

MANANTIALES DE LA CUENCA DEL RÍO DUERO MICHOACÁN: OPERACIÓN, CALIDAD Y CANTIDAD

José Teodoro SILVA GARCÍA*, Salvador OCHOA ESTRADA, Gustavo CRUZ CÁRDENAS, Jaime NAVA VELÁZQUEZ y Fabián VILLALPANDO BARRAGÁN

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad-Michoacán. Justo Sierra 28, Jiquilpan, Michoacán, C.P. 59510

*Autor para correspondencia: tsilva09@hotmail.com

(Recibido junio 2015; aceptado septiembre 2015)

Palabras clave: sustentabilidad, aguas superficiales, gestión hídrica

RESUMEN

La cuenca del río Duero se localiza al noroeste del Estado de Michoacán, cuenta con una superficie de 2531.3 km². Se realizó un diagnóstico de la situación actual de la operación, calidad y cantidad de agua de manantiales de la cuenca. En total se identificaron 52, de los cuales se aforaron 49 que aportaron un gasto acumulado de 8.526 m³/s. Las aguas son aprovechadas principalmente para fines agrícolas, consumo urbano, acuicultura y recreativo. El volumen de agua anual que se genera por los manantiales es de 268 876 Mm³, lo que satisface ampliamente las necesidades de la región. La calidad química de los manantiales es excelente para los distintos usos, no así la calidad bacteriológica. En términos de su estado de conservación y operación, sólo el 27 % de ellos, presenta problemas serios de un manejo eficiente, lo que pone en riesgo su sustentabilidad.

Key words: sustainability, surface water, water management

ABSTRACT

The Duero river basin is located northwest of the state of Michoacán, with an area of 2531.3 km². A diagnosis of the current situation of its operation, quality and quantity of water from its springs was performed. A total of 52 were identified, of which 49 were afores, yielding a cumulative expenditure of 8.526 m³/s. The waters are mainly exploited for agricultural, urban consumption, aquaculture and recreation. The annual volume of water generated by the springs is 268 876 Mm³, which more than meets the needs of the region. The chemical quality of the springs is excellent for the different uses but not the bacteriological quality. In terms of its condition and operation, only 27 % of them has serious problems of efficient management, which threatens its sustainability.

INTRODUCCIÓN

La escasez y la contaminación del agua en un gran número de regiones de México, es un factor condicionante para el desarrollo económico y social. En este sentido, se hace necesario establecer acciones que promuevan un manejo adecuado del agua y la preservación de las fuentes de abastecimiento, al evitar su uso ineficiente, contaminación e incluso conflictos de carácter social por su acceso (SEMARNAT 2009).

En este contexto, la política hídrica se ha diseñado para lograr que el país cuente con agua en cantidad y calidad suficiente, reconozca su valor estratégico, la utilice de manera eficiente y proteja los cuerpos de agua para preservar el ambiente y garantizar un desarrollo sustentable.

Así también, dentro de los objetivos específicos del Programa Hídrico Visión 2030 (SEMARNAT 2009), del Estado de Michoacán de Ocampo, destaca el manejo integral y sustentable del agua en cuencas y acuíferos, así como la restauración y conservación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Los manantiales son afloramientos de agua subterránea en superficie, cuando tienen una buena calidad, puede usarse para consumo humano entre otros usos. La calidad natural del agua depende de las condiciones geológicas del medio en el que circule debido a que antes de surgir a la superficie terrestre recorre kilómetros entre las rocas, sedimentos, suelos y en muchos casos se ha enriquecido con minerales y sustancias que los seres vivos necesitan. En este recorrido, el agua podría mejorar su calidad debido a que algunos elementos podrían removerse naturalmente, sin embargo también podría contaminarse por la influencia de las actividades antropogénicas.

En la cuenca del río Duero, el agua proveniente de manantiales es la principal fuente de abastecimiento en la zona y estos son los principales aportadores al caudal del río Duero, después de los escurrimientos pluviales (CONAGUA 2009).

La región, está caracterizada por un ambiente volcánico, destacando estructuras de tipo estratovolcán, volcanes en escudo y conos cineríticos. Todos ellos con un alto grado de fracturas (Silva y Ramos 1998). Hay que tener presente que la cuenca se ubica dentro de una provincia geológica caracterizada por su alta densidad volcánica (Hasenaka y Carmichael 1985).

A pesar de que la cantidad de agua que surge de los manantiales podría resultar suficiente para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios, esto no ocurre debido al manejo inadecuado en su distribución, aunado a procesos acelerados de contaminación del agua. Por otro lado, los conflictos por las fuentes de

abastecimiento de agua originadas de manantiales se presentan cotidianamente en la cuenca en virtud de que no se da una adecuada gestión del recurso (Seffo 2002).

Como un elemento importante de gestión y negociación que coadyuve al manejo sustentable del recurso agua, el objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico de la situación que guarda la operación, calidad y cantidad de agua de los manantiales en la cuenca a efecto de emitir propuestas integrales de solución a conflictos locales en función del conocimiento de este recurso hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Duero se localiza en el noroeste del estado de Michoacán, delimitada por las coordenadas 19°40' y 20°15' latitud norte y 101°45' y 102°45' longitud oeste a una altitud media de 2000 msnm, con una superficie de 2531.3 km².

Pertenece a la jurisdicción de la región administrativa número VIII Lerma-Santiago-Pacífico, en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago y específicamente en la denominada zona hidrológica río Lerma-Chapala (**Fig. 1**).

El río Duero, nace en los manantiales del poblado de Carapan en la región conocida como "La cañada de los once pueblos" perteneciente al municipio de Chilchota, cruza por los Valles de Zamora y Guadalupe y la Ciénega de Chapala (porción Michoacán), se une al río Lerma en los límites estatales de Michoacán y Jalisco, cerca de la población de Ibarra en el municipio de Briseñas, con un recorrido total de 75 km en línea recta.

El área de estudio se localiza dentro de la provincia geológica denominada Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), específicamente hacia el límite oeste del denominado Campo Volcánico Michoacán – Guanajuato (CVMG) caracterizado por la presencia de una alta concentración de elementos volcánicos, entre los que predominan los conos volcánicos pequeños.

Según Hasenaka y Carmichael (1987) el sistema de fracturas y alineamientos volcánicos con orientación NE-SW presente en la parte sur del CVMG, es concordante con el movimiento relativo Cocos - Norteamérica (NE-SW).

La cuenca del río Duero forma parte de este sistema volcánico, en el que destacan estructuras volcánicas de tipo estratovolcán de composición generalmente andesítico-basáltico como son los cerros de La Beata y de San Isidro. Además de volcanes en escudo como el cerro Patámban y conos cineríticos como el Curutarán, La ladera y La cantera.

