

Revista Electrónica Nova Scientia

Niveles de contaminación del agua potable en la cabecera municipal de Ascención, Chihuahua, México

Pollution level of drinking water in the municipality of Ascención, Chihuahua, Mexico

Héctor Osbaldo Rubio Arias¹, Lourdes Raquel Balderrama Terrazas¹, Eduviges Burrola Barraza¹, Guadalupe Nelson Aguilar Palma¹ y Rubén Alfonso Saucedo Terán²

¹Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua,
Chihuahua, México

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

México

Héctor Rubio Arias. E-mail: rubioa1105@hotmail.com

Resumen

Introducción: El agua es una sustancia indispensable para la vida por lo que se considera como el recurso natural más apreciado en el planeta. En el norte de México existe el “Programa ambiental México-Estados Unidos: Frontera 2020”; en el cual participan instituciones mexicanas como la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento (JMAS) mientras que por parte de los Estados Unidos de Norteamérica participan el Taskforce U.S., la Agencia Ambiental (USEPA) y la Universidad Estatal de Nuevo Mexico, entre otras (PAMEUF, 2013). En dicho programa ambiental el municipio de Ascensión está contemplado dentro de los planes de acción, por ser una región fronteriza, en especial en lo relacionado a la meta 2, la cual especifica el suministro de agua limpia y segura. Es importante mencionar que, a la fecha, no se conoce información que permita evaluar el nivel de calidad que aportan los cinco pozos que surten de agua a la cabecera municipal de Ascensión, Chihuahua. El objetivo fue evaluar la calidad del agua potable que utiliza la comunidad de Ascensión, Chihuahua, mediante análisis físico-químico-metales y microbiológicos.

Método: Las muestras de agua se obtuvieron de cinco pozos y de cinco hogares seleccionados al azar en cuatro temporadas. Se realizaron cuatro muestreos; julio de 2011, septiembre de 2011, diciembre de 2011 y mayo de 2012. Por lo tanto, se analizaron un total de 40 muestras a las que se les cuantificó el potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), turbidez (Tur), sólidos totales (SDT), coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y los siguientes metales; Al, As, B, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Ag, Pb, K, Na, Se, Si y Zn. Se aplicó un ANOVA para buscar diferencias por estación (Factor A), por fuente (Factor B) y su interacción (AxB). Para la variable de coliformes se aplicó la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis. En todos los casos se consideró un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha=0.05$).

Resultados: Alrededor del 80% de las muestras de agua dieron positivo para CT y CF y se encontraron diferencias por estación ($P<0.05$). El pH y T fueron diferentes por estación ($P<0.05$), por fuente ($P<0.05$) y en la interacción ($P<0.05$). El pH supera los valores establecidos en la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 (NOM, 1994) e internacional (EPA, 2013). La variable OD fue diferente por estación ($P<0.05$) y no se encontraron diferencias para SDT y CE. La variable Tur y los metales Be, Cd y Co no fueron detectados y no se encontraron diferencias para

ningún factor o su interacción para los elementos As, Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb, Sb, Se y Zn; sin embargo, algunas concentraciones de As, Cr, Fe, Ni, Se, y Zn superan lo establecido en alguna norma nacional (NOM, 1996) o internacional (EPA, 2013; OMS, 2014). Los metales Ca, Mg, Mn y Sr fueron estadísticamente diferentes para un factor o su interacción.

Discusión o Conclusión: Se concluye que el agua potable de la comunidad de Ascensión está contaminada desde el punto de vista microbiológico (NOM, 1987), toda vez que se encontró la presencia de coliformes totales y fecales en todos los muestreos realizados. Además, la concentración de algunos metales como As, Cr, Fe, Ni, Se y Zn fueron detectados en diversos muestreos por encima de lo permitido en normas nacionales e internacionales.

Palabras Clave: Coliformes, Físico-Químicos, Metales, Agua de Pozo, México

Recepción: 28-03-2014

Aceptación: 05-03-2015

Abstract

Introduction: Water is esential for life and, for this reason, it is considered as the most important natural resource to earth. The objective of this research was to evaluate the quality of drinking water used for the Ascension's inhabitants in Chihuahua, Mexico, in terms of physical-chemical-metals and microbiological analysis. .

