes	Clave	Temp. °C	pH	CE $\mu\text{mhos/cm}$	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	SiO ₂	SDT
1990	15/01	P4	21	7.5	790	137.8	5.8	33.3	1.0	242.0	0.0	33.0	20.6	210.9	0.2	15.7	502
		C2	20	7.7	530	95.0	4.3	26.8	0.6	247.6	0.0	21.1	14.5	87.6	0.2	14.1	326
	12/03	P2	23	7.7	730	139.4	6.7	23.1	0.9	207.2	0.0	27.5	10.3	203.5	< 0.2	12.2	429
		P4	23	7.8	910	161.2	10.5	35.6	1.0	236.5	0.0	36.9	18.2	277.1	< 0.2	19.1	521
	26/03	C2	23	7.8	690	110.0	7.8	36.6	0.7	268.2	0.0	30.3	13.1	112.6	0.2	18.8	359
		P1	22	8.0	730	151.2	8.2	18.9	0.7	221.6	0.0	27.6	10.5	231.8	< 0.2	14.8	541
		P4	21	7.8	850	161.4	13.9	36.2	0.9	239.6	0.0	41.4	18.4	272.8	< 0.2	21.0	581
		H1	20	7.5	290	64.6	3.6	5.9	0.4	186.1	0.0	3.4	6.9	31.6	< 0.2	11.1	183
		H2	21	7.5	470	91.3	7.5	21.5	0.4	259.5	0.0	10.8	15.5	70.1	< 0.2	15.5	243
		C1	21	7.8	550	83.7	12.1	40.5	0.5	257.0	0.0	29.0	9.1	93.0	< 0.2	19.5	344
23/04	C3	19	7.6	750	128.7	11.6	45.9	0.8	295.0	0.0	50.5	18.7	144.8	< 0.2	18.9	406	
	L1	22	7.5	475	86.9	8.1	21.6	1.9	127.0	4.9	21.9	4.9	152.4	< 0.2	13.1	416	
	L2	22	7.7	470	86.2	8.5	21.4	1.9	125.7	6.1	22.2	6.0	152.0	< 0.2	13.0	403	
	P2	26	8.4	800	138.7	7.8	21.4	0.8	188.9	0.0	28.8	11.1	222.2	< 0.2	13.5	527	
	P4	29	8.3	900	124.2	13.1	34.8	2.2	196.3	0.0	38.6	16.6	218.5	< 0.2	18.7	559	
	C2	26	8.4	590	87.2	7.9	24.4	0.7	223.4	0.0	19.4	9.8	89.7	0.2	15.8	381	
	L3	24	8.1	550	85.1	7.6	21.8	2.0	122.2	1.2	25.2	5.0	157.2	< 0.2	13.4	396	
	L4	23	8.3	550	85.3	8.2	22.2	2.0	119.2	2.4	25.2	5.0	160.7	< 0.2	13.5	400	
	L5	22	8.1	530	87.1	9.1	21.7	2.0	130.7	1.2	25.2	5.3	157.8	< 0.2	13.9	403	
	C1	27	7.8	480	71.0	15.0	21.7	0.8	225.9	7.3	11.1	1.0	56.3	0.2	17.6	247	
21/09	C3	28	7.7	800	114.1	9.0	44.2	0.8	248.8	0.0	43.7	10.0	146.7	< 0.2	19.5	480	
	L1	29	8.0	500	77.2	7.2	15.3	2.0	118.5	0.0	20.2	1.0	141.0	< 0.2	13.4	476	
	L2	30	8.0	500	75.6	7.0	19.1	1.9	115.4	0.0	17.5	1.0	136.4	0.4	13.1	368	
	P2	26	7.9	810	135.4	7.5	20.8	1.1	167.4	0.0	28.4	11.1	241.4	< 0.2	16.2	493	
	P4	28	7.6	800	110.8	10.3	32.0	1.1	203.8	0.0	35.1	19.5	168.7	< 0.2	18.4	433	
	C2	26	7.6	480	71.2	5.4	14.3	0.8	188.9	0.0	7.0	14.2	51.0	< 0.2	15.5	275	
	L3	32	8.2	590	75.4	7.5	18.4	2.2	110.8	0.0	20.7	11.1	138.0	< 0.2	13.0	365	
	L4	29	7.9	590	76.9	7.5	20.2	2.1	116.2	0.0	20.4	17.7	137.0	< 0.2	13.8	394	
	L5	28	7.7	600	78.1	7.2	21.3	2.1	126.3	0.0	20.0	7.5	140.1	< 0.2	14.1	377	
	P2	24	7.9	750	125.7	7.6	30.3	0.8	213.3	0.0	26.8	13.7	204.1	< 0.2	14.7	548	
30/10	L3	25	8.1	550	82.5	5.7	19.3	1.9	144.6	0.0	20.8	7.8	140.1	< 0.2	13.2	385	
	L5	24	8.1	550	84.2	4.6	19.7	2.0	145.9	0.0	21.2	8.4	140.3	< 0.2	13.4	388	
	P1	23	8.0	730	150.3	8.1	17.6	0.7	218.4	0.0	26.6	14.4	238.5	0.6	14.9	525	
	P2	24	8.0	730	132.0	4.9	20.4	0.8	181.8	0.0	24.9	13.7	207.8	0.4	14.8	514	
	P4	25	7.9	900	148.5	10.8	33.2	1.0	218.4	0.0	34.7	20.9	250.0	< 0.2	16.4	638	
	H1	20	8.2	300	61.9	3.0	5.1	0.4	176.9	0.0	4.4	9.3	31.1	0.6	10.9	191	
	H2	22	8.1	450	76.9	5.1	15.5	0.4	219.7	0.0	7.4	15.9	61.9	< 0.2	13.8	285	
	C2	21	7.8	600	101.3	8.5	24.7	0.6	236.7	0.0	21.9	17.7	105.8	0.4	16.9	400	
	L3	22	8.3	490	82.1	6.7	19.5	2.0	122.0	0.0	19.9	7.5	136.8	< 0.2	13.4	366	
	L4	21	8.2	470	81.7	6.9	19.8	2.0	124.5	0.0	20.5	7.3	137.8	0.3	13.9	361	