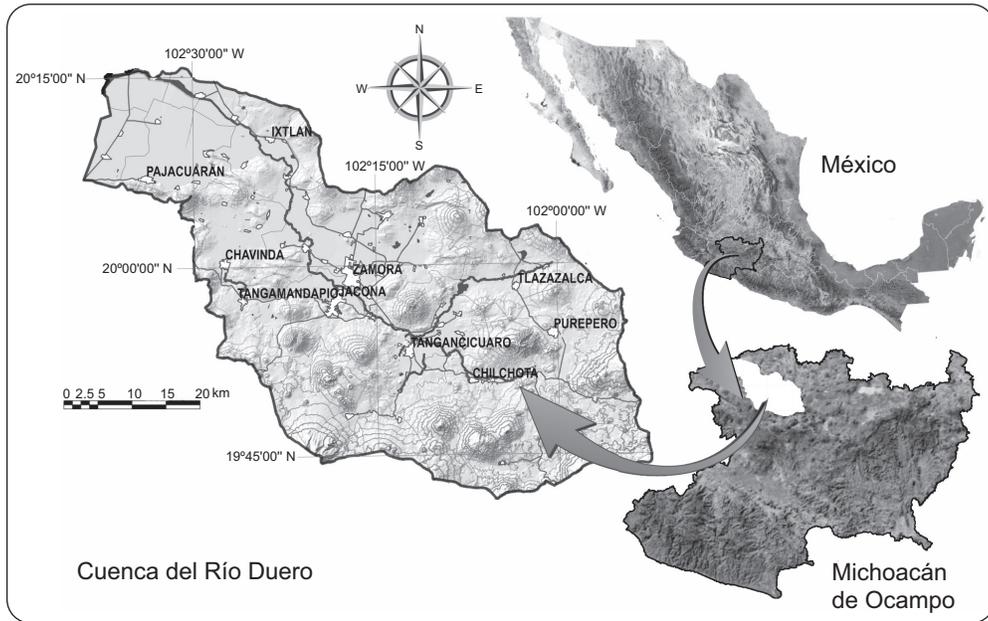


Fig. 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Duero

Este volcanismo es causante de la formación de valles fluviales parcialmente cerrados como el de Guadalupe y el de Zamora, que limitan con la región lacustre de la Ciénega de Chapala. Ejemplos representativos del sistema estructural regional se observan en la **figura 2**, la ocurrencia de los manantiales está asociada al control estructural regional.

La determinación de la actual situación operativa de cada manantial se realizó mediante una ficha descriptiva oficial de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA; **Fig. 3**). Con esta ficha se obtuvieron los datos de: nombre del sitio, coordenadas, instalaciones asociadas, uso del agua, comportamiento del caudal, acceso, estado de conservación, valores sectoriales, amenazas, impactos y presiones.

Para obtener los datos de cantidad de agua que aporta cada uno de los manantiales censados se realizaron aforos (mayo-junio, 2013) con tres métodos distintos: flujómetro, aforo con flotador y aforo con vertedor. El procedimiento empleado se determinó con base en las condiciones presentes de accesibilidad, área y velocidad de flujo en cada sitio.

Cuando la sección del canal y la velocidad del flujo fueron de fácil medición se utilizó el flujómetro flowatch modelo AM10608, que es un instrumento compacto para medir gastos en ríos, canales y descargas de aguas residuales. El medidor de flujo incorpora una propela de precisión acoplada directamente a un contador de seis dígitos que registra cada revolución

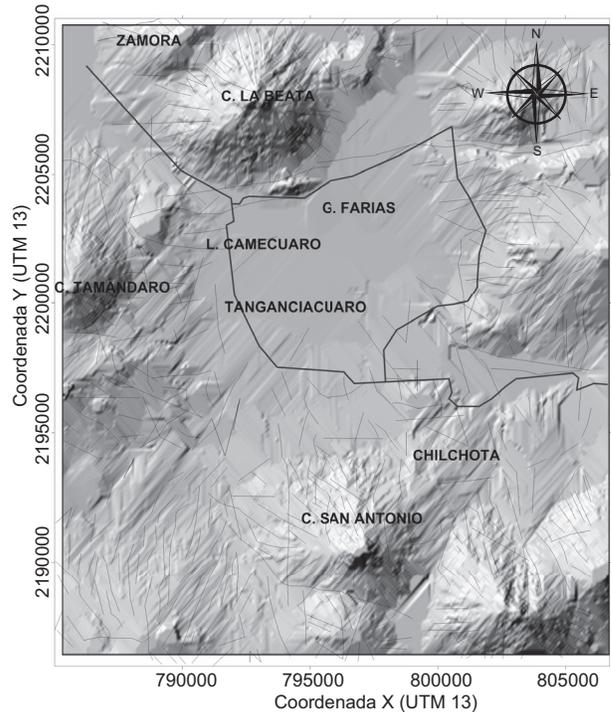


Fig. 2. Esquema representativo del ámbito local estructural de la cuenca del río Duero, Valle de Guadalupe

de la propela y lo despliega en forma similar a un odómetro.

La relación velocidad-número de vueltas, se determinó al medir el número de segundos que tarda la

Comisión de cuenca del río Duero
 Gerencia operativa
Identificación y caracterización de los manantiales en la cuenca del río Duero
 Ficha para inventario de manantiales

1. Localización
 Nombre del manantial: _____ Municipio: _____
 Localidad o paraje: _____ X: _____ Y: _____ Altitud: _____
 Coordenadas: _____ Longitud W: _____
 Nombre del río/arroyo que origina (si procede): _____

2. Procedencia del agua subterránea
 Nombre del lugar o sierra de donde se supone procede el agua subterránea: _____
 Naturaleza de las rocas por donde se supone circula el agua subterránea:
 Rocas ígneas
 Rocas sedimentarias
 Rocas metamórficas (ro carbonatadas)
 Depósitos aluviales
 Depósitos lúctres
 Otros: _____

3. Tipo de surgencia
 Manantial
 Galería, zarza o mina de agua (muy habitual en fuentes)
 Nacimiento a cauce (origen en pantano o arroyo dentro de ríos y arroyos)
 Humedal (surgencia normalmente difusa dentro de lagunas, charcas, etc.)
 Resumidero (normalmente manantial temporal de escaso caudal en laderas, etc.)
 NS/NC

En caso de existencia de instalaciones, hacer una breve descripción de las mismas

6. Uso del agua
 Abastecimiento urbano
 Abastecimiento industrial
 Riego (indicar) _____
 Rural ganadero
 Sin uso
 Otros (Fisicicultura, balneario, recreativo-baño, etc.) (indicar) _____
 NS/NC

7. Comportamiento del caudal
 No se agotan nunca
 Se agota excepcionalmente
 Se agota con frecuencia
 Prácticamente siempre agotado
 NS/NC

8. Acceso
 Sin restricciones, ni dificultad
 Sin restricciones, pero complicado
 Con restricciones
 Con autorización y permiso

9. Estado de conservación del manantial
 Deficiente Muy bueno
 Aceptable NS /NC
 Bueno

10. Valores sectoriales
 (marcar con una X, sólo los que posean cierto interés)
 Científico / didáctico
 Medicinal
 Paisajístico / pintoresco
 Medio ambiente
 Recreativo / turístico / uso público
 Histórico / sociocultural
 Económico
 Arqueo / aprecio popular
 Otro (indicar) _____

11. Amenazas, impactos y presiones
 Ninguna
 Contaminación (indicar tipo) _____
 Afectación al caudal por bombeos o derivaciones
 Abandono, suciedad y vertidos
 Construcciones, obras públicas y/o desmontes próximos
 Usos inadecuados y/o desordenados (indicar) _____
 Otros (indicar) _____
 NS/NC

4. Descripción
(Localización y acceso, descripción hidrográfica, manantiales y fuentes próximas, reseña histórica, antropológica, cultural, etc.)

5. Instalaciones asociadas

<input type="checkbox"/> Fuente urbana	<input type="checkbox"/> Planta de envasado
<input type="checkbox"/> Fuente rural	<input type="checkbox"/> Balneario
<input type="checkbox"/> Lavadero	<input type="checkbox"/> Ninguna
<input type="checkbox"/> Abrevadero	<input type="checkbox"/> Otras (indicar) _____
<input type="checkbox"/> Tanque de regulación	<input type="checkbox"/> NS/NC
<input type="checkbox"/> Área recreativa (albercas)	

Fig. 3. Ficha descriptiva oficial de la Comisión Nacional del Agua en términos de la operación y conservación de manantiales

hélice en dar cierto número de vueltas para diferentes velocidades. Con el número de vueltas se consulta la gráfica que viene impresa en el flujómetro, transformando el número de revoluciones en velocidad (cm/seg).

