

**Determinación de metales pesados en agua para uso y consumo humano:
Caracterización de las principales fuentes de abastecimiento en Hidalgo del Parral,
Chihuahua**

**Determinación de metales pesados en agua para uso y consumo humano:
Caracterización de las principales fuentes de abastecimiento en Hidalgo del Parral,
Chihuahua**

DOI: 10.46932/sfjdv3n1-078

Received in: Jan 30st, 2021

Accepted in: Feb 1th, 2022

Diana Aracely Campos Alvarado

Egresada de la carrera de Ingeniería Química del Tecnológico Nacional de México Campus Parral (TecNM-Parral), Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.
E-mail: lebanacam@gmail.com

Luis Miguel Rodríguez Vázquez

Profesor Investigador en el Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Tecnológico Nacional de México Campus Parral (TecNM-Parral), Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.
E-mail: lmrodriguez@itparral.edu.mx

Miguel Ángel Sánchez Méndez

Profesor Investigador en Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Tecnológico Nacional de México Campus Parral (TecNM-Parral), Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.
E-mail: mmas_17@hotmail.com

Leonor Cortés Palacios

Profesora Investigadora en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Chihuahua, Chihuahua, México.
E-mail: lcortes@uach.mx

Gilberto Sandino Aquino De los Ríos

Profesor Investigador en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Chihuahua, Chihuahua, México.
E-mail: gaquino@uach.mx

Emilio Yáñez Terrazas

Profesor Investigador en el Departamento de Ciencias Básicas del Tecnológico Nacional de México Campus Parral (TecNM-Parral), Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.
E-mail: eyanez@itparral.edu.mx

Eduardo Florencio Herrera Peraza

Profesor Investigador en el Departamento de Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Chihuahua, Chihuahua, México.
E-mail: eduardo.herrera@cimav.edu.mx

María del Carmen Avitia Talamantes

Profesora Investigadora en Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Tecnológico Nacional de México Campus Parral (TecNM-Parral), Hidalgo del Parral, Chihuahua, México.

E-mail: qfbavitia@gmail.com

RESUMEN

Se analizaron muestras de agua potable en las principales fuentes de abastecimiento de Hidalgo del Parral, Chihuahua. Los puntos de muestreo fueron seleccionados de acuerdo con el seccionamiento elaborado por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la entidad. Las muestras fueron colectadas, preservadas y analizadas de acuerdo con lo establecido en las Normas Mexicanas NOM-230-SSA1-2002, NOM-051-SCFI-2001, NOM-127-SSA1-1994 y el método 7000B-2007 de la EPA. Se determinó el contenido de metales pesados totales, tales como plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), hierro (Fe) y Calcio (Ca) empleando las técnicas de ICP-OES y AAS. Concentraciones anómalas de Fe fueron detectadas en las efluentes de los sitios identificados como "Planta Potabilizadora Parral" con concentraciones de hasta 20.8 mg/l, "Veta Colorada" con 21.225 mg/l y "Mezcla Vesper-Recompensa" con 14.975 mg/l. El Ca también estuvo presente en prácticamente todos los sitios evaluados, exceptuando el identificado como "Pozos del Valle del Verano", con concentraciones hasta 4 veces superiores al parámetro establecido por la norma; las concentraciones del resto de los metales pesados se encuentran por debajo de los límites de referencia o no fueron detectados. Se compararon los resultados de este estudio, realizado en el año 2018, con los observados en el año 2010, encontrando diferencias significativas entre los valores de Pb, As, Cd y Zn en ambos períodos de análisis.

Palabras clave: metales pesados, agua potable, agua purificada, norias, Parral.

ABSTRACT

Drinking water samples were analyzed in the main water supply sources of Hidalgo del Parral, Chihuahua. The sampling points were selected according to the sectioning prepared by the Junta Municipal de Agua y Saneamiento of the entity. Samples were collected, preserved and analyzed in accordance with Mexican Standards NOM-230-SSA1-2002, NOM-051-SCFI-2001, NOM-127-SSA1-1994 and EPA Method 7000B-2007. The content of total heavy metals such as lead (Pb), arsenic (As), chromium (Cr), cadmium (Cd), zinc (Zn), iron (Fe) and calcium (Ca) was determined using ICP-OES and AAS techniques. Anomalous concentrations of Fe were detected in the effluents of the sites identified as "Planta Potabilizadora Parral" with concentrations of up to 20.8 mg/l, "Veta Colorada" with 21.225 mg/l and "Mezcla Vesper-Recompensa" with 14.975 mg/l. Ca was also present in practically all the sites evaluated, except the one identified as "Pozos del Valle del Verano", with concentrations up to 4 times higher than the parameter established by the standard; the concentrations of the rest of the heavy metals are below the reference limits or were not detected. The results of this study, conducted in 2018, were compared with those observed in 2010, finding significant differences between the values of Pb, As, Cd and Zn in both periods of analysis.

Keywords: heavy metals, drinking water, purified water, norias, Parral.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es fuente vital para el desarrollo de la vida y conocida como el solvente universal. Esto promueve su estudio y la creciente preocupación sobre su calidad en cuanto a parámetros para su uso y

consumo. La contaminación Antropogénica de las aguas toma relevancia a partir de la revolución industrial, aproximadamente hace unos 200 años, debido al incremento rápido de la población mundial (Dekov, 1998), la que condujo a una urbanización muy localizada, creando problemas tanto en la calidad como en la cantidad del agua (Förstner, 1990; Vink & Measures, 2001). En la Actualidad, los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y especialmente al comportamiento bioacumulativo que estos poseen (Purves, 1985; Moalla, 1998).

La ciudad de Hidalgo del Parral está situada a 26.9324° de latitud Norte y 105.6661° de longitud Oeste al sur del estado de Chihuahua, una zona predominantemente minera, actividad que por siglos fue el motor de su desarrollo económico, aunque en las últimas décadas, actividades como la ganadería, la agricultura y el comercio la han complementado (INEGI, 2009). Derivado de esta actividad se generó una cantidad significativa de residuos, propios de los procesos empleados para extracción de los minerales.

La principal fuente de abastecimiento de agua para uso y consumo humano en Parral son, los “Pozos de Valle del Verano”, ubicados en la localidad que lleva el mismo nombre, a aproximadamente 20 Km en dirección SSO de la Ciudad de Parral, agua proveniente de diferentes “Minas” de la localidad y la “Presa Parral” (JMAS, 2007), esta última es llevada, junto con el agua de algunas minas, a una planta de tratamiento de aguas para su potabilización.

La importancia de este estudio recae en la salud pública, ya que puede verse afectada si los límites máximos permitidos, establecidos por la normatividad vigente, son rebasados.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

2.1 PLAN DE MUESTREO

Con el apoyo de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Parral (JMAS), se tuvo acceso al mapa de ubicación e identificación de las 5 Zonas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano (Figura1). En las siguientes tablas y figuras se especifica la identificación de cada Zona y de los puntos que la componen, así como su distribución espacial.

Figura 1. Mapeo de Zonas de influencia para el abastecimiento de agua potable en Parral

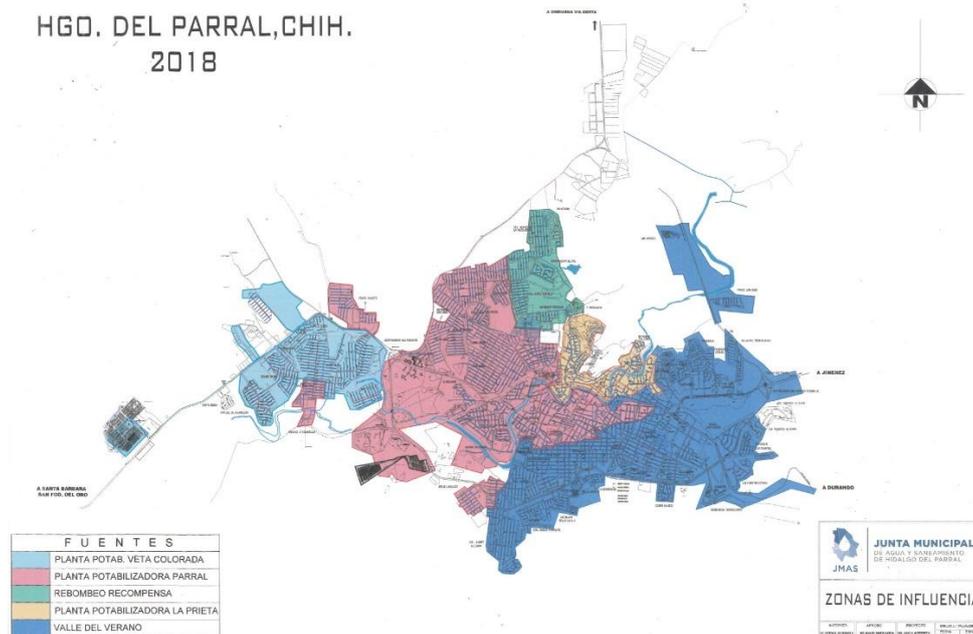


Tabla 1. Entrada, Salidas y Tanques de regulación - Planta Potabilizadora Parral

Planta Potabilizadora Parral	
Entrada	Presa Parral
Salida	Arbolito y esmeralda Mezcla
Tanques de regularización	Almanseña Progreso Juárez Esmeralda Guamúchil