Tabla 4

Análisis bacteriológicos de las aguas del río Plabillo, sus tributarios, y la presa "Cerro Prieto".

Año	Día/Mes	Muestra	Coliformes totales (NMP/100)	Coliformes fecales (NMP/100)
1989	30/10	P2	> 1600	—
		P4	240	—
		C2	300	—
		L3	70	—
		L4	4	—
	26/11	L5	4	—
		P1	1600	—
		P2	> 1600	—
		P4	170	—
		H1	300	—
		H2	900	—
		C2	> 1600	—
		L3	13	—
		L4	240	—
		L5	500	—
1990	16/01	P2	1600	—
		P4	300	—
		C2	> 1600	—
	06/02	P1	900	—
		P3	> 1600	—
		P4	300	—
		H1	170	—
		H2	220	80
		C1	300	—
		C3	500	240
	26/02	L1	170	170
		L2	500	—
		P2	> 1600	—
		P4	130	—
		C2	> 1600	—
	28/02	L3	70	—
		L4	90	—
		L5	300	200
	12/03	P1	> 1600	—
		P2	1600	—
		P4	80	—
	26/03	H2	500	—
		P4	220	110
		H1	> 1600	1600
		C1	500	—
		C3	> 1600	—
	23/04	L1	26	< 2
L2		80	13	
P2		1600	—	
P4		900	—	
C2		> 1600	—	
07/05	L1	500	< 2	
	L2	140	< 2	
	L3	22	< 2	

Camachito/Camacho y la presa "Cerro Prieto". Los datos señalan valores en el rango de 4 a ≥ 1600 organismos/100 ml como coliformes totales, coincidiendo los mayores con la cercanía de las múltiples descargas sanitarias de los poblados. Este apartado del trabajo tuvo mayor significancia durante los períodos de sequía, para condiciones de bajo caudal en los escurrimientos. Los guiones en la tabla representan mediciones no efectuadas.

DISCUSION

Los resultados del presente trabajo han sido sintetizados a fin de determinar (i) el origen de los iones mayoritarios de estas aguas y su relación con la geología regional, los

procesos de intemperismo o meteorización, los asentamientos humanos y, (ii) el impacto bacteriológico causado por las descargas sanitarias de las poblaciones sobre estas aguas, y estimar así la capacidad de estas últimas para diluir, asimilar o procesar en forma natural dichas descargas.