Para obtener el gasto que pasa por la sección transversal de la corriente mediante el flujómetro, se dividió la sección transversal en tres franjas verticales

(debido a que la velocidad media en una corriente no es uniforme). En cada una de ellas se midió la velocidad media del flujo. El producto del área por la velocidad, proporcionó el valor de gasto.

Cuando la velocidad del flujo era muy baja, se utilizó el método del flotador. Para ello, se eligió un tramo del cauce a medir de cuatro metros de longitud para el recorrido del flotador (fragmento de

madera, para este caso), se colocaron marcas tanto al final como al principio del tramo. Posteriormente, se arrojó el flotador al menos 3 m aguas arriba de la marca inicial, para que adquiriera la velocidad de la corriente antes de llegar a ésta. En el momento de pasar por la marca inicial se comenzó a contar el tiempo que tardó en llegar a la marca colocada al final del tramo.

La velocidad se estimó dividiendo la distancia del tramo entre el tiempo que tardó el flotador en recorrerla. Este valor se corrigió por un factor de reducción ya que se considera que la velocidad media fluctúa desde 85 % hasta 95 % de la velocidad superficial, por lo que se acepta el promedio de 90 %. El área de la sección transversal de la corriente se determinó por la suma del área de cada una de las franjas verticales.

Finalmente el gasto se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = 0.9 A V$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s).

A = Área de sección transversal (m^2).

V = Velocidad en el tramo (m/s).

0.9 = Factor de reducción.

Cuando no se dan las condiciones anteriores, se hace necesario la construcción de una estructura aforadora tipo vertedor. Para éste caso se realizó una escotadura triangular sobre una pantalla de madera que se interpuso en la corriente de agua. En estos vertedores solamente se toma en cuenta la carga hidráulica (h) que se graduó verticalmente en cm aguas arriba por un costado con un ángulo de abertura de 90 °.

Para el cálculo del gasto se utilizó la ecuación:

$$Q = 1.4 \times h \quad (2.5)$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s).

h = Carga hidráulica.

En algunos casos, se aprovecharon las estructuras presentes en los manantiales que fueron consideradas como vertedores rectangulares sin contracción lateral.

Para aforar con estos vertedores es necesario conocer: la longitud de la cresta (L) y la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor (h). Dicha carga se midió con una escala graduada aguas arriba del vertedor.

La ecuación utilizada para el vertedor rectangular fue:

$$Q = 1.84 L h^{1.5}$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s).

L = Longitud de la cresta.

h = Carga hidráulica.

La determinación de algunos parámetros físico-químicos se realizó *in situ* en cada uno de los manantiales, utilizando un multisensor Hydrolab (Surveyor 4), el cual está compuesto por un sensor con siete puertos (Data Sonde DS5) y una computadora de despliegue y análisis de información. Los datos registrados fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos (STD) y cloruros. El período de muestreo comprendió del 29 de mayo al 26 de junio de 2013.

La determinación de los demás elementos químicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ y HCO^{-3} , Cl^- y SO_4^{-2}) fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Aguas del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Michoacán, siguiendo los métodos estándar internacionales (APHA 1999).

Se utilizó el diagrama de Piper y de Stiff como representación gráfica para obtener una visualización sencilla y lo más completa posible de composición y características químicas de las aguas.

Los análisis microbiológicos que se realizaron fueron: bacterias mesófilas aerobias (BMA), según los procedimientos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM 092-SSA1-1994 (SSA 1995), con el método por el número más probable.

El medio de cultivo utilizado fue el agar cuenta estándar. Además se determinó el número más probable de coliformes totales y de *Escherichia coli*, con base en lo señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM 112-SSA1-1994 (SSA 1995). Para esta determinación se utilizó una técnica fluorogénica, en la que se emplea el caldo lauril sulfato adicionado con MUG (Metil umbeliferil B-D-glucuronido). El muestreo se efectuó en el mes de junio de 2013.

RESULTADOS

Derivado de la información recabada de cada ficha descriptiva en términos de la operación y conservación de cada manantial se desprende lo siguiente: fueron

registrados un total de 52 manantiales. Sin embargo, sólo fue posible obtener información en 49, localizándose la mayoría de ellos (27) en la parte alta de la cuenca, en la jurisdicción del municipio de Chilchota (Fig. 4).

Respecto a la infraestructura, en 41 de los manantiales destaca la presencia de lavaderos, equipos de bombeo, tanque de depósito, áreas recreativas, estanques para la práctica acuícola, canales de riego, casetas de vigilancia y cerca perimetral, sólo en nueve de ellos no se presenta lo anterior.

El uso del agua es preponderantemente agrícola y en menor proporción de consumo urbano, acuícola y recreativo o su combinación y en todos los casos el caudal presenta un comportamiento estable en el año, es decir no se agota en su totalidad.

El acceso a los mismos, no ofreció restricción alguna y en cuanto al estado operativo y de conservación, el 18 % se encontró en muy buen estado, 41 % como aceptable, 14 % como bueno y 27 % como deficiente.

En 43 % de los manantiales se presentaron amenazas de impacto negativo por la presencia de una

fente de contaminación, ya sea por aguas residuales, actividades agropecuarias, crecimiento demográfico o actividades recreativas.

Para obtener los volúmenes de agua, se aforaron 49 manantiales, en tres de ellos no existieron las condiciones para la medición. En 33 sitios se utilizó como método de medición el flujómetro, en ocho se empleó el vertedor, en cuatro el flotador, en dos el medidor automático de gasto y dos aforos combinados y en uno se dedujo del título de concesión. El volumen de gasto total obtenido fue de 8.532 m³/s (Cuadro I).

Destacan los manantiales de Camécuaro, La Luz, Chilchota, Tanaquillo y Cupatziro, como los de mayor registro de gasto, todos por encima de 0.5 m³/s.

Entre mayo y junio del 2013, se obtuvo un total de 49 muestras de agua para su análisis químico, provenientes de un igual número de manantiales. Los resultados obtenidos para cada muestra se exponen en el cuadro II.

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos están en rangos de 110 y 318 mS/m, Lo que ubica a estas aguas de excelente calidad en términos de