Tabla 2. Entrada, Salidas y Tanques de regulación - Rebombeco Recompensa

Rebombeo Recompensa	
Entrada	Recompensa Vesper
Salida	Mezcla
Tanques de regularización	-----

Tabla 3. Entrada, Salidas y Tanques de regulación - Planta Veta Colorada

Veta Colorada	
Entrada	Mina
Salida	Pila
Tanques de regularización	Gómez Morín

Tabla 4. Entrada, Salidas y Tanques de regulación - Planta Potabilizadora Mina La Prieta

Planta Potabilizadora Mina La Prieta	
Entrada	Agua cruda
Salida	Con bypass Ósmosis
Tanques de regularización	-----

Tabla 5 Entrada, Salidas y Tanques de regulación - Pozos Valle del Verano

Valle del Verano	
Pozos	2 al 16
Tanques regularización de	Rebombero el Verano
	Cerro Blanco
	AltaVista
	Miguel Hidalgo

Figura 2. Identificación y distribución espacial de las fuentes de abastecimiento en Hidalgo del Parral

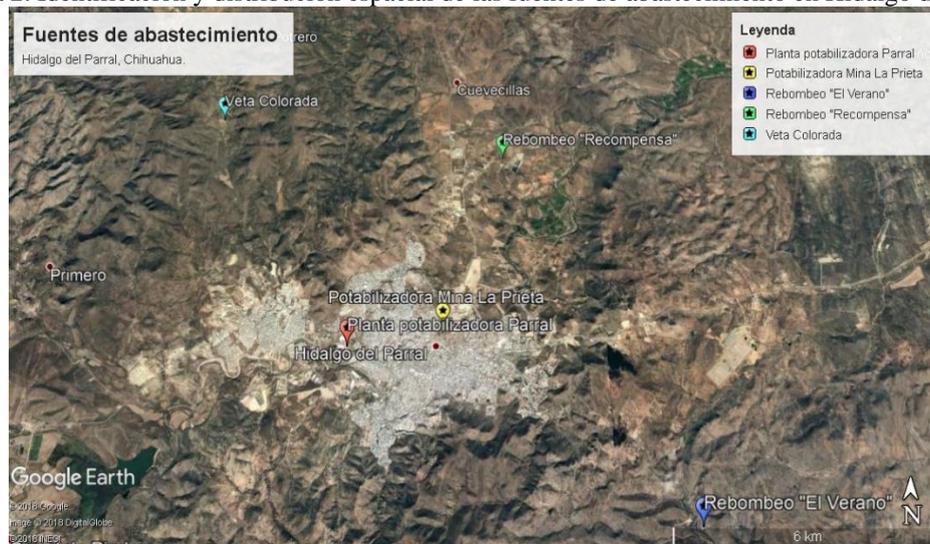
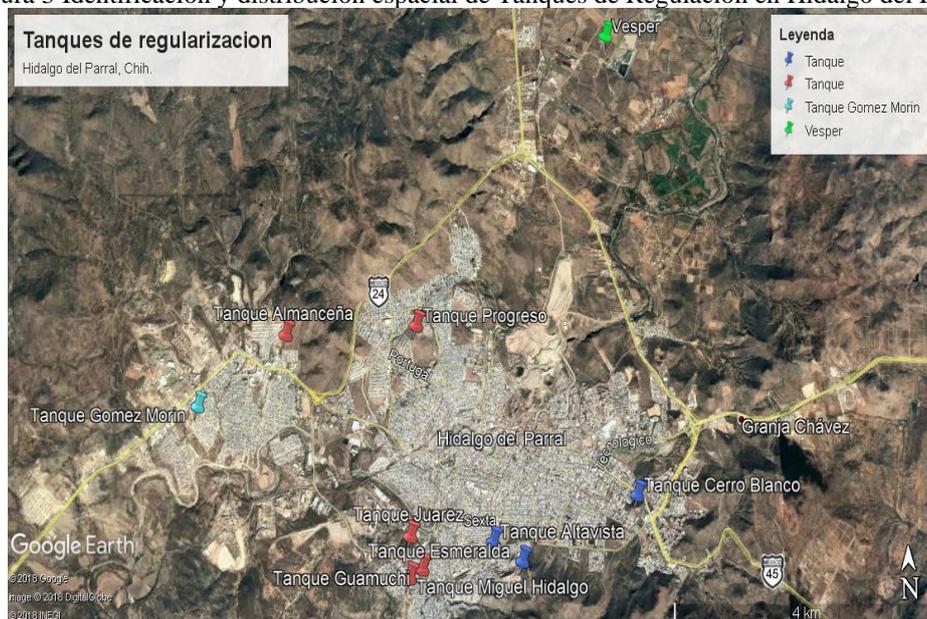


Figura 3 Identificación y distribución espacial de Tanques de Regulación en Hidalgo del Parral



Adicionalmente a las fuentes de abastecimiento reportadas por la JMAS, se tomaron muestras en pozos privados dentro de la mancha urbana, conocidos tradicionalmente como Norias e identificados para este estudio como: “Clarissima, Los Arcos, Jazmín, Peña Azul, Maple, Brisa, El Minero, Oasis, San

Gabriel, Diamante, Los Ángeles, JV y Hermanos Ruíz” (Figura 4); el agua de estas norias se extrae tanto para la venta al público como para uso personal de los propietarios.

Figura 4. Identificación y distribución espacial de Norias en Hidalgo del Parral



Los datos de la ubicación para cada punto de muestreo, por Zona o fuente de abastecimiento, se muestran en las tablas 6 a 18.

Tabla 6. Ubicación y parámetros de campo - Fuentes de abastecimiento

Fuentes de abastecimiento								
Sitio	ID	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	T °C	mS/cm	pH
Veta Colorada								
Veta Colorada entrada	F01	11-10-18	11:30	-105.72828	26.99178	29.40	0.65	7.61
Veta Colorada (pila)	F02	11-10-18	11:11	-105.72828	26.99178	28.7	0.66	7.65
Planta Potabilizadora Parral								
Entrada: Presa	F03	11-10-18	10:22	-105.68878	26.93236	22.1	0.50	7.43
Entrada: Arbolito y Esmeralda	F04	11-10-18	10:25	-105.68878	26.93236	21.6	0.54	7.63
Salida	F05	11-10-18	10:28	-105.68878	26.93236	20.9	0.55	7.68
Rebombero Recompensa								
Entrada: Recompensa	F06	11-10-18	8:52	-105.64931	26.98141	23.2	0.88	7.7
Entrada: Vesper	F07	11-10-18	8:55	-105.64931	26.98141	25.7	1.06	7.25
Salida (mezcla)	F08	11-10-18	8:58	-105.64931	26.98141	14.1	0.87	7.72
Planta Potabilizadora Mina La Prieta								
Entrada Cruda	F09	22-10-18	10:20	-105.66443	26.93762	20.6	1.72	6.27
Salida Osmosis	F10	22-10-18	10:23	-105.66443	26.93762	20.2	0.01	7.36
Salida Bypass	F11	22-10-18	10:27	-105.66443	26.93762	20.2	0.74	7.08
Rebombero Valle del Verano								
Valle del Verano Salida	F12	26-09-18	11:35	-105.60536	26.89459	22.6	0.54	7.21

Tabla 7. Ubicación y parámetros de campo - Norias.