Los iones mayoritarios, su origen y la química de los procesos de meteorización

La abundancia relativa de los iones mayoritarios (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-}) disueltos en las aguas de los ríos, puede en cierta forma predecirse en términos de los minerales presentes en una cuenca, dado que esta abundancia depende de la interacción agua-roca (mineral). Sin embargo, las reacciones agua-mineral no se hallan aisladas en la naturaleza, ya que en las cuencas puede existir una gran variedad de combinaciones de los minerales, los que junto con otros factores más, como el mezclado de corrientes, evaporación, etc. hacen imposible determinar con precisión la geología y mineralogía de cuencas a partir del estudio de la química de iones mayoritarios de sus aguas.

No obstante, mediante los resultados obtenidos en este trabajo es posible efectuar importantes relaciones entre los diversos aspectos de la geología regional y la química de los iones mayoritarios de las aguas de la cuenca.

Las aguas del río Pablillo, sus tributarios y de la presa "Cerro Prieto", a los largo de los años de este estudio, conservaron su caracterización general a pesar de las fluctuaciones cíclicas ocasionadas por las estaciones del año. Conforme a ello, se obtuvo la siguiente clasificación:

Río Pablillo. Aguas cálcico-sulfatadas.

Río Hualahuises. Aguas cálcico-bicarbonatadas.

Río Camachito. Aguas cálcico-bicarbonatadas.

Presa "Cerro Prieto". Aguas cálcico-sulfatadas.

Las Figuras 4 y 5 muestran los Diagramas de Stiff representativos para los tipos de agua mencionados. Para el caso de los ríos se tomaron los datos de muestreos en localidades aguas arriba de las confluencias, evitando así el efecto que sobre la clasificación pudiese tener el mezclado de las corrientes. Este tratamiento permite diferenciar las aguas del río Pablillo de aquellas de sus tributarios y comprobar que él influye más fuertemente en la clasificación final de las aguas de la presa, en lo que ambas coinciden.

A causa de las características climatológicas de la cuenca existen variaciones importantes en la concentración iónica de las aguas. Para el período de estudio se localizaron los casos extremos correspondientes a caudal bajo y caudal alto, respectivamente, lo que se describe en términos de los valores y relaciones entre cationes y aniones.

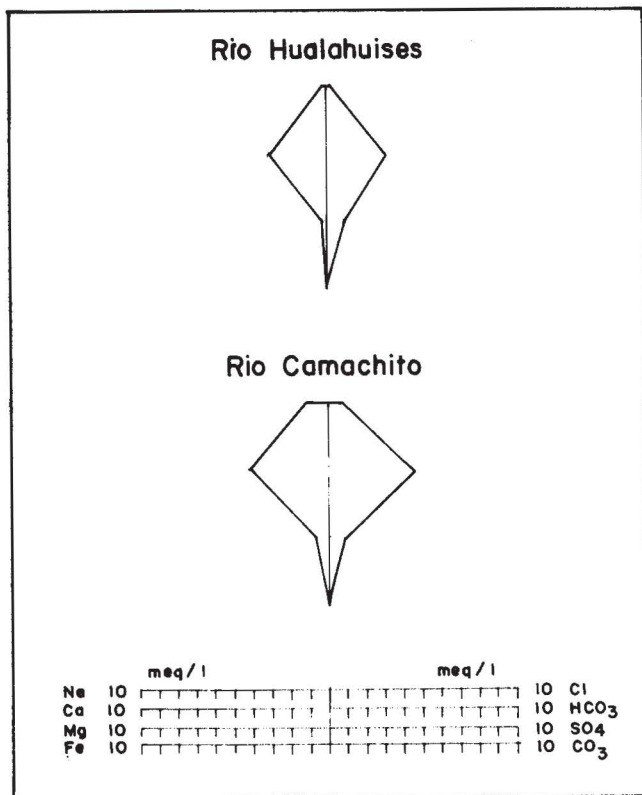


Fig. 4. Diagrama de Stiff representativo para los ríos Hualahuises, Camachito.