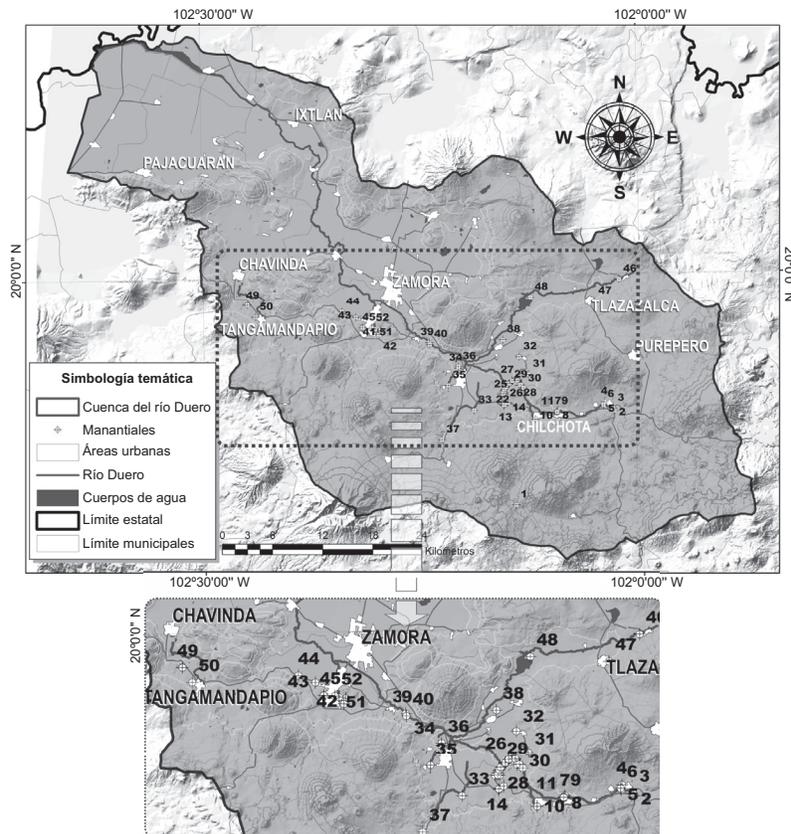


Fig. 4. Localización de los 52 manantiales dentro de la cuenca del río Duero

CUADRO I. RESULTADOS OBTENIDOS DE AFOROS EN MANANTIALES, EN EL PERIODO MAYO-JUNIO DE 2013

Nº	Nombre	Q (m ³ /s)	Método Utilizado	Ubicación
1	Huécato	0.006	Vertedor	Chilchota
2	Quitizapicho	NR	NR	Chilchota
3	Ostakuaro	0.07	Vertedor	Chilchota
4	Echonaricho y Queréndaro	0.273	Flujómetro	Chilchota
5	Kuinio Chico	NR	NR	Chilchota
6	Kuinio Kere	0.2	Flujómetro	Chilchota
7	Tanaquillo dentro del río	0.766	Flujómetro	Chilchota
8	Agua Zarca	0.033	Vertedor	Chilchota
9	Tanaquillo	0.354	Flujómetro	Chilchota
10	Chilchota	0.897	Flujómetro	Chilchota
11	La Tarjea	0.135	Flujómetro	Chilchota
12	Bajo Canoa	0.1	Flujómetro	Chilchota
13	El Fresno	0.067	Flujómetro	Chilchota
14	El Crucero	0.004	Vertedor	Chilchota
15	La Haciendita	0.052	Flujómetro	Chilchota
16	El Chirimoyo	0.126	Flujómetro	Chilchota
17	La Escuela	0.006	Flujómetro	Chilchota
18	El Mogote I	NR	NR	Chilchota
19	El Mogote II	0.06	Flujómetro	Chilchota
20	La Casita	0.037	Vertedor	Chilchota
21	El Cerezo	0.034	Flujómetro	Chilchota
22	El Criadero	0.01	Flotador	Chilchota
23	Molino de Alcántar	0.158	Flujómetro	Chilchota
24	El Moro	0.036	Flujómetro	Chilchota
25	Ixta I	0.117	Flujómetro	Chilchota
26	Ixta II	0.11	Flujómetro	Chilchota
27	Los Fresnos	0.109	Flujómetro	Chilchota
28	Los Constantinos	0.048	Flujómetro	Chilchota
29	El Guarío	0.249	Flujómetro	Tangancicuaro
30	El Recodo	0.012	Vertedor	Tangancicuaro
31	Agua Blanca	0.003	Flujómetro	Tangancicuaro
32	El Valle	0.013	Flujómetro	Tangancicuaro
33	La Palma	0.006	Vertedor	Tangancicuaro
34	Cupatziro	0.586	Flujómetro y flotador	Tangancicuaro
35	Junguarán	0.1	Flujómetro	Tangancicuaro
36	Camécuaro	1.751	Flujómetro	Tangancicuaro
37	San José Ocumicho	0.01	Flujómetro	Tangancicuaro
38	El Tanque	0.04	Flotador	Tangancicuaro
39	El Varal	0.013	Flujómetro	Jacona
40	Agua Potable el Platanal	0.008	Vertedor	Jacona
41	Agua Potable Jacona	0.252	Flujómetro	Jacona
42	La Luz	1.34	Flujómetro	Jacona
43	Orandino	0.119	Flotador	Jacona
44	La Estancia	0.023	Flotador	Jacona
45	El Disparate	0.015	Flujómetro	Jacona
46	La Yerbabuena	0.001	Título de concesión	Tlazazalca
47	La Audiencia	0.02	Flujómetro	Tlazazalca
48	Urepetiro	0.037	Flujómetro	Tlazazalca
49	Telonzo	0.002	Flujómetro	Tangamandapio
50	La Presa	0.008	Flujómetro	Tangamandapio
51	Calicanto	0.03	Medidor automático	Jacona
52	Santo Entierro	0.08	Medidor automático	Jacona
	T O T A L	8.526 m ³ /s		

NR = No realizado. Q = Gasto o aforo

CUADRO II. RELACION DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS REALIZADOS EN MANANTIALES EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO. MAYO-JUNIO DE 2013.