Norias								
Sitio	ID	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	T °C	mS/cm	pH
Clarissima	N01	17-10-18	11:51	-105.64735	26.93164	25.6	0.52	7.47
Los Arcos	N02	17-10-18	11:56	-105.65289	26.92809	25.8	0.08	3.78
Jazmín	N03	17-10-18	12:06	-105.65340	26.92416	25.9	0.51	7.48
Peña Azul	N04	17-10-18	12:10	-105.65357	26.42376	26.2	0.92	7.05
Maple	N05	17-10-18	12:20	-105.65411	26.92301	25.2	0.78	7.03
Brisa	N06	17-10-18	12:25	-105.65392	26.92288	25.5	0.89	7.12
El minero	N07	17-10-18	12:29	-105.65974	26.92011	27.2	0.76	7.05
Oasis	N08	17-10-18	12:35	-105.67129	26.92308	24.8	0.13	6.43
San Gabriel	N09	17-10-18	12:46	-105.67036	26.92433	24.8	0.77	6.90
Diamante	N10	17-10-18	12:49	-105.67024	26.92459	26.2	0.49	7.49
Los Ángeles	N11	17-10-18	13:00	-105.67371	26.92733	25.2	0.08	7.06
J.V.	N12	17-10-18	13:06	-105.67400	26.93268	25.6	0.08	3.76
Hnos. Ruiz	N13	17-10-18	13:15	-105.67636	26.92430	28.3	0.85	7.07

Tabla 8. Ubicación y parámetros de campo - Pozos Valle del Verano

Pozos Valle de Verano								
Sitio	ID	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	T °C	mS/cm	pH
Pozo 2	P02	26-09-18	9:49	-105.64864	26.80428	24.3	0.57	7.10
Pozo 3	P03	26-09-18	8:55	-105.64366	26.80828	23	0.62	7.19
Pozo 4	P04	26-09-18	8:46	-105.63842	26.81289	22.8	0.64	7.44
Pozo 5	P05	26-09-18	9:26	-105.64402	26.82065	22.3	0.71	7.15
Pozo 6	P06	26-09-18	10:19	-105.63049	26.63049	22.3	0.49	7.21
Pozo 7	P07	26-09-18	9:15	-105.65032	26.65032	22.9	0.68	7.57
Pozo 8	P08	26-09-18	10:43	-105.64652	26.79356	23.1	0.44	7.41
Pozo 9	P09	26-09-18	8:31	-105.63497	26.82106	22.7	0.58	7.18
Pozo 10	P10	26-09-18	8:15	-105.62402	26.82232	22.5	0.52	7.17
Pozo 11	P11	26-09-18	10:29	-105.64104	26.79067	22.7	0.44	7.21
Pozo 12	P12	26-09-18	10:33	-105.64039	26.78599	22.4	0.44	7.49
Pozo 13	P13	26-09-18	10:07	-105.63468	26.80198	22.1	0.46	7.00
Pozo 14	P14	26-09-18	10:53	-105.65597	26.79819	23	0.43	7.20
Pozo 15	P15	26-09-18	11:02	-105.66133	26.79496	23.9	0.45	7.10
Pozo 16	P16	26-09-18	8:04	-105.62576	26.80868	21.4	0.48	7.40

Tabla 9. Ubicación y parámetros de campo - Tanques de regularización.

Tanques de regularización								
Sitio	ID	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	T °C	mS/cm	pH
Gómez Morín	T01	11-10-18	10:03	-105.71558	26.93533	22	0.84	7.7
Guamúchil	T02	11-10-18	7:50	-105.68044	26.91605	20	0.53	7.77
Esmeralda	T03	11-10-18	8:00	-105.66517	26.91681	20.4	0.51	7.35
Almanseña	T04	11-10-18	9:53	-105.70186	26.94370	29.3	0.66	7.48
Miguel Hidalgo	T05	11-10-18	7:38	-105.68235	26.91513	19	0.61	7.5
AltaVista	T05	11-10-18	8:10	-105.66953	26.91901	18.7	0.51	7.31

2.2 LÍMITES PERMISIBLES

los valores de referencia para la clasificación del agua en base al contenido de sales y metales pesados, de acuerdo con lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2000), se presentan en las tablas 10 y 11, respectivamente

Tabla 1. Tipos de agua subterránea, según su salinidad.

Tipo de agua	Rango (mg/l)
Dulce	Menor 1 000
Ligeramente salobre	1 01 a 2 000
Salobre	2 001 a 10 000
Salinas	Mayor a 10 000

Tabla 11. Límites permisibles. Agua para uso y consumo humano.

Característica	Límite permisible (mg/l)
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.5
Cloruros (Cl ⁻)	250.0
Cobre	2.0
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.0
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.5
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	1.0
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.5
pH (potencial de hidrogeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plomo	0.01
Sodio	200.0
Sólidos disueltos totales	1000
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en la conductividad eléctrica tomada en campo, con la **Ecuación 1** se determinó la salinidad del agua subterránea de, Pozos y Minas, se descartó el agua de las Norias, ya que esta viene de un proceso de purificación, así como las muestras F03 agua de la Presa Parral (agua superficial), F05 correspondiente a la salida de la Planta Potabilizadora Parral y las muestras F10 y F11 que son las salidas de la Planta Potabilizadora Mina la Prieta.

Ecuación 1 Equivalencia de mS/cm a mg/L

$$1\text{mS/cm} = 640\text{ mg/l}$$

Tabla 12. Clasificación del agua según su salinidad - Fuentes de abastecimiento.

ID	Conductividad mS/cm	Concentración mg/l	Clasificación Tipo
F01	0.65	416	Dulce
F02	0.66	422.4	Dulce
F03	-	-	-
F04	0.54	345.6	Dulce
F05	-	-	-
F06	0.88	563.2	Dulce
F07	1.06	678.4	Dulce
F08	0.87	556.8	Dulce
F09	1.72	1100.8	Ligeramente salobre
F10	-	-	-
F11	-	-	-
F12	0.54	345.6	Dulce

Tabla 13. Clasificación del agua según su salinidad - Pozos de Valle de Verano

ID	Conductividad mS/cm	Concentración mg/l	Clasificación Tipo
P02	0.57	364.8	Dulce
P03	0.62	396.8	Dulce
P04	0.64	409.6	Dulce
P05	0.71	454.4	Dulce
P06	0.49	313.6	Dulce
P07	0.68	435.2	Dulce
P08	0.44	281.6	Dulce
P09	0.58	371.2	Dulce
P10	0.52	332.8	Dulce
P11	0.44	281.6	Dulce
P12	0.44	281.6	Dulce
P13	0.46	294.4	Dulce
P14	0.43	275.2	Dulce
P15	0.45	288	Dulce
P16	0.48	307.2	Dulce

3.1 RESULTADOS DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN (MG/L), POR ICP-OES

Tabla 14. Tanques de regularización

Muestra	As	Zn	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Ca
ID	(mg/l)							
T01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1132.500
T02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	579
T03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	627.750
T04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	929.750
T05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	425.750
T06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	903

Tabla 15. Fuentes de abastecimiento

Muestra	As	Zn	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Ca
ID	(mg/l)							
F01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21.225	662.750
F02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1070.750
F03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	642.750
F04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2131.250
F05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20.800	1635
F06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1620
F07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1523.750
F08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14.975	1151.250
F09	4.350	2.025	ND	ND	ND	ND	ND	2675.250
F10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	785.500
F12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	116.175

Tabla 16. Pozos de Valle del Verano

Muestra	As	Zn	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Ca
ID	(mg/l)							
P02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	109.950
P03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.100	125.60
P04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	151.425
P05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.725	191
P06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	204.950
P07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	140.875
P08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.100	165.275
P09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	107.875
P10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	139.450
P11	ND	0.125	ND	ND	ND	ND	ND	139.800
P12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	99.525
P13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.275	120.850
P14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	94.775
P15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	125.375
P16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	134.075

Tabla 17. Norias

Muestra	As	Zn	Cd	Cr	Pb	Cu	Fe	Ca
ID	(mg/l)							
N01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	23.700
N02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
N03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	120.775
N04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	156.350
N05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.525	142.600
N06	ND	ND	ND	0.100	ND	ND	1.450	123.675
N07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	153.625
N08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.700
N09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	172.425
N10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.150
N11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.800
N12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17.150
N13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	230.025