En el río Pablillo el Ca^{2+} es el principal catión, representando del 78 al 85% del total de los cationes (Tabla 3), seguido muy lejanamente por Na^+ y luego Mg^{2+} . Los aniones principales son SO_4^{2-} y HCO_3^- , los que dependiendo de la temporada del año pueden hasta invertir su orden de importancia. Así, SO_4^{2-} va de 38.2 a 66.8% y HCO_3^- de 51.5 a 25.5%, para las condiciones de bajo y alto caudal respectivamente. Estas determinaciones corresponden y verifican las evidencias de campo en el sentido de que durante el período de sequía el caudal es sostenido por las descargas de agua subterránea, la que por su tiempo de contacto con las rocas características de la región, se halla más enriquecida en iones. Los procesos de disolución de las rocas resultan que para caudal moderado a alto, el anión disuelto en manera favorable es SO_4^{2-} , presumiblemente por un fenómeno de disolución de evaporitas de la Fm. Minas Viejas llevado a cabo en corto plazo en la superficie, mientras que para caudal bajo sostenido por descargas de agua subterránea, el anión principal es HCO_3^- como probable producto de disolución subterránea a largo plazo de rocas predominantemente calcáreas.

En el río Hualahuises el catión principal es Ca^{2+} (Tabla 3), representado del 71.4 al 79.1% del total de cationes, seguido de lejos por Mg^{2+} y Na^+ en el orden de 10% cada uno. El anión principal de estas aguas es HCO_3^- en el rango de 83.5 a 87%, seguido por SO_4^{2-} que cae entre 9.7

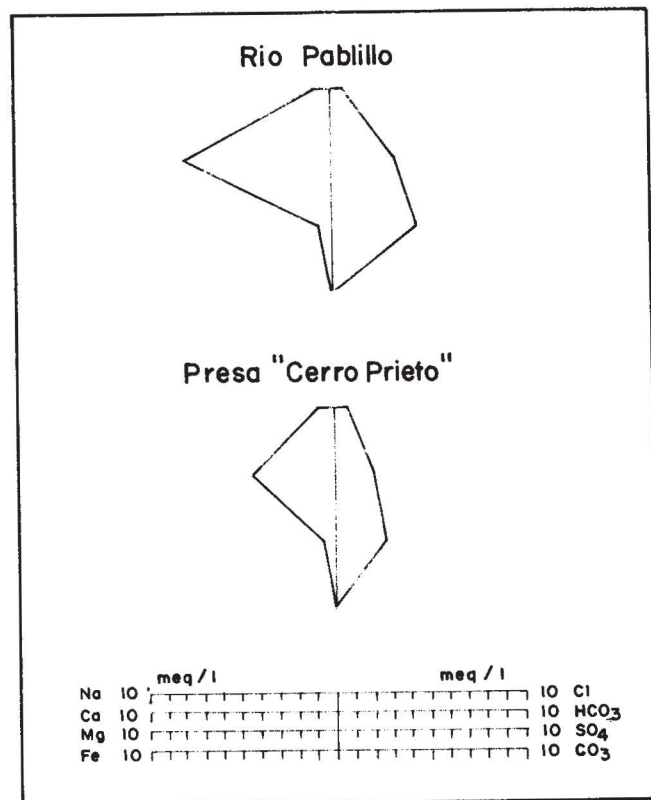


Fig. 5. Diagrama de Stiff representativo para el río Pablillo y presa "Cerro Prieto".

y 10.4%. El diagrama de Stiff muestra que las aguas de este río son las del contenido más bajo en sales disueltas en el sistema estudiado. Puede aseverarse que en la cuenca de este río no afloran las evaporitas de la Fm. Minas Viejas siendo más evidente o importante el proceso de disolución de rocas calcáreas. Esto se confirma por la relación el miliequivalentes/l, $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$, que exhibe valores de 1.01 y 1.14, cercanos a la equivalencia 1:1.

Finalmente, el río Camachito muestra una composición de iones mayoritarios semejante al río Hualahuises pero de valores de concentración más altos (Tabla 3). Los cationes principales son Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ con 60.5%, 10.9% y 28.4% en condiciones de bajo caudal y 61.6%, 21.4% y 16.4% para alto caudal respectivamente. Los aniones principales son HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- con valores de 60.3%, 22.9% y 16.2% frente a 71.1%, 22.5% y 6.0% bajo las condiciones ya estipuladas de caudal.