N° MUESTRA	Coordenadas			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica(mS/m)	Salinidad	Solidos totales disueltos	Nitratos	Oxígeno disuelto	Saturación oxígeno (%)	Bicarbonatos(meq/L)	Cloruros (meq/L)	Sulfatos (meq/L)	Carbonatos (meq/L)	Calcio (meq/L)	Magnesio (meq/L)	Potasio (meq/L)	Sodio (meq/L)	Boro (meq/L)	Balance iónico		
	X	Y	Z																				
1 Huecato	799240	2186472	2273	15.62	7.30	120	0.06	0.091	6.12	5.9	70.8	1.30	0.10	0.07	N.D.	0.84	0.38	0.04	0.04	0.04	1.7	-6.14	
2 Quitzapicho	810978	2197745	1994	17	7.30	131	0.07	0.108	4.9	6.85	84.6	1.65	0.11	0.07	N.D.	0.57	0.45	0.06	0.45	0.45	1.8	-8.93	
3 Ostakuar	810829	2198009	1988	17.06	7.60	143	0.07	0.107	5.05	6.68	82.4	1.60	0.08	0.07	N.D.	0.60	0.45	0.05	0.44	0.44	1.8	-6.38	
4 Echorgaricho	809771	2198800	1911	16.71	7.20	148	0.08	0.111	5.14	6.12	75.1	1.65	0.08	0.09	N.D.	0.66	0.45	0.02	0.44	0.44	1.8	-7.37	
5 Kuinio Chico	809687	2198313	1925	20.98	6.80	193	0.08	0.118	6.74	4.49	60	2.10	0.18	0.22	N.D.	0.97	0.90	0.03	0.54	0.54	1.8	-1.21	
6 Kuinio	809636	2198450	1910	16.81	7.00	161	0.08	0.119	8.58	6.27	77.3	1.80	0.12	0.10	N.D.	0.69	0.75	0.06	0.45	0.45	1.7	-1.76	
7 Dentro del Río	804115	2197622	1780	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8 Agua Zarca (Uren)	804208	2197784	1786	17.81	7.20	138	0.07	0.103	3.58	6.18	77.6	1.65	0.07	0.09	N.D.	0.61	0.60	0.02	0.44	0.44	1.8	-4.02	
9 Tanaquillo	804115	2197622	1780	17.93	7.00	151	0.08	0.112	4.47	5.94	74	1.65	0.10	0.09	N.D.	0.63	0.45	0.01	0.47	0.47	1.7	-8.24	
10 Chilchota	801509	2196706	1772	17.68	7.10	173	0.09	0.130	5.67	5.91	74.1	1.90	0.12	0.13	N.D.	0.77	0.83	0.06	0.45	0.45	1.8	-0.94	
11 La Tarjea (Los Nogales)	804095	2197586	1655	17.09	7.50	154	0.08	0.110	4.96	6.16	76.2	1.80	0.12	0.06	N.D.	0.72	0.83	0.15	0.49	0.49	1.9	5.04	
12 Bajo Canoa (Los Nogales)	797732	2198333	1732	17.12	7.50	145	0.08	0.109	3.97	6.16	75.3	1.85	0.11	0.06	N.D.	0.64	1.35	0.02	0.40	0.40	1.9	8.80	
13 El Fresno (Los Nogales)	797788	2198407	1728	17.11	7.30	146	0.08	0.108	4.66	6.16	76.4	1.70	0.11	0.09	N.D.	0.62	0.60	0.01	0.50	0.50	1.8	-4.68	
14 El Crucero (El Aguacate)	798235	2198672	1728	16.95	7.50	139	0.07	0.107	4.36	6.19	76.3	1.75	0.10	0.06	N.D.	0.64	1.20	0.05	0.39	0.39	1.9	8.83	
15 La Hacienda	797384	2199713	1716	17.74	7.30	148	0.08	0.111	4.99	5.72	71.8	2.10	0.12	0.12	N.D.	0.73	0.75	0.12	0.43	0.43	1.7	-7.09	
16 El Chirimollo	797653	2199954	1713	17.7	7.30	144	0.07	0.108	4.71	6.13	76	1.80	0.11	0.08	N.D.	0.57	1.28	0.01	0.40	0.40	1.9	6.35	
17 La Escuela	797783	2199921	1724	17.29	7.30	143	0.08	0.108	4.88	6.14	76.2	1.85	0.10	0.07	N.D.	0.62	1.36	0.02	0.39	0.39	1.9	8.39	
18 El Mogote I	797830	2199717	1720	18.08	7.30	144	0.08	0.177	2.85	6.13	76.2	1.87	0.12	0.07	N.D.	0.70	0.75	0.08	0.41	0.41	1.8	-3.00	
19 El Mogote II	797744	2200174	1714	18.08	7.30	146	0.08	0.177	2.85	6.13	76.2	1.90	0.12	0.08	N.D.	0.71	0.75	0.08	0.42	0.42	1.7	-3.45	
20 La Casita (El Pedregal)	797655	2199755	1720	17.21	7.40	147	0.07	0.108	4.51	6.09	75.6	1.85	0.11	0.06	N.D.	0.71	0.75	0.03	0.39	0.39	1.9	-3.59	
21 El Cerezo	797798	2200265	1704	17.42	7.40	148	0.08	0.108	4.62	6.02	75.1	1.90	0.12	0.07	N.D.	0.72	0.75	0.09	0.40	0.40	1.7	-3.21	
22 El Criadero	797950	2200518	1717	17.4	7.30	145	0.08	0.107	4.84	6.15	76.6	1.90	0.12	0.10	N.D.	0.71	0.75	0.13	0.41	0.41	1.7	-2.91	
23 Molino de Alcantar	798361	2200891	1716	17.1	7.20	135	0.08	0.109	4.24	6.16	76.3	1.85	0.12	0.17	N.D.	0.63	1.28	0.04	0.32	0.32	1.9	2.95	
24 El Moro (El Pedregal)	798400	2200956	1715	17.18	7.40	149	0.08	0.111	4.92	6.19	76.8	1.85	0.12	0.10	N.D.	0.74	0.75	0.09	0.43	0.43	1.7	-1.47	
25 Ixta	798687	2201274	1713	17.22	7.30	148	0.08	0.114	5.43	6.05	75.1	1.90	0.12	0.07	N.D.	0.65	1.06	0.02	0.39	0.39	1.9	0.71	

CUADRO II. RELACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS REALIZADOS EN MANANTIALES EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO. MAYO-JUNIO DE 2013.

N° MUESTRA	Coordenadas			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica(mS/m)	Salinidad	Solidos totales disueltos	Nitratos	Oxígeno disuelto	Saturación oxígeno (%)	Bicarbonatos(meq/L)	Cloruros (meq/L)	Sulfatos (meq/L)	Carbonatos (meq/L)	Calcio (meq/L)	Magnesio (meq/L)	Potasio (meq/L)	Sodio (meq/L)	Boro (meq/L)	Balance iónico
	X	Y	Z																		
26	798709	2201283	1713	17.34	7.20	153	0.08	0.1117	5.44	6.07	75.5	1.90	0.14	0.08	N.D.	0.64	1.36	0.01	0.39	1.9	6.19
27	799368	2201337	1713	17.99	7.10	173	0.09	0.131	7.71	5.37	67.8	1.95	0.15	0.09	N.D.	0.85	0.90	0.07	0.47	1.9	2.23
28	799550	2200750	1724	18.26	7.10	170	0.09	0.126	5.72	5.06	64.2	2.05	0.22	0.16	N.D.	0.83	1.06	0	0.46	1.9	-1.67
29	799766	2200807	1707	18.46	7.70	155	0.08	0.117	4.45	5.53	70.3	1.85	0.22	0.07	N.D.	0.59	1.36	0.04	0.52	1.9	7.96
30	800102	2200443	1739	18.67	6.90	158	0.08	0.116	4.31	5.55	72	2.15	0.18	0.08	N.D.	0.72	0.98	0	0.50	1.8	-4.56
31	800688	2202057	1719	19.96	7.20	164	0.09	0.128	4.17	5.7	74.8	2.00	0.02	0.15	N.D.	0.81	1.36	0.06	0.35	1.8	8.70
32	799551	2204136	1723	20.69	7.20	150	0.08	0.114	3.01	5.73	76.4	1.95	0.15	0.10	N.D.	0.68	1.43	0.02	0.28	1.9	4.56
33	794175	2197739	1739	19.04	7.00	167	0.09	0.124	3.56	4.87	62.8	2.25	0.14	0.13	N.D.	0.83	0.83	0.12	0.43	1.7	-6.55
34	792243	2202788	1659	18.21	7.60	130	0.07	0.096	2.88	5.97	75.6	1.70	0.17	0.10	N.D.	0.60	0.75	0	0.39	1.8	-6.20
35	791098	2200720	1720	18.61	7.50	152	0.08	0.114	3.13	6.14	78.4	2.05	0.22	0.12	N.D.	0.66	0.98	0	0.54	1.9	-4.60
36	792286	2202980	1706	22.04	7.70	193	0.11	0.150	4.2	4.25	58.2	2.05	0.52	0.12	N.D.	0.68	1.06	0.07	0.81	2.0	-1.32
37	790344	2194228	1814	17.53	7.40	110	0.05	0.084	6.14	6.41	80.1	1.40	0.10	0.12	N.D.	0.58	0.60	0.10	0.23	1.7	-3.51
38	797606	2206191	1713	26.39	7.80	318	0.19	0.243	3.66	1.49	22.2	3.40	0.55	0.16	N.D.	1.01	1.43	0.14	1.56	2.0	0.36
39	788811	2205854	1598	22	7.40	160	0.09	0.121	6.37	5.58	76.4	1.85	0.14	0.11	N.D.	0.75	0.75	0	0.63	2.1	0.71
40	788867	2205626	1613	22.15	7.90	175	0.09	0.119	2.34	5.59	76.3	2.20	0.24	0.09	N.D.	0.67	0.98	0.05	0.70	2.0	4.52
41	782829	2207314	1625	20.01	7.6	165	0.09	0.129	5.95	5.57	73.3	2.05	0.26	0.12	N.D.	1.1	0.98	0	0.58	2	4.52
42	782650	2206778	1622	20.65	7.70	153	0.08	0.114	5.53	5.73	76.2	1.85	0.22	0.12	N.D.	0.65	0.90	0	0.50	1.8	-3.30
43	779865	2208867	1570	21.76	7.40	144	0.07	0.107	3.69	5.71	77.6	2.00	0.15	0.08	N.D.	0.68	0.98	0	0.33	1.8	-5.69
44	778217	2209537	1570	22.9	7.60	149	0.08	0.112	4.21	7.04	98	2.00	0.11	0.09	N.D.	0.67	1.06	0	0.33	1.9	-3.29
45	780689	2207625	1634	23.53	7.20	181	0.11	0.137	9.72	7.45	105.4	2.10	0.15	0.19	N.D.	0.88	1.28	0.02	0.39	2.0	2.59
46	811500	2213551	1890	21.28	7.10	250	0.15	0.194	12.7	5.26	72	2.15	0.28	0.19	N.D.	1.18	1.26	0.04	0.57	2.0	7.58
47	808526	2210924	1823	21.07	7.00	190	0.11	0.144	5.66	5.31	71.3	2.00	0.34	0.19	N.D.	0.86	1.21	0.05	0.48	2.0	1.36
48	800900	2211378	1760	29.25	7.80	254	0.16	0.203	4.46	1.91	30.2	2.90	0.39	0.14	N.D.	0.79	1.13	0.04	1.30	2.0	-2.54
49	766901	2210319	1629	23.16	7.30	163	0.09	0.129	4.25	5.45	76.7	2.20	0.17	0.17	N.D.	0.73	1.28	0	0.43	1.9	-2.01
50	767864	2208878	1663	22.5	7.70	183	0.11	0.152	7.56	5.04	69.8	2.45	0.22	0.14	N.D.	0.83	1.43	0	0.40	1.9	-2.74
51	782187	2207452	1618	21.21	7.60	198	0.11	0.150	10.3	5.44	73.2	2.10	0.25	0.18	N.D.	0.94	1.13	0	0.59	1.8	2.50
52	781761	2207556	1606	21.21	7.60	175	0.09	0.131	8.4	5.47	73.6	2.10	0.22	0.12	N.D.	0.77	1.06	0	0.56	1.8	-1.04