Gráfico 1 Concentraciones de As detectadas en las fuentes de abastecimiento

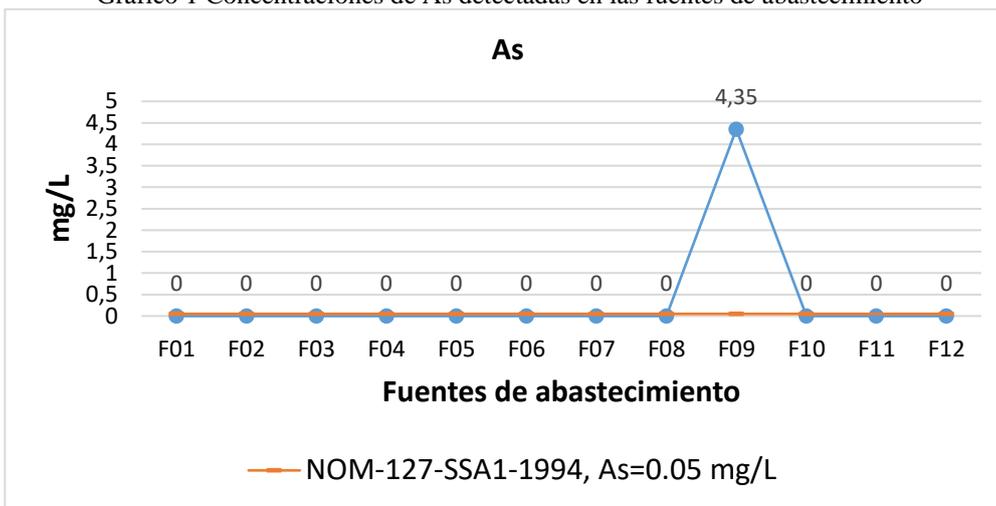


Gráfico 2 Concentraciones de Zn detectadas en las fuentes de abastecimiento

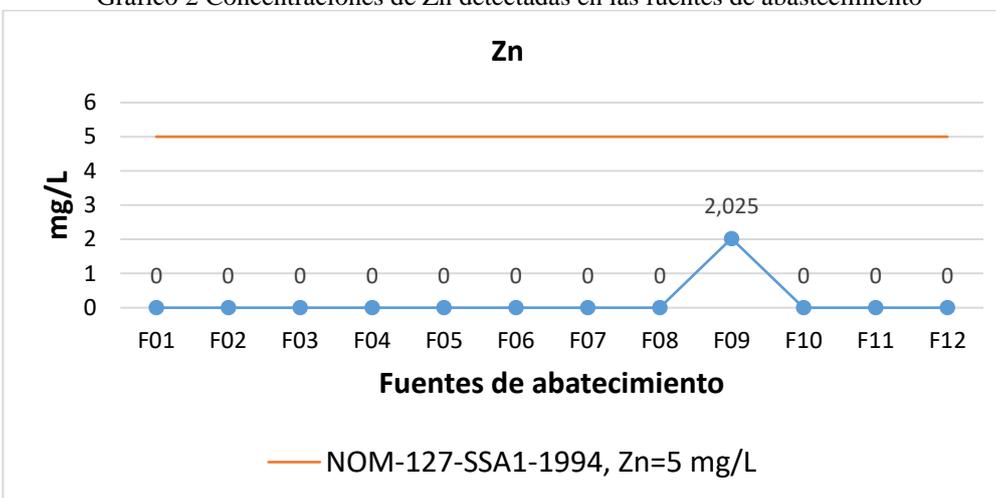


Gráfico 3 Concentraciones de Fe detectadas en las fuentes de abastecimiento

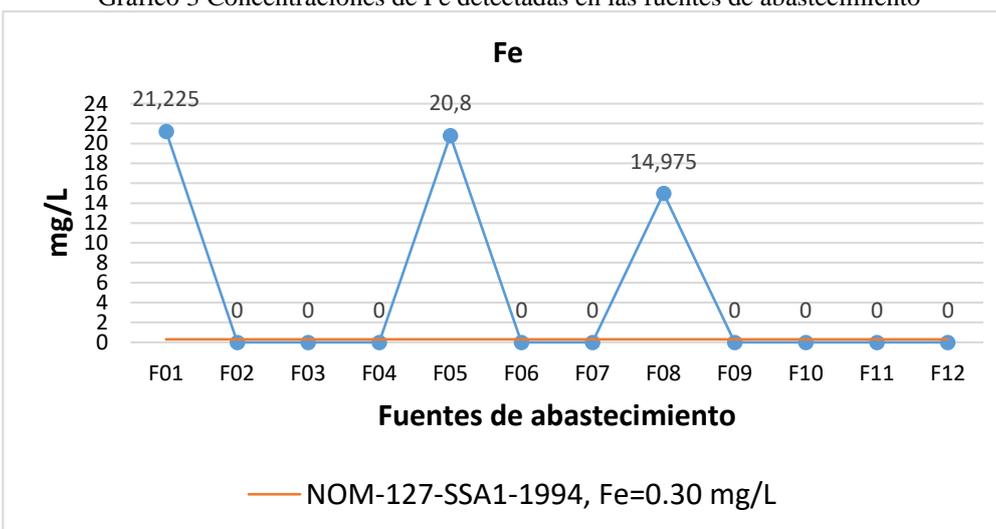


Gráfico 4 Concentraciones de Ca en las Fuentes de abastecimiento

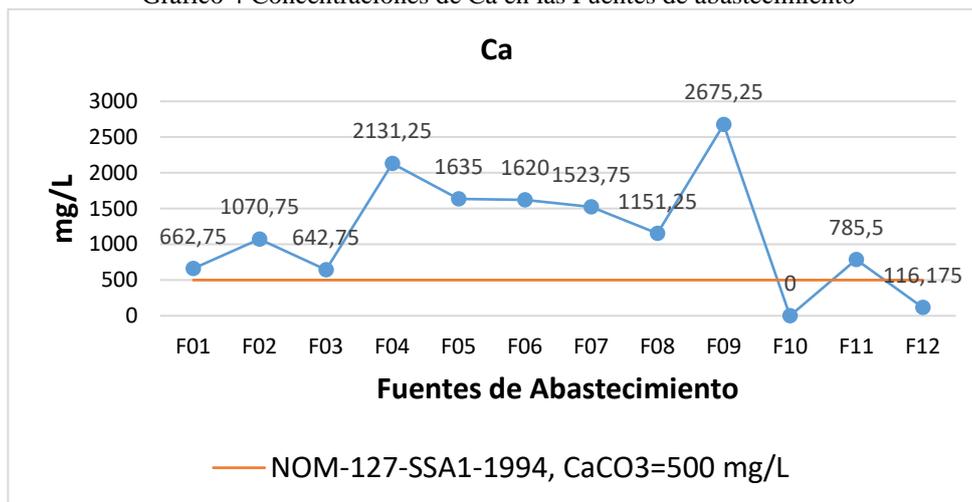


Gráfico 5 Concentraciones de Ca en Tanques de regularización

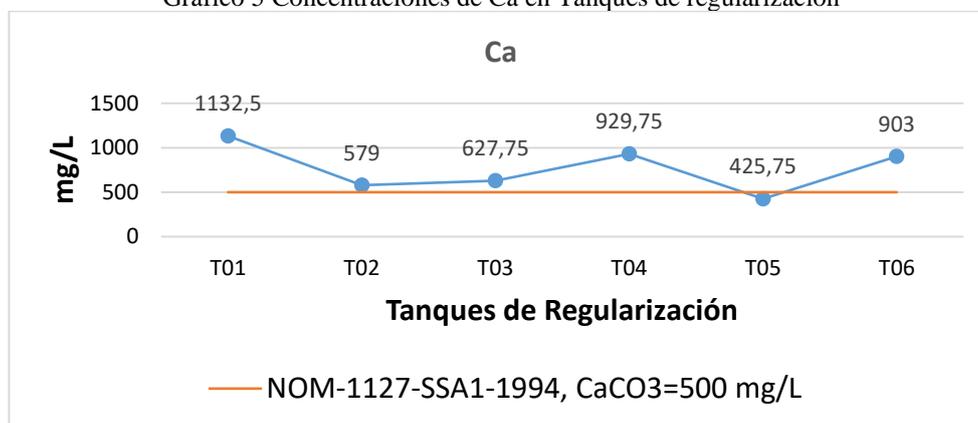


Gráfico 6 Concentraciones de Zn detectado en los pozos de Valle del verano

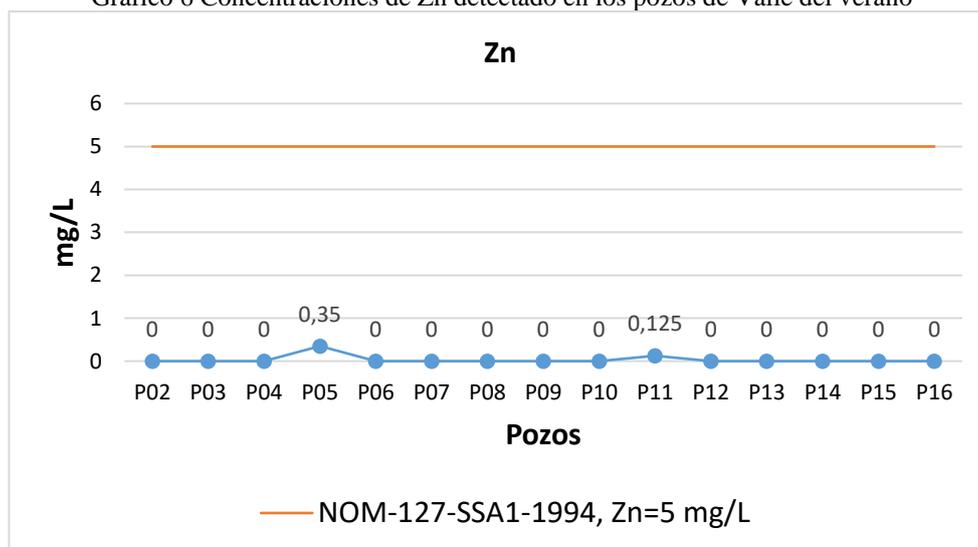


Gráfico 7 Concentraciones de Fe detectadas en pozos de Valle del verano

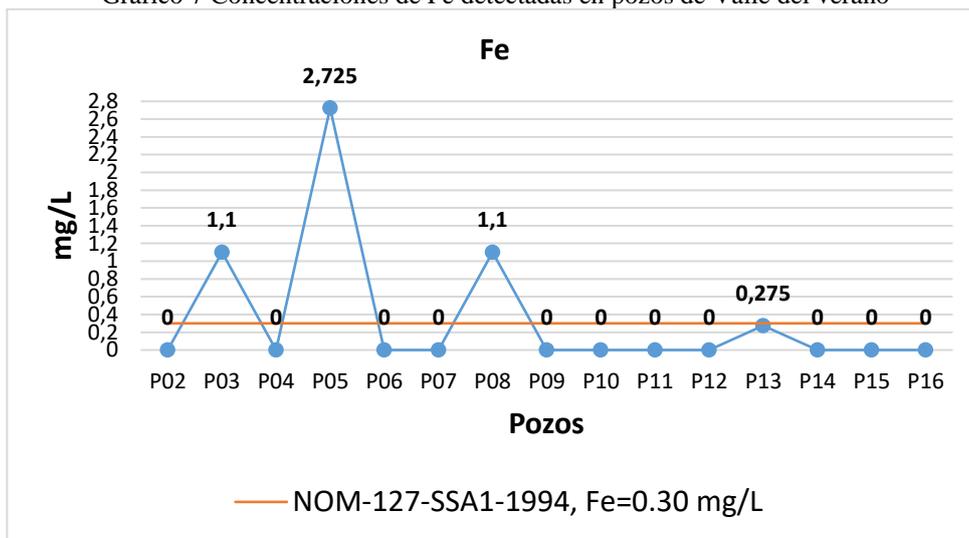


Gráfico 8 Concentraciones de Ca en los Pozos de Valle del Verano

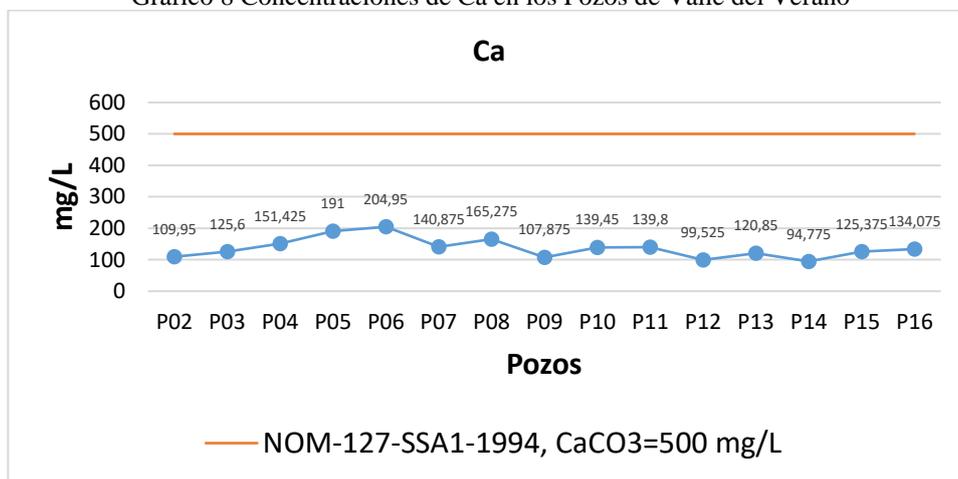


Gráfico 9 Concentraciones de Cr detectadas en Norias

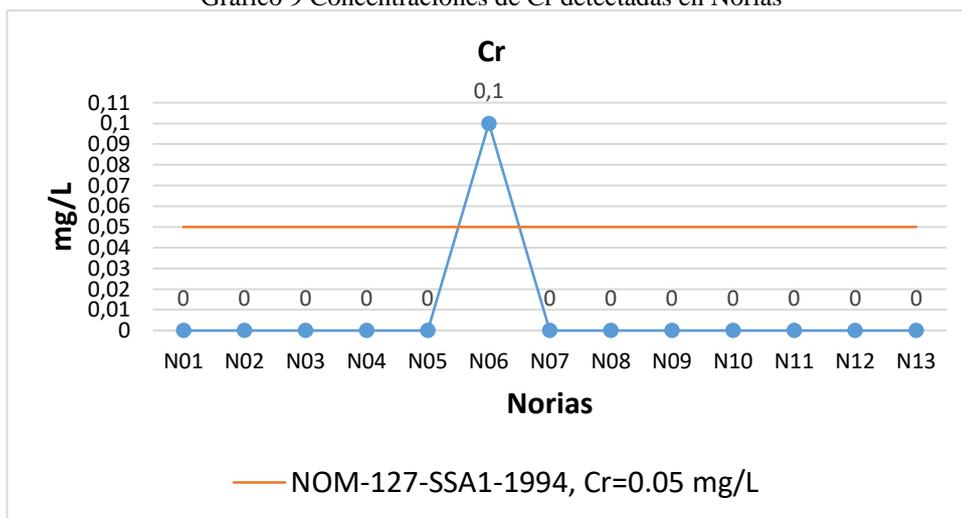


Gráfico 10 Concentraciones de Fe detectadas en Norias

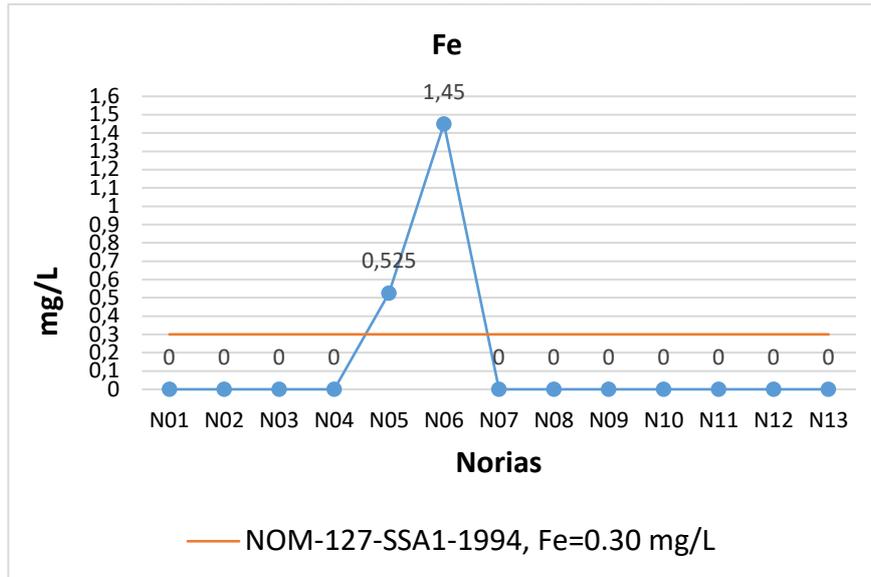
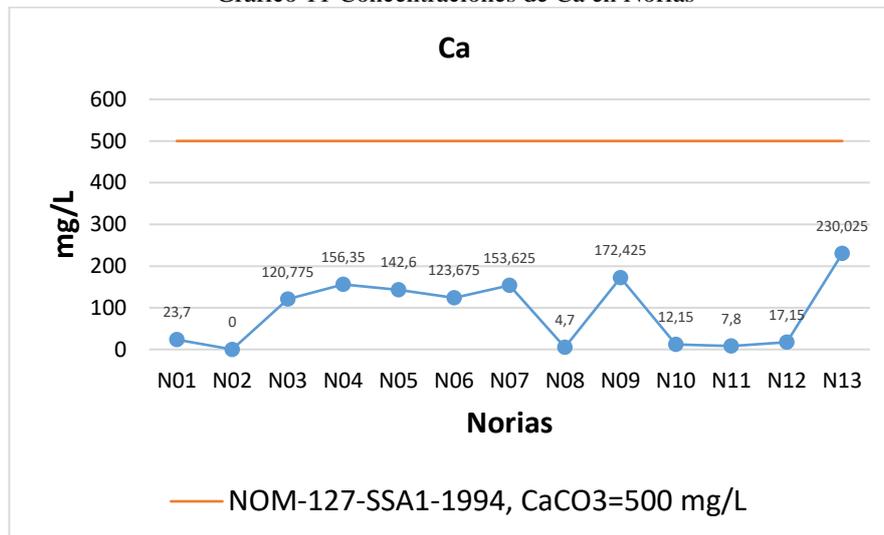


Gráfico 11 Concentraciones de Ca en Norias



Los resultados de los parámetros fisicoquímicos muestran que, en aspectos generales, el agua puede clasificarse como del tipo “Dulce”, con valores de pH dentro del rango normal; únicamente el punto identificado como “Entrada cruda” (F09) en la Planta Potabilizadora Mina La Prieta se clasifica como “ligera mente salobre” con una conductividad eléctrica de 1.72 mS/cm equivalente a una concentración de sólidos disueltos de 1100.8 mg/l. Se trata de agua que proviene del interior de la Mina La Prieta la cual se inundó a finales de los años 70; las características del sitio pueden ser la causa probable del contenido de sales disueltas previo al tratamiento en la planta potabilizadora ubicada en las mismas instalaciones de la mina que ahora pertenecen al municipio de Hidalgo del Parral.

Por otro lado, los resultados del análisis químico elemental, presentados en las Tablas 14 a 17, no muestran presencia de Cd, Cr, Cu o Pb

En los **Gráficos 1 y 2** se observa la presencia de As y Zn en la muestra identificada como F09 correspondiente al agua cruda que entra a proceso de osmosis inversa en la Planta Potabilizadora Mina La Prieta. Esto no representa un riesgo mientras ésta sea tratada ya que los resultados observados a la salida del proceso de tratamiento, representado por los puntos F10 y F11 que corresponden a osmosis y bypass respectivamente, cumplen con los requisitos establecidos por la normatividad nacional para su consumo (Secretaría de Salud, 2000).