La explicación a la diferencia en los valores de concentración iónica en los ríos Hualahuises y Camachito se encuentra en el origen geológico de los manantiales que los alimentan. Los manantiales que descargan al río Hualahuises provienen del acuífero principal de la sierra, la Formación Tamaulipas, mientras los manantiales que contribuyen al río Camachito nacen principalmente en la planicie al pie de la sierra y en la primera cadena montañosa de ella, en

las Formaciones Méndez y San Felipe, que son contribuyentes comparativamente pequeños con respecto al acuífero principal.

Orígenes antropogénicos de los iones mayoritarios

Los puntos de muestreo aguas arriba y abajo de los poblados Linares y Hualahuises, junto con sus resultados, permiten analizar el efecto de las múltiples descargas domésticas en el flujo de especies disueltas en los ríos. La Tabla 3 no muestra cambios dramáticos en las concentración de los iones para los ríos Pablillo y Camachito. Sin embargo, las descargas existen y es conocido que por la dilución las descargas domésticas no se manifiestan muy claramente en los iones mayoritarios, sino en contaminantes típicos que no fueron analizados en este trabajo.

Por contraste, en el río Hualahuises sí resultó posible evaluar aumento en la concentración de Na^+ , Cl^- y SO_4^{2-} , posiblemente, como consecuencia del paso del agua por el poblado del mismo nombre. Las variaciones son sutiles, como puede entenderse de la Tabla 3, pero son evidentes y repetitivas. Por ejemplo, el ion Na^+ presenta valores en el orden de 6 mg/l, aguas arriba de Hualahuises, y tras su paso por el poblado estos valores aumentan hasta poco más de 20 mg/l. Para el cloruro la concentración también sufre un aumento pasando de 4.8 mg/l hasta 12.5 mg/l, mientras que el SO_4^{2-} pasa de 20 mg/l hasta valores pico algo superiores a 70 mg/l. En términos generales se observó que las concentraciones en ellos aproximadamente se triplicaron.

La otra posible fuente antropogénica de iones podría estar relacionada con la actividad agrícola. Los iones a trazar se seleccionaron como NO_3^- y PO_4^{3-} por su identificación con los fertilizantes utilizados en las huertas de cítricos. Nuevamente, sólo en el río Hualahuises fue posible observar un pequeño aumento en la concentración de dichos iones, confirmando así un efecto de la actividad humana sobre las aguas de la cuenca. Para este caso, el NO_3^- se encontró presente en valores pico de 15.9 mg/l, mientras para el PO_4^{3-} se determinó un valor máximo de 0.6 mg/l, que son mayores que los valores de fondo de 1.0 mg/l y 0.2 mg/l respectivamente.

Finalmente, debe señalarse que la evidencia aún no es concluyente, pues los iones mayoritarios solos no son indicadores suficientes de medición de las aportaciones antropogénicas a las aguas de la cuenca. Se considera imprescindible el desarrollo periódico de las determinaciones para los parámetros DBO y DQO (Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno, respectivamente), O_2 disuelto, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , grasas y aceites, derivados clorados de hidrocarburos, etc.

Caracterización bacteriológica de las aguas

Las aguas del río Pablillo y sus tributarios, a todo lo largo de su recorrido desde la Sierra Madre Oriental, se hallan en permanente contacto con los asentamientos humanos que abundan a sus orillas. Se han mencionado las poblaciones de Linares y Hualahuises, que son las más importantes, pero también existe un gran número de ejidos, rancherías y poblados menores con sus habitantes haciendo vida alrededor de los ríos.

La actividad humana, con sus descargas y las de sus animales, se cuantificó tomando como parámetros indicadores los organismos coliformes, diferenciándoles en fecales y no fecales. En la Tabla 4 se resumen las mediciones efectuadas en los ríos y la presa.

Los valores de concentración superiores a 1600 organismos en 100 ml (NMP/100 ml) fueron registrados en la cercanía de las descargas sanitarias sobre los cauces. Más importante todavía resultaron las caídas en dichos valores a sólo pocos kilómetros aguas abajo, aún cuando las condiciones de caudal bajo casi no ayudan por dilución ni por turbulencia oxigenadora. Así, los valores medidos pasan de 1600 o más organismos por 100 ml, a otros en el rango de 80 a 900 en los pocos kilómetros de recorrido aguas abajo en el río Pablillo. Estos últimos valores corresponden a las condiciones extremas de caudal moderado y caudal bajo, respectivamente.