salinidad. El rango para STD fue de 90 a 243 mg/L, estos valores permiten suponer que el agua ha tenido una permanencia en el subsuelo relativamente corta. El pH de las aguas estudiadas se encuentra entre 7 y 7.5, es decir aguas de alcalinidad básica y dentro de los límites permisibles.

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua. La salinidad y la conductividad eléctrica están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. Las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua potable o de riego. También influyen en la biota acuática y cada organismo tolera un rango determinado de valores de salinidad.

Los valores más altos de salinidad corresponden a los manantiales El Tanque (170 ppm), La Yerbabuena (150 ppm) y Urepetiro (130 ppm). Por tanto, existe una relación directa entre la salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos.

La temperatura del agua muestreada se presenta en rangos de 17 °C hasta de 29 °C, el promedio fue de 21 °C. En general, los valores máximos se asocian al control estructural que influye en este parámetro, evidenciando comunicación con el sistema de fallas geológicas regionales.

Por lo que se refiere a los nitratos, a excepción del manantial de la Yerbabuena (12.67 mg/L) y Calicanto (10.31 mg/L), todos los sitios presentaron condiciones por debajo del límite máximo permisible, es decir por debajo de los 10 mg/L que indica la norma oficial mexicana. Sin embargo, debido a que los valores promedio de nitratos en aguas subterráneas son normalmente inferiores a 3-4 mg/L, se considera que la mayoría de sitios tiene alguna influencia de fuentes antropogénicas de contaminación, esto se comprueba con los resultados de los análisis bacteriológicos, donde sólo tres muestras no tienen coliformes totales y *Escherichia coli*.

El ion cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde unas pocas partes por millón, hasta varios gramos por litro. Este ion ingresa al agua en forma natural mediante el lavado que las aguas de lluvia realizan sobre el suelo. Sin embargo, cuando la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo es relativamente baja, en las aguas superficiales la concentración de cloruros tiende a ser baja, salvo que haya sido afectada por eventos antropogénicos o variaciones climáticas. El cloruro residual es una sustancia altamente soluble y estable, con muy pocas excepciones todos los seres humanos lo ingieren, por lo cual frecuentemente se utiliza como indicador de contaminación antropogénica en

estudios de evaluación ambiental. De acuerdo con la reglamentación vigente, establecida en la Norma Oficial Mexicana Modificada NOM 127-SSA1-1994 (SSA 2000), la concentración máxima permisible para aguas de consumo humano es de 250 mg/L. El agua de los manantiales analizados presenta concentraciones inferiores a dicho límite, con los valores más altos de 173.6, 111, 97.59 y 94.45 mg/L para los manantiales de El Tanque, La Audiencia, Urepetiro y La Yerbabuena respectivamente, mientras que los valores más bajos se observan en Orandino (14.91 mg/L) y La Estancia (14.94 mg/L).

De acuerdo con la clasificación de Piper, se definieron las distintas facies químicas de agua prevalientes en la cuenca. Las muestras analizadas en su totalidad corresponden a aguas bicarbonatadas cálcicas, mostrando como procesos principales el intercambio catiónico y la mezcla de aguas (**Fig. 5**). Por lo que se puede decir que son aguas que no han tenido mucho tiempo de contacto, o en otras palabras, que son de reciente infiltración.

Los diagramas de Stiff permitieron visualizar de mejor manera los cambios de los principales iones durante el periodo de muestreo. En ellos, se representan la concentración de aniones (hacia la derecha) y cationes (hacia la izquierda) en semirrectas paralelas, uniendo los extremos generando un polígono. El valor de concentración se expresa en miliequivalentes por litro (meq/L). Por conveniencia, todas las sales (sodio y potasio) se representan con el sodio. En la **figura 6** se muestra de manera gráfica el comportamiento de tres localidades representativas del tipo de facie química predominante en la zona que son clasificados como bicarbonatada magnésica cálcica.

Correlaciones iónicas.

Los factores que controlan la composición de solutos del agua son la lluvia, el intemperismo de roca y los procesos de evaporación y precipitación (Appelo y Postma 1993). La **figura 7A** muestra la interacción agua-roca como el principal proceso evolutivo del agua subterránea del área de estudio. Los manantiales en la cuenca del río Duero está en el dominio de roca. Modificada de Appelo y Postma (1993).

En la **figura 7B** se observa que los cationes magnesio y calcio se encuentran en concentraciones mayores con relación al sodio y potasio, siendo dicho dominio el carácter del tipo de facie química dominante, bicarbonatada magnésica cálcica. Al graficar la relación entre el calcio y el magnesio se visualiza de manera muy clara que el magnesio es el catión que se encuentra en la mayoría de las muestras analizadas (**Fig. 7C**).