La **Grafica 3** muestra concentraciones elevadas de Fe en las muestras F01 (entrada de Veta Colorada), F05 (Salida de la Planta Potabilizadora Parral) y F08 (Mezcla del agua proveniente de las minas Recompensa y Vesper), las cuales superan los límites máximos permisibles que establece la norma, con valores que oscilan de los 14.975 mg/L a los 21.225 mg/L. El agua proveniente de esas fuentes no es tratada y se envía directamente a la red de distribución de la zona a la que corresponde. También en la fuente de abastecimiento identificada como “Pozos de Valle del verano” se detectaron concentraciones elevadas en los puntos P03, P05, P08 y P13, con concentraciones que van de los 0.275 mg/l a los 2.725 mg/l; estos resultados se presentan en la **Gráfica 7**. Es importante destacar que no se detectó la presencia de hierro en el punto identificado como “Rebombeo El Verano”, punto en el que se mezcla el agua proveniente de todos los pozos y al no intervenir algún tratamiento previo, se sospecha que en ese punto ocurre un fenómeno de dilución que reduce de forma significativa las concentraciones de hierro. “El hierro y el manganeso son elementos comunes en la superficie de la tierra, a medida que el agua se filtra por el suelo las piedras pueden disolver estos minerales y acarrearlos hacia el agua subterránea” (McFarland & Dozier, 2004). También es posible que el hierro entre al agua potable si éste es disuelto en tuberías de metal (Villalva, 2018).

El hierro es un nutriente esencial en la dieta humana y no representa ningún riesgo para la salud mientras se encuentre en los niveles apropiados; una cantidad baja de hierro en el organismo del ser humano puede producir anemia, una deficiencia en los componentes que transportan el oxígeno en la sangre. Sin embargo, altas concentraciones de hierro en el agua pueden causar problemas con sedimentos en tuberías, sabor metálico, y problemas estéticos por manchas rojas en accesorios y ropa. Por esta razón, la Agencia de Protección Ambiental de EU (EPA) ha establecido el estándar por hierro a 0.3 mg/L. (Sigler & Bauder, 2012). La NOM-127-SSA1-1994 sugiere lo siguiente para su tratamiento: Fierro y/o manganeso. Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa. (Secretaría de Salud, 2000). Los tanques de regulación, 6 en total, ubicados en tres de las zonas de abastecimiento, Planta Potabilizadora Parral, Veta Colorada y Valle del Verano, no presentaron concentraciones de los metales pesados de interés para este estudio. Se detectó la presencia de Zn, en concentraciones bajas, en los puntos P05 y P11,