Para la presa "Cerro Prieto" los valores oscilan de 4 a 500 organismos coliformes/100 ml, según la temporada, corroborando que el micro-sistema ríos-presa detecta en forma natural la mayor parte de estos agentes bacteriológicos en el espacio tan reducido del área estudiada, con un defecto en dicha capacidad en los períodos de caudal más bajo. La Figura 6 muestra gráficamente la zona de mayor contaminación fecal (punto de muestreo C2), correspondiente a la mayor descarga de aguas residuales de la ciudad de Linares sobre el río Camacho. Es notoria también, como lo muestra la figura, la tendencia natural del sistema para depurar, diluir y estabilizar las descargas, en su recorrido aguas abajo rumbo a la presa (puntos L2 a L5).

CONCLUSIONES

Este estudio provee de abundante y útil información sobre los procesos geoquímicos que controlan el contenido de iones mayoritarios en las aguas de la cuenca. Ello permitió la clasificación de las mismas.

Las condiciones extremas de clima en la región tienen su efecto sobre la concentración iónica y en las relaciones entre los iones. En general, los escurrimientos durante los períodos de estiaje poseen valores de concentración iónica

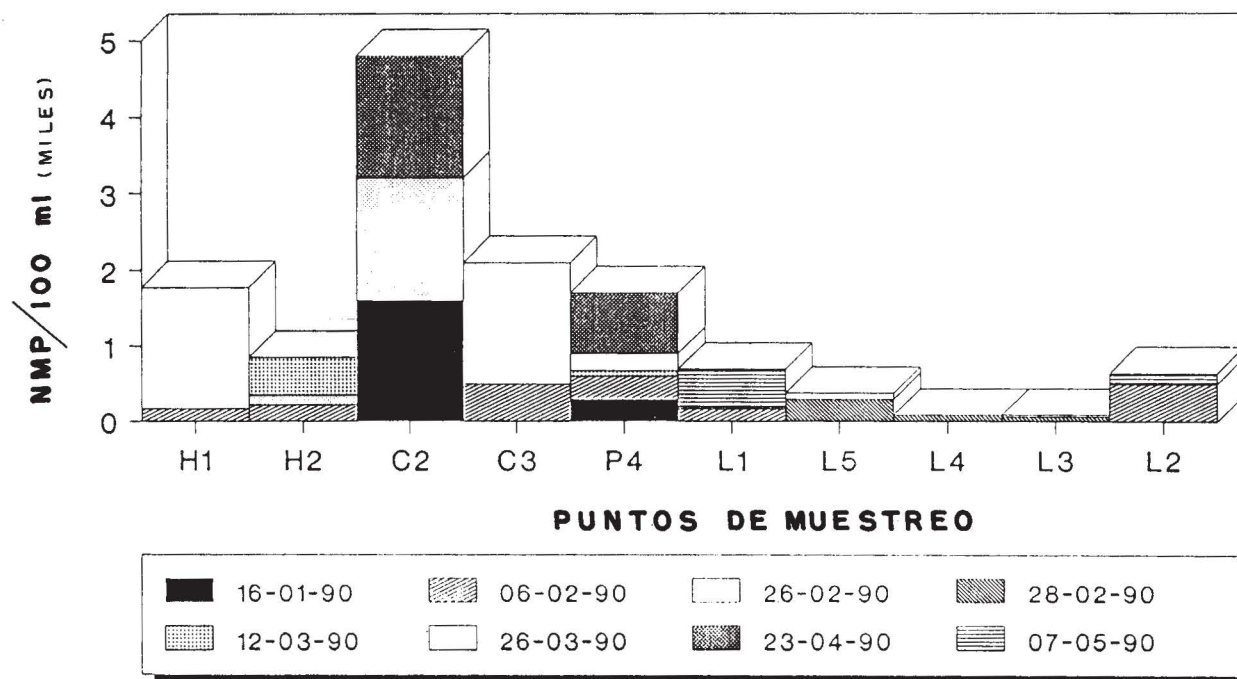


Fig. 6. Representación de los análisis bacteriológicos para los diferentes puntos de muestreo en diferentes fechas.

mayor. Este rasgo se explica a partir de una más larga e intensa interacción agua-roca desarrollada en los acuíferos que descargan en el río, manteniendo su caudal base.