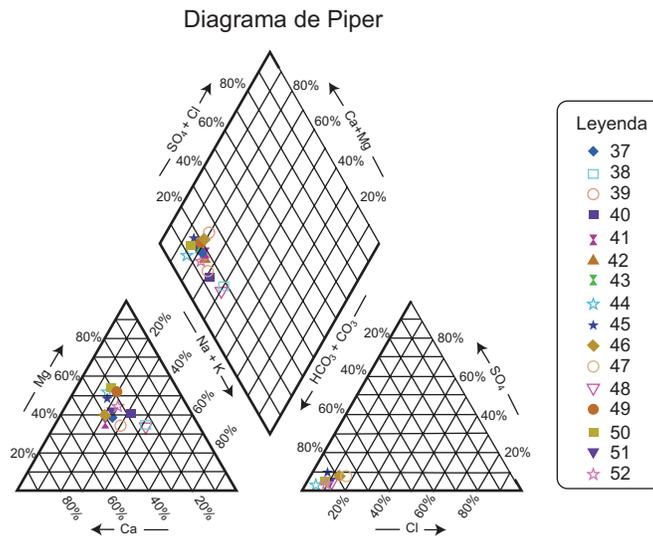
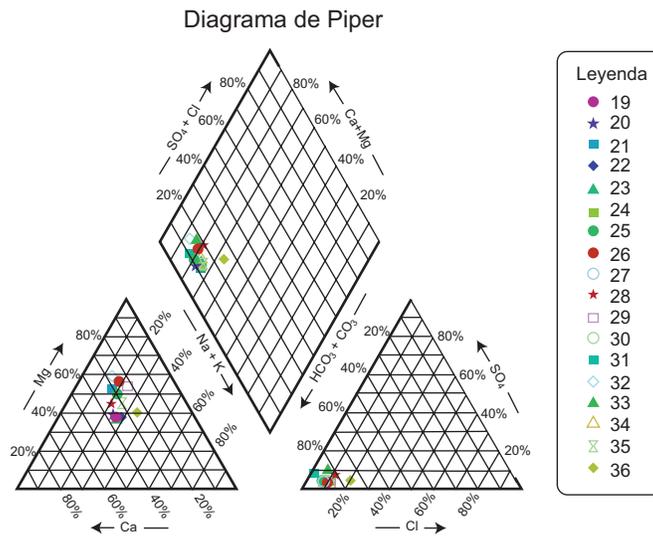
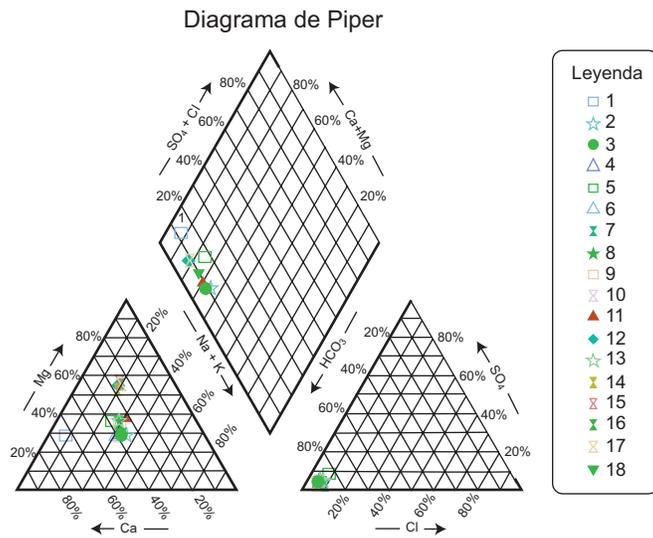


Fig. 5. Clasificación de Piper obtenidos para cada manantial

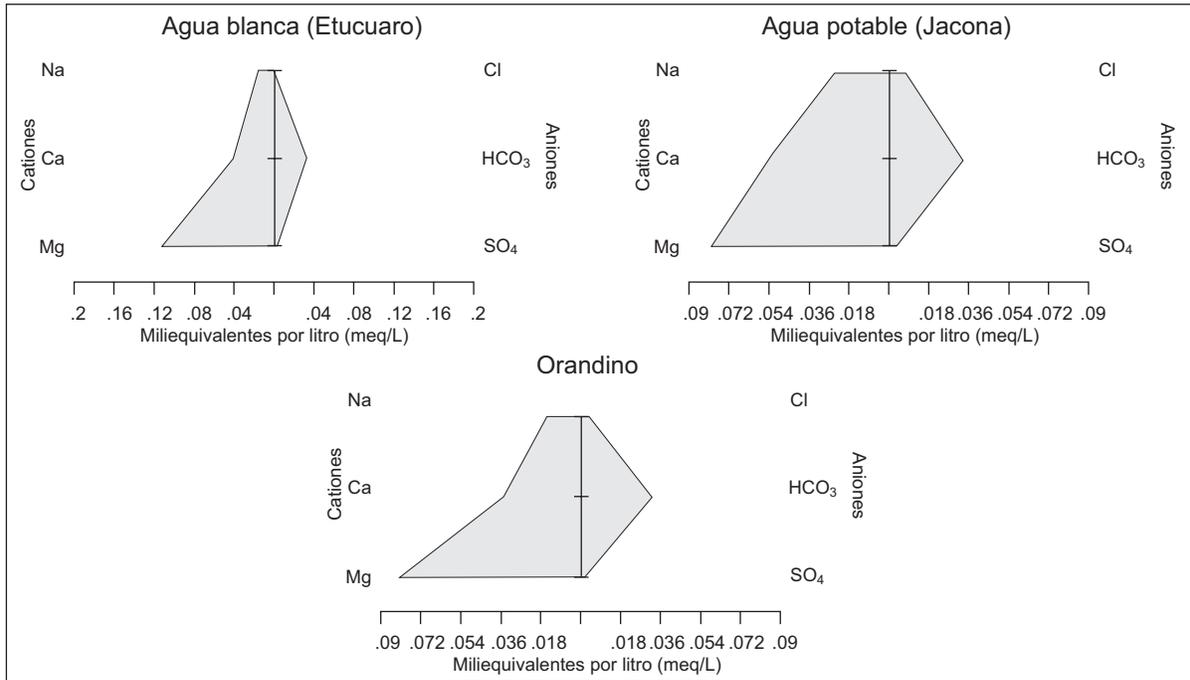


Fig. 6. Diagramas de Stiff, mostrando el comportamiento representativo del tipo de facie química predominante en la cuenca, clasificado como bicarbonatada magnésica cálcica