0.35mg/l y 0.125mg/l respectivamente, presentados en la **Grafica 6**, los cuales no exceden el límite máximo permitido, $Zn=5$ mg/L.

Las **Gráficas 9 y 10** muestran las concentraciones de Cr y Fe, respectivamente, para las muestras tomadas en l Norias, solo una de las muestras, N06, rebasa el límite máximo permisible de Cr y Fe; la muestra N05 también rebasa el límite para el Fe. Cerca de este mismo punto se localizan también las Norias Peña Azul (N04) y Jazmín (N03), y ambas cumplen con los parámetros establecidos por la normatividad. Se recomienda un estudio más minucioso en las Norias con concentraciones anómalas de hierro y cromo, ya que al pertenecer a la misma cuenca hidrológica existe la posibilidad de que tales concentraciones se deban a un agente externo a la fuente. La NOM-127-SSA1-1994, establece el límite máximo permisible de $CaCO_3$ en 500 mg/L, el análisis por ICP revela la presencia de Ca en concentraciones que superan hasta en cuatro veces ese límite, con excepción de las muestras F10 y F12, que corresponden al postproceso de osmosis en la Planta Potabilizadora Mina la Prieta y al el Rebombeco El Verano, tal como se muestra en el **Gráfico 4**. El mismo comportamiento se presenta en los tanques de regulación, **Gráfico 5**, con concentraciones que van de los 425.75 mg/l a los 1132.5 mg/l; los resultados son consistentes con las concentraciones encontradas en las fuentes de abastecimiento las cuales suministran el agua a los tanques de regulación. Por otro lado, las concentraciones de Ca en el agua de los pozos de Valle del Verano, presentados en el **Gráfico 8**, y las Norias, **Gráfico 11**, muestran concentraciones inferiores al límite permisible.

Las fuentes de abastecimiento, en su mayoría, se proveen de agua de minas. El promedio de Ca para agua dulce subterránea es de 10-250 mg/L y en aguas de terrenos y acuíferos puede llegar hasta 600 mg/L (López-Geta, 2009). Se sospecha que el agua proveniente de las minas puede estar ligada a agua de proceso del beneficio de minerales, esto explicaría el alto contenido de Ca en las muestras.

El consumo excesivo de calcio provoca su acumulación en la sangre causando hipercalcemia, que se define como la presencia de concentraciones de calcio sérico superiores a 10,5-11,0 mg/dl y está, en general, determinada por el incremento de la afluencia del calcio procedente del tracto gastrointestinal o del tejido óseo al espacio extracelular que llegan a superar la capacidad de excreción renal, o por situaciones en las que existe un incremento de la reabsorción renal tubular de calcio. (Gussinyé, 2010).