Method: Water samples were collected in 10 sites of the city of Ascension in four season; spring, summer, autumn and winter. In each season five samples from each well that supply water to the community and five samples in houses were obtained. The first sampling was conducted in July 2011 (Summer), the second in September 2011 (Autumn), the third in December 2011 (winter) and the fourth in May 2012 (Spring); therefore, a total of 40 samples were collected. In these aliquots were estimated the following variables; potential hydrogen (pH), electrical conductivity (EC), temperature (T), dissolved oxygen (DO), turbidity (Tur), total dissolved solids (TDS), total coliforms (TC) and fecal coliforms (FC). In addition, the following metals were quantified; Al,

As, B, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Ag, Pb, K, Na, Se, Si and Zn. An Analysis of Variance (ANOVA) looking for season differences (Factor A), water source differences (Factor B) and their interaction (AxB) was performed. For the variables total coliforms and fecal coliforms the non-parametric test of Kruskal-Wallis was applied. In all cases it was considered a level of significance of 0.05 ($\alpha=0.05$).

Results: The results showed that about 80% of the water samples were positive for TC and FC and the Kruskal-Wallis test detected season's differences ($P<0.05$). The variables pH and T were different due to season ($P<0.05$), for water source ($P<0.05$) and for the interaction ($P<0.05$). The DO was different for seasons ($P<0.05$) and no differences were noted for TDS and EC while Tur was undetected. The metals Be, Cd and Co were not detected and no statistical differences were noted for the elements As, Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb, Sb, Se and Zn; Nevertheless, some concentrations of As, Cr, Fe, Ni, Se and Zn are higher than the permitted values established in national and international norms. The metals Ca, Mg, Mn and Sr were statistically different due to one factor or the interaction.

Discussion or Conclusion: It is concluded that drinking water that is being consumed for the community of Ascension is contaminated with coliforms and some metals that potentially represent a health risk to the community.

Keywords: Coliforms, Physical-chemical, metals, Groundwater, México

Introducción

El agua, además de ser una sustancia indispensable para la vida, es ampliamente utilizada en actividades como la agricultura, industria y uso doméstico, entre otras. Por esta razón, se le considera como el recurso natural más apreciado en el planeta (Gleick, 2002) por lo que es fundamental, conservar y mantener sus fuentes naturales, de manera que se garantice su sostenibilidad y aprovechamiento para las generaciones actuales y futuras. Resulta lógico, entonces, que la preocupación por la cantidad y calidad de los recursos hídricos se haya incrementado alrededor del mundo; de hecho, la asamblea general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), aprobó el 28 de julio de 2010, una resolución donde reconoce al agua potable y al saneamiento como derecho humano esencial (ONU, 2014). México no ha escapado a esta problemática del recurso agua, agravándose el problema en los ecosistemas áridos o semiáridos (Rubio-Arias *et al.*, 2013), los cuales cubren alrededor de 776, 000 km² que representan el 40% de la superficie total del país (CONAFOR, 2011). En estos ambientes localizados al norte de México, la precipitación es escasa (<400 mm anuales) y mal distribuida (junio-septiembre) y, además, se presentan continuamente sequías atípicas que agravan el problema de suministro y calidad del recurso (Seager, 2009).

De todos los ambientes acuáticos, la calidad y la biología del agua subterránea representan uno de los aspectos menos estudiados (Sophocleous, 2002). Por ejemplo, se conoce poco de los factores de contaminación, si se compara con la información generada para aguas superficiales. Esto se debe, en parte, a la creencia de que este tipo de agua es esencialmente limpia por la acción filtrante del medio poroso (Environment Canada, 2013); no obstante, Vidal y Melgar (2000), en un estudio realizado en España, concluyeron que el agua subterránea estaba influenciada por las actividades agrícolas superficiales. La importancia del agua subterránea en México, se sustenta cuando se analiza que, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA), en México se tienen identificados 459 acuíferos; de los cuales, más del 20% se encuentran en sobreexplotación (CNA, 2010). Su extracción promedio anual se calcula en alrededor de 24 km³ a través de 140, 000 aprovechamientos subterráneos. El mayor número se encuentra en el noroeste del país; pero los aprovechamientos que reciben una recarga significativa se localizan en el sureste (CNA, 2003). De hecho, en algunas regiones de México existen problemas de disponibilidad debido a que las recargas son menores a las extracciones (CNA, 2001). La baja disponibilidad y los niveles de contaminación que presentan las cuencas

hidrológicas y los acuíferos son alarmantes (CONABIO, 2009). Esto ha propiciado que se limiten los usos del agua y se impacte la salud pública y el entorno ambiental de muchas comunidades.