En el tiempo de desarrollo de este trabajo se pudo constatar que el sistema estudiado aún es capaz de asimilar o estabilizar en cierta medida las especies químicas y bacteriológicas de origen antropogénico. Sin embargo, consideramos altamente riesgoso continuar la práctica actual de tirar descargas sanitarias sobre los cauces, pues la capacidad del sistema puede ser rebasado y con ello hacer peligrar la calidad del agua de la presa. Tomando en cuenta el crecimiento poblacional de la región y el aumento en la actividad industrial, todavía incipiente, es imperativo el tratamiento previo de las aguas de desecho.

Los problemas y resultados encontrados para una cuenca relativamente sencilla nos permitieron allegar algunos criterios de evaluación que deberán ser analizados para el caso de cuencas mayores, altamente pobladas y con escurrimientos en fuerte relación con una intensa actividad industrial. Concretamente fijamos la atención en la presa "El Cuchillo", en el sistema río San Juan, por su estrecha relación con la actividad industrial de Monterrey y su área.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro profundo agradecimiento al personal técnico de los Laboratorios de Geoquímica y Análisis Bacteriológicos, por su siempre entusiasta colaboración en el proyecto. Gracias también al Dr. Jörg Werner y al M.en C. Héctor de

León Gómez por su paciente revisión del manuscrito y sus valiosos comentarios y sugerencias; a Ignacio Navarro de León, por su creatividad computacional manifestada en el diseño de programas para el tratamiento de datos, y a Francisco Urrutia Elizondo, por su colaboración invaluable.

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Educación Pública a través de los convenios C87-01-0247-204-01 y C89-01-0252-537-01 y a ella nuestro agradecimiento, al igual que para la Universidad Autónoma de Nuevo León por el permiso de uso de las instalaciones.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1268 p.
- CARBONNEL, J.P. y M. MEYBECK, 1975. Quality variations of the Mekong River at Pnom Penh, Cambodia, and chemical transport in the Mekong Basin. *J. Hydrol.*, 27, 249-265.
- COMANS R.N.J., C.H. WEIJDEN y S.P. VRIEND, 1987. Geochemical studies in the drainage basin of the Rio Vouga, Portugal. IV. Impact of land use on the hydrogeochemistry of natural waters in the Vouzela region. *Environ. Geol. Water Sci.*, 9, 119-128.

- DE LEON GOMEZ H., 1992. Evaluación de las experiencias durante la operación de la Presa "Cerro Prieto", Linares, N.L., México, en la perspectiva de la Ingeniería Geológica e Hidrogeología. Universidad Técnica de Aachen, Alemania. Tesis doctoral (en preparación).
- GIBBS, R.J., 1972. Water chemistry of the Amazon River. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 1061-1066.
- HEM, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 2254*, 263 p.
- INEGI, 1981. Síntesis geográfica de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto, 170 p.
- MICHALZIK D., 1988. Trias bis tiefste Unter-Kreide der nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko-fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrandes. TH-Darmstadt, Alemania. Tesis doctoral.
- PADILLA Y SANCHEZ, R.J. 1982. Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, Mexico. Ph.D. Diss. University of Texas at Austin, 217 p.
- SARIN, M.M., S. KRISHNASWAMI, K. DILLI, K. SOMAYAJULU y W.S. MOORE, 1989. Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 997-1009.
- STALLARD, R.F. y J.M. EDMOND, 1983. Geochemistry of the Amazon, the influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *J. Geophys. Res.*, 88, 9671-9688.
- STALLARD, R.F. y J.M. EDMOND, 1987. Geochemistry of the Amazon weathering chemistry and limits to dissolved inputs. *J. Geophys. Res.*, 92, 8293-8302.
-
- Cecilia O. Rodríguez de Barbarín y Juan Manuel Barbarín-Castillo
Facultad de Ciencias de la Tierra
Universidad Autónoma de Nuevo León
Apartado Postal 104
67700 Linares, N.L., México.