3.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS AÑO 2010 VS 2018: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se comparó los resultados de las concentraciones de As y Zn del año 2010 y 2018, para las “Fuentes de Abastecimiento” y los “Pozos de Valle del Verano” mediante la aplicación del método estadístico “t pareada”. En las tablas, los puntos de interés se relacionan uno a uno para su comparación;

aunque están identificados de forma diferente, corresponden al mismo punto de análisis en ambos períodos.

Tabla 18. Comparación de datos entre los años 2010 y 2018; Fuentes de Abastecimiento

2010						2018					
ID	As	Zn	Cd	Cr	Pb	ID	As	Zn	Cd	Cr	Pb
mg/l						mg/l					
15A	0.016	0	0	0	0	T06	0	0	0	0	0
23A	0.004	8.280	0.054	0	0	F05	0	0	0	0	0
18A	0.025	0	0.020	0	0	F01	0	0	0	0	0
20A	0.095	0	0	0	0	F06	0	0	0	0	0
21A	0.028	0.832	0.260	0	0.832	F07	0	0	0	0	0

IC y Prueba T pareada: As 2010; As 2018

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
As 2010	5	0,0336	0,0356	0,0159
As 2018	5	0,0000	0,0000	0,0000

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
0,0336	0,0356	0,0159	(-0,0106; 0,0778)

diferencia_μ: media de (As 2010 - As 2018)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: diferencia_{\mu} = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: diferencia_{\mu} \neq 0$
Valor T	Valor p
2,11	0,102

Figura 6. Prueba t pareada 2010 Vs. 2018; Fuentes de abastecimiento

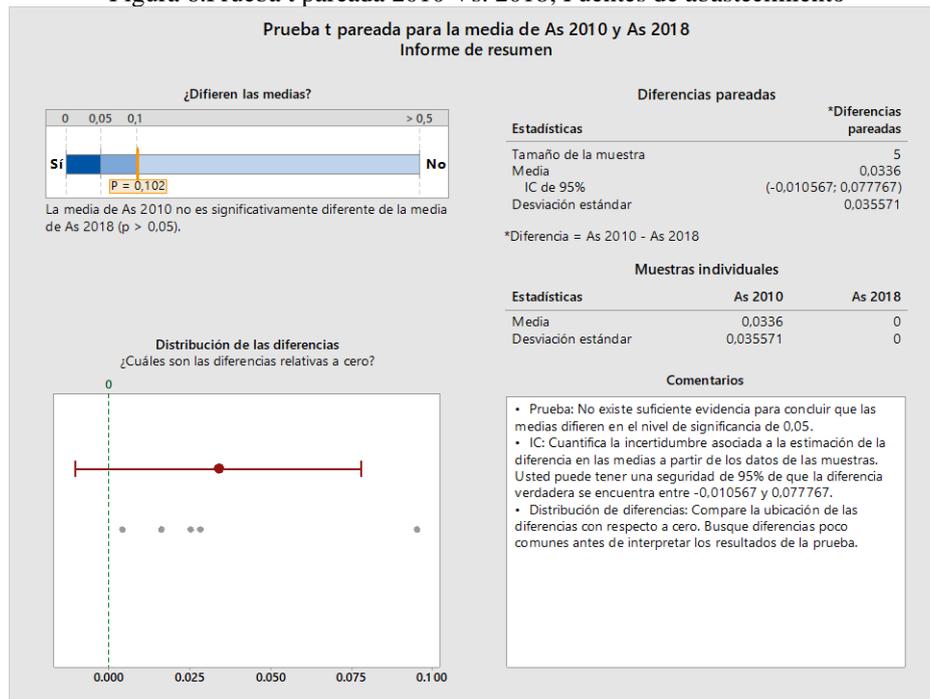


Tabla 19. Comparación de datos entre los años 2010 y 2018; Pozos de Valle del Verano

ID	2010					ID	2018				
	As	Zn	Cd	Cr	Pb		As	Zn	Cd	Cr	Pb
2A	0.007	0.300	0	0	0	P10	0	0	0	0	0
3A	0.011	4.666	0	0	0	P13	0	0	0	0	0
4A	0.021	0	0	0	0	P11	0	0.125	0	0	0
5A	0.020	0	0	0	0	P12	0	0	0	0	0
6A	0.022	0	0	0	0	P08	0	0	0	0	0
7A	0.021	0	0	0	0	P14	0	0	0	0	0
8A	0.036	0	0	0	0	P15	0	0	0	0	0
9A	0.011	0	0	0	0	P06	0	0	0	0	0
10A	0.006	0	0	0	0	P05	0	0.350	0	0	0
11A	0.007	0.220	0	0	0	P07	0	0	0	0	0
12A	0.010	0	0	0	0	P02	0	0	0	0	0
13A	0.008	0	0	0	0	P03	0	0	0	0	0
14A	0.009	0	0	0	0	P04	0	0	0	0	0

IC y Prueba T pareada: As 2010; As 2018

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
As 2010	13	0,01454	0,00883	0,00245
As 2018	13	0,00000	0,00000	0,00000

Estimación de la diferencia pareada

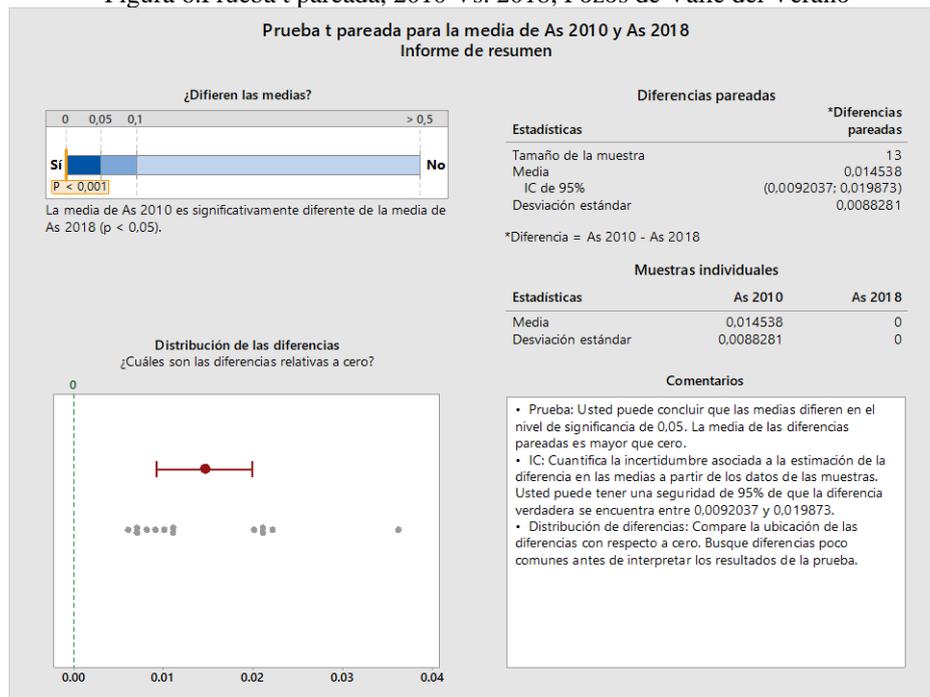
Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
0,01454	0,00883	0,00245	(0,00920; 0,01987)

diferencia_μ: media de (As 2010 - As 2018)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
5,94	0,000

Figura 6. Prueba t pareada, 2010 Vs. 2018; Pozos de Valle del Verano

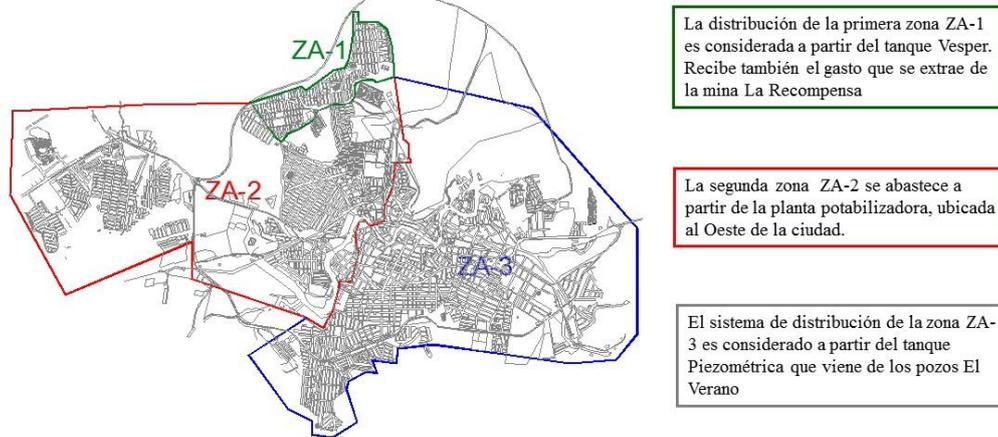


Parece evidente y la prueba de hipótesis lo confirma, existe una diferencia significativa entre las concentraciones de arsénico en el año 2010 y las de 2018, para ambos grupos de datos, Fuentes de abastecimiento y Pozos de Valle del Verano (Figuras 5 y 6).