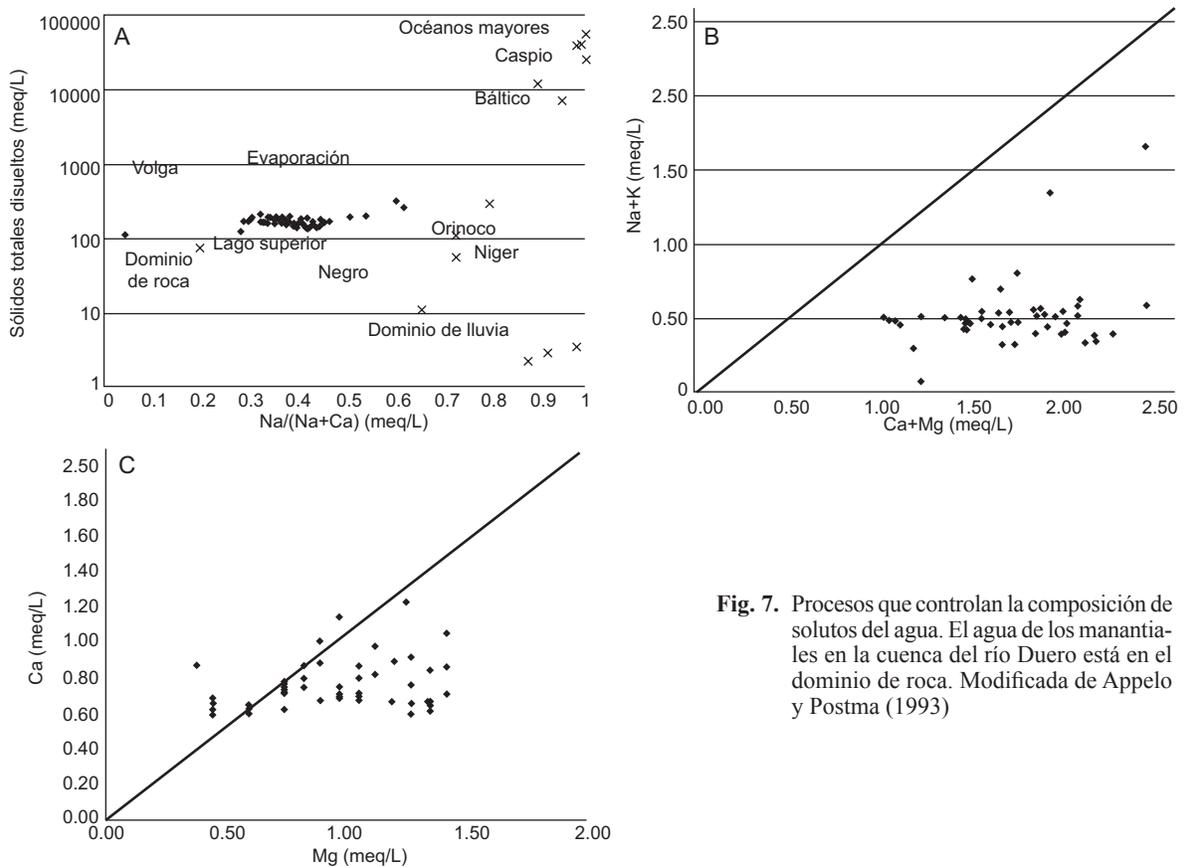


Fig. 7. Procesos que controlan la composición de solutos del agua. El agua de los manantiales en la cuenca del río Duero está en el dominio de roca. Modificada de Appelo y Postma (1993)

El análisis microbiológico, se realizó en 25 sitios representativos de la cuenca. Los resultados obtenidos se muestran en el **cuadro III**.

La totalidad de las muestras analizadas no cumplen con la Norma Oficial Mexicana Modificada NOM-127-SSA1-1994 (SSA 2000), para el caso del agua de uso y consumo humano. En esta norma se establece que el agua destinada a dicho propósito, requiere de ausencia total de estos indicadores, por lo cual es necesario un proceso de potabilización en las mismas.

En general la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* es un indicador de la actividad antropogénica, así como también de las amenazas, impactos y presiones a las que pueden estar sometidos

los manantiales en términos de la presencia de una fuente de contaminación, ya sea por aguas residuales, actividades agropecuarias, crecimiento demográfico, actividades recreativas, etc.

El deterioro de la calidad microbiológica del agua se ha convertido en un motivo de preocupación a nivel regional dado crecimiento agrícola en el ámbito del cultivo de frutillas (fresa, zarzamora, frambuesa, etc.), cuyos estándares de inocuidad son muy estrictos. El agua es fundamental en el cumplimiento de este requisito.

La problemática que enfrentan los manantiales es muy variada, por lo que es necesario emprender una serie de trabajos para su restauración, protección y mejor aprovechamiento, tales como el cercado

CUADRO III. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE MANANTIALES EN LA CUENCA DEL RÍO DUERO. JUNIO DE 2013

Numero de Manantial	Localidad	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Mesofilos aerobios (BMA/mL)
2	Quitizapicho	0	23	610
3	Ostakuaró	0	9	206
4	Echogaricho	3	460	5920
5	Kuinio Chico	0	460	1620
6	Kuinio	0	23	5
8	Agua Zarca	0	23	165
9	Tanaquillo	4	43	280
10	Chilchota	0	4	92
11	La Tarjea	0	43	430
12	Bajo Canoa	0	0	11
13	El Fresno	23	240	94
14	El Crucero	11	460	171
32	El Valle	43	460	5900
33	La Palma	0	23	345
34	Cupatziro	0	9	935
35	Junguaran	43	460	2400
36	Camécuaro	4	9	837
37	San José Ocumicho	4	120	1630
38	El Tanque	7	43	2250
39	El Varal	43	240	240
40	El Platanal	23	240	520
41	Agua Potable (Jacona)	0	0	5000
42	La Luz	0	0	170
43	Orandino	0	15	40
44	La Estancia	0	93	170
45	El Disparate	9	43	780
46	La Yerbabuena	93	460	820
47	La Audiencia	4	43	2600
48	Urepetiro	150	240	1625
49	Telonzo	0	4	21
50	La Presa	0	7	185
51	Calincanto	0	4	40
52	Santo Entierro	93	93	20

NMP = Numero más probable. BMA = Bacterias mesófilas aerobias

perimetral, la reforestación, la limpieza de maleza acuática, el mantenimiento de la infraestructura disponible, la reubicación de abrevaderos y lugares de lavado de ropa.

CONCLUSIONES

Los manantiales presentes en la cuenca del río Duero son abundantes y de buena calidad química, no así en términos microbiológicos ya que se encontró la presencia de *E. coli* en un porcentaje importante de ellos, haciéndolos de alto riesgo a la salud humana, por lo que para su uso doméstico requiere de un proceso de potabilización.

El caudal total medido acumulado en manantiales fue de 8.526 m³/s, lo que es suficiente para cubrir las demandas de los diversos sectores económicos. Sin embargo, es importante reconocer que al ser parte del caudal del río Duero, su deterioro es inmediato ya que al mismo se vierten de manera directa descargas de aguas residuales lo que provoca su contaminación.

La principal familia de agua de los manantiales en la Cuenca del río Duero es la bicarbonatada cálcica y como proceso evolutivo es el intercambio iónico que toma las características químicas de la roca de contacto.

REFERENCIAS

- Appelo C.A.J. y Postma D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2^a ed. A.A. Balkema publishers. Leiden, Holanda, 635 pp.
- APHA (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. 20 ed. Nueva York, EUA, 541 pp.
- CONAGUA (2009). *Saneamiento Integral de la Cuenca del Río Duero*. Informe Técnico Final. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN), Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México, 210 pp.
- Hasenaka T. y Carmichael I.S.E. (1985). The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central México: their age, volume and distribution, and magma discharge rate. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 25, 105-124.
- SSA (1995). Norma Oficial Mexicana NOM 092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 12 de diciembre de 1995.
- SSA (1995). Norma Oficial Mexicana NOM 112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 19 de octubre de 1995.
- SSA (2000). Norma Oficial Mexicana Modificada NOM 127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 20 de junio del 2000.
- Seffó J.L. (2002). Conflictos urbano-rurales por el acceso de agua en Zamora-Jacona, Michoacán (1992-1998). En: (P. Ávila, Ed.) *Agua, cultura y sociedad*. El Colegio de Michoacán-Secretaría del Medio Ambiente y los Recursos Naturales-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 215-225 pp.
- SEMARNAT (2009). Programa hídrico visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. Comisión Nacional del Agua. Serie planeación hidráulica en México. Componente planeación regional y estatal. Secretaría del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Morelia, México, 179 pp.
- Silva G.J.T. y Ramos L.J.A. (1998). Elementos de vulnerabilidad de acuíferos para la protección de manantiales. Caso lago de Camécuaro, Michoacán, Memorias. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 9-13 de noviembre, 1998. 242-372 pp.