Los 10,961 habitantes (INEGI, 2010) de la cabecera del municipio de Ascención en el estado de Chihuahua dependen 100% del suministro de agua potable aportada por cinco pozos profundos. Los pozos son administrados por la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento (JMAS) y se bombea un estimado de 91 L seg^{-1} . De acuerdo con datos de la JMAS se dota a una casa de cuatro habitaciones la cantidad de 240 L d^{-1} . En la actualidad los tanques de almacenamiento se encuentran clausurados y en ocasiones se realiza clorado del agua y drenado de tubería. A la fecha no se conoce información de la calidad de agua que se esta suministrando a la población. Por tanto, el objetivo fue evaluar la variación estacional de la calidad del agua que aportan los cinco pozos que abastecen a los hogares de la ciudad de Ascención, Chihuahua, México. La hipótesis planteada fue que el agua subterránea, que se utiliza como agua potable, está siendo contaminada por factores físico-químicos-metales y microbiológicos. Se espera que esta información sea de utilidad, para que se establezcan acciones preventivas o correctivas en beneficio de los habitantes de esta comunidad.

Método

Descripción y localización del lugar

El municipio de Ascención se encuentra al norte del estado de Chihuahua, México y es frontera con el estado de Nuevo México de los Estados Unidos de Norteamérica (Figura 1). El Municipio, con $11,000.10 \text{ km}^2$, constituye el 4.45% de la superficie del Estado y es considerado como el cuarto más grande de Chihuahua y el 17º más grande del país. Su territorio se encuentra entre la mesa central del norte y el Desierto Chihuahuense y en su jurisdicción se encuentra una porción del área natural protegida conocida como Médanos de Samalayuca. Con respecto a su hidrografía, la mitad de la sección oeste pertenece a la cuenca del Río Casas Grandes y la mitad este a la cuenca del Río Santa María; ambas cuencas son parte de la Región Hidrológica Cuencas Cerradas del Norte.

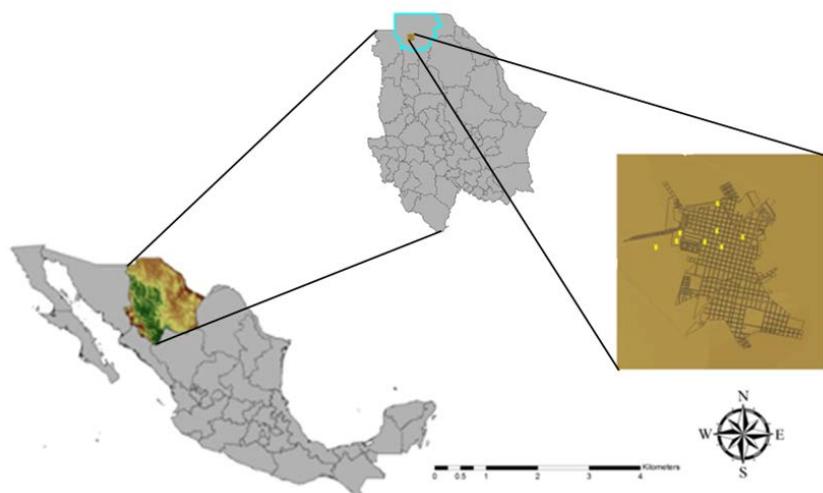


Figura 1. Localización de la ciudad de Ascensión y de los puntos muestrados en Chihuahua, México.

El clima es muy seco templado, con temperaturas que oscilan de los 44° C en verano a -24° C en invierno. Las lluvias son escasas con una precipitación promedio anual de 200 a 300 mm que es considerada como la segunda más baja del Estado. La mayor parte de la precipitación se presenta en la temporada de verano (julio-septiembre) aunque es posible la presencia de eventos aleatorios de nieve en la temporada invernal (diciembre a marzo). En la actualidad el Municipio tiene una población de alrededor de 23, 974 habitantes (INEGI, 2010) y su cabecera municipal es la ciudad de Ascensión, la cual se localiza en la coordenadas de 30° 43'-31° 47' Latitud Norte y 106° 41'-108° 13' Longitud Oeste y se encuentra a una altitud de 1,298 msnm.

Obtención, preparación y análisis de muestras

Se realizaron cuatro muestreos puntuales de agua de acuerdo con los procedimientos de muestreo normalizados (SSA, 1993) en las siguientes fechas; en julio de 2011 (verano), en septiembre de 2011 (Otoño), en diciembre de 2012 (invierno) y en mayo de 2012 (Primavera). En cada fecha de muestreo, se adquirieron cinco muestras de los cinco pozos que surten a la ciudad de Ascensión y, además, se obtuvieron cinco muestras en cinco casas-habitación de la ciudad seleccionadas en forma aleatoria. Por tanto, en cada muestreo, el cual representó una estación del año, se obtuvieron 10 muestras de agua, por lo que el estudio contempló un total de 40 muestras. En la Tabla 1 se especifica la información respecto de las coordenadas de localización de los pozos y casas-habitación bajo estudio. Todos los pozos se encuentran a una profundidad en un rango de

110 m a 150 m y cuentan con una bomba sumergible con capacidad de 6" con excepción de uno (Alcaldes) que tiene bomba de 4".

Tabla 1. Coordenadas (UTM) de los pozos y casas-habitación en la ciudad de Ascensión, Chihuahua, México

Muestra	X	Y	Altura
Pozo 1	3439573	215581	1,303
Pozo 2	3443203	213921	1,304
Pozo 3	3444583	786965	1,301
Pozo 4	3443969	785306	1,302
Pozo 5	3443656	784173	1,301
Casa 1	3443957	785385	1,298
Casa 2	3444017	214508	1,305
Casa 3	3443941	786060	1,301
Casa 4	3443924	214086	1,298
Casa 5	3444170	213944	1,304

Las muestras de agua fueron colectadas en envases esterilizados de 1 L de capacidad, los cuales fueron previamente lavados, identificados y después colocados en una hielera para conservar su temperatura (4° C) de acuerdo a la normatividad vigente (SSA, 1993). Al finalizar cada muestreo, las muestras fueron transportadas de inmediato al laboratorio de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua para su análisis. Se cuantificaron variables físicas (temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales) químicas (potencial hidrógeno, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto), microbiológicas (coliformes totales y coliformes fecales) y los siguientes metales Al, As, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Si y Zn. Las variables de temperatura (T), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), turbidez y sólidos disueltos totales (SDT) se midieron *in situ*. La T se determinó de acuerdo a la NMX-AA-007-SCFI-2013 (NOM, 2013), el pH se estableció conforme a lo señalado en la NMX-AA-008-SCFI-2000 (NOM, 2011) y la CE de acuerdo con la NOM-AA-093-SCFI-2000 (NOM, 2000) utilizando un potenciómetro Hanna instruments modelo waterproof pH/EC/Temp. Los valores de T se presentan en grados centígrados (° C), los de pH en unidades pH y los de CE en milisiemens por metro (mSm⁻¹). El OD se obtuvo mediante un multiparámetro portable (Hatch) modelo sesión 156 OD/CE/Temp conforme lo señalado en la norma NMX-AA-012-SCFI-2001 (NOM, 2001), la variable turbidez se estimó con un

turbidímetro HI-93703C de acuerdo con la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 (NOM, 2001b) y los SDT se detectaron con el uso de un aparato OAKTON Instruments, modelo waterproof/TDS/TestLow siguiendo la norma NMX-AA-034-SCFI-2001 (NOM, 2001c).

La determinación de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se realizó antes de 24 h de su colecta de acuerdo con la norma NMX-AA-042-SCFI-1987 (NOM, 1987; McFeters *et al.*, 1986). Para la cuantificación de los metales (NMX-AA-051-SCFI-2001) se utilizó un Espectrofotómetro de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) 8300 Marca Perkin-Elemer. Previo a su cuantificación se realizó una digestión de las muestras con HNO_3 (NOM, 2001d).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada variable, con excepción de la variable de coliformes, considerando un diseño de tratamientos factorial 4x2. El factor A fue la estación de muestreo con cuatro niveles; primavera, verano, otoño e invierno. El factor B fue la fuente de agua con dos niveles; el pozo y las casas. De esta manera, el ANOVA detectaba el efecto de la estación, el efecto de la fuente y su potencial interacción. Se estableció que al detectar una interacción entre factores se mostraría la gráfica de interacción y, en caso de no encontrarla, se mostraría la gráfica de efectos mayores (Rubio y Jiménez, 2012). Para la variable de Coliformes totales y fecales, se realizó un análisis no-paramétrico con la prueba Kruskal –Wallis (Steel y Torrie, 1980). En todos los casos se utilizó un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha=0.05$).

Resultados

Variables microbiológicas y físico-químicas. En la Tabla 2 se muestran los resultados respecto a la presencia de coliformes totales y fecales en los cuatro muestreos. Se encontró diferencia estadística por efecto de estación para ambos tipos de microorganismos ($P<0.05$). En la Tabla 2 se hace evidente que en verano se magnificó su presencia, alcanzando niveles de 28 UFC para totales y 10.5 UFC para fecales. En el muestreo de invierno disminuyó la presencia si se le compara con lo obtenido en la temporada de verano; sin embargo, aún en invierno se detectó presencia de coliformes. La prueba de Kruskal-Wallis no detectó diferencias entre fuentes

($P>0.05$); es decir, entre pozos y casas, aunque fue ligeramente mayor en pozos que en las casas tanto para totales como fecales.

Tabla 2. Presencia de coliformes totales y fecales en muestras de agua potable en la comunidad de Ascención, Chihuahua