La Ciudad de Hidalgo del Parral contaba, en el año 2010, con un seccionamiento basado en 3 fuentes de abastecimiento. Como se muestra en la Figura 5 , el área que abarcaba la fuente de

abastecimiento identificada como “Pozos de Valle del Verano” era mayor a la que se estableció para el año 2018 (Figura 1).

Figura 7. Identificación de Zonas de Abastecimiento en el año 2010 (JMAS, 2007)



La redistribución de las zonas corresponde a la entrada en operaciones de la “Planta Potabilizadora Mina La Prieta”, la “Planta Potabilizadora Veta Colorada” y a la ampliación de la cobertura de la “Planta Potabilizadora Parral”. Estas nuevas fuentes aliviaron la carga del abastecimiento por los Pozos de Valle del Verano, reflejándose en un aumento en la calidad del agua con respecto al año 2010, principalmente para el arsénico. Las concentraciones anómalas de arsénico son características del agua subterránea y de pozos sobreexplotados, principalmente en zonas áridas y semiáridas, como es el caso del Estado de Chihuahua, así como de regiones con características geológicas (Hermosillo, 2019; GreenFacts, 2005; Espino, 2009).

Se recuperaron los datos del año 2010 para realizar una estimación de la dosis potencial de ingesta de arsénico, en el punto identificado como “Salida de la Potabilizadora” que proveía de agua a la Zona Oeste (Zona-2), prácticamente la mitad de Ciudad; el agua que entraba al proceso de tratamiento provenía de varias minas en los alrededores de la ciudad, y de la “Presa Parral”. El resultado se muestra en la Tabla19

Tabla.19 Dosis estimada de arsénico en Niños y Adultos

SALIDA DE LA POTABILIZADORA	Elemento	Concentración Promedio	*DE (ADULTOS)	*DE (NIÑOS)
		mg/l	mg kg ⁻¹ dia ⁻¹	mg kg ⁻¹ dia ⁻¹
	Arsénico	0.002	5.33333E-05	1.6E-4

*DE: Dosis estimada

Los cálculos fueron realizados con base en el trabajo de Balderrama (2018), fundamentado en por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la Agencia de Desarrollo Internacional de

Canada (US EPA. 1989; US EPA. 2009), se consideró un peso promedio de 25 kg para la estimación de la dosis en niños, y 75 kg en adultos.

Es preciso señalar que aunque se detectó la presencia de arsénico en los “Pozos de Valle del Verano” en 2010, las concentraciones no fueron superiores a los límites establecidos por la normatividad nacional. Sin embargo los datos reflejaban el deterioro de la fuente por sobreexplotación. Los resultados del estudio de la calidad del agua del año 2018 muestran el acierto de las acciones realizadas por la JMAS

4 CONCLUSIÓN

Se considera que el agua abastecida a la Ciudad de Hidalgo del Parral, por las diferentes fuentes disponibles, cumple con los parámetros de calidad establecidos por la normatividad vigente para metales pesados. Los ajustes realizados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la entidad para el año 2018, fueron acertados, reflejándose en una disminución de las concentraciones de arsénico y otros metales como el plomo, en puntos de monitoreo donde se detectó la presencia de tales contaminantes en el año 2010. Se recomienda continuar con actividades de vigilancia de la calidad del agua en la Ciudad en pro de una mejor calidad de vida para la población y su entorno.

BIBLIOGRAFÍA

- Balderrama Carmona , A. P., Bisher Álvarez, Y., Silva Beltrán , N. P., Ayala Parra, P. A., & Felipe Ortega Fonseca, X. (6 de Diciembre de 2018). Estimación del riesgo a la salud por consumo de *Oreochromis niloticus*, agua de grifo, agua superficial y sedimentos de presa, contaminados con metales pesados en comunidades cercanas a una mina de cobre y a la presa Adolfo Ruiz Cortines, Sonora, México. *REVISTA BIOCIENCIAS*, 6(nesp), 1-12. doi:<https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e522>
- Dekov, V. M., Araújo, F., Van Grieken, R., & Subravamian, V. (8 de Abril de 1998). Chemical composition of sediments and suspended matter from the Cauvery and Brahmaputra rivers (India). *Science of The Total Environment*, 212(2-3), 89-105. doi:[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00132-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00132-0)
- Espino Valdés , M. S., Barrera Prieto, Y., & Herrera Peraza, E. (2009). Presencia de arsénico en la sección norte delacuífero Meoqui-Delicias del estado deChihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 3(1), 8-18. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/284394054>
- Förstner, U., Ahlf, W., Calmano, W., & Kersten, M. (1990). Sediment Criteria Development. *Sediments and environmental geochemistry*, 311-338. doi:10.1007/978-3-642-75097-7_18
- GreenFacts. (15 de Julio de 2005). *Facts on Health and the Environment: Arsénico*. Recuperado el 2018 de Noviembre de 15, de <https://www.greenfacts.org/es/arsenico/index.htm>
- Gussinyé, Yeste, Clemente, Albisu, & Carrascosa. (2010). Actitud ante una hipercalcemia. *Reunion con el experto*, 81.
- Hermosillo Muñoz , M. C., Valles Aragón , M. C., Ballinas Casarrubias, M., Rocha Gutiérrez, B. A., & Prieto Amparan , J. A. (2019). TRAZABILIDAD DE ARSÉNICO EN AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA EN EL CENTRO SUR DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 81-91. doi:10.20937/RICA.2019.35.esp03.10
- INEGI . (2009). *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática* . Obtenido de Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Hidalgo del Parral, Chihuahua. Clave geoestadística 08032.: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/08/08032.pdf
- JMAS. (2007). *Proyecto de eficiencia electromecánica, física y de la operación hidráulica de la red de agua potable de Parral, Chihuahua*. Hidalgo del Parral, Chihuahua: 1 Library. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <https://1library.co/document/z3m9egdy-proyecto-eficiencia-electromec%C3%A1nica-f%C3%ADsica-operaci%C3%B3n-hidr%C3%A1ulica-potable-chihuahua.html>
- López-Geta, J. A., Azcoiti, J. M., González, G. R., & Gil, F. V. (2009). *Las aguas subterráneas Un recurso natural del subsuelo*. Madrid: Ibersaf Industrial.
- McFarland, M. L., & Dozier, M. C. (2004). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Texas: Extensión Cooperativa de Texas.
- Moalla, S., Awadallah, M., Rashed , M., & Soltan , M. (1998). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiologia*, 364(1), 31-40. doi:[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00018-2)

Purves, D. (1985). *Fundamental aspects of pollution control and environmental science 7. Trace-element contamination of the environment*. Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo: ELSEVIER.

Secretaria de Salud. (2000). Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*.

Sigler, W. A., & Bauder, J. (2012). *Hierro o Fierro Total*. Montana: Northern Plains & Mountains.

US EPA. (United States Environmental Protection Agency). (n.s.p. de n.s.p. de 2009). *EPA United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>: www.epa.gov

US EPA. (United States Environmental Protection Agency). (n.s.p. de n.s.p. de 1989). *EPA United States Environmental Agency*. Obtenido de www.epa.gov: <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>

Villalva, D. P. (2018). "Calidad del Agua Potable en Hidalgo de Parral, Chihuahua: Determinación de Metales Pesados en Agua de tomas domiciliarias y su relación con las Fuentes de Abastecimiento". Hidalgo del Parral.

Vink, S., & Measures, C. I. (2001). The role of dust deposition in determining surface water. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(13), 2787-2809. doi:[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00018-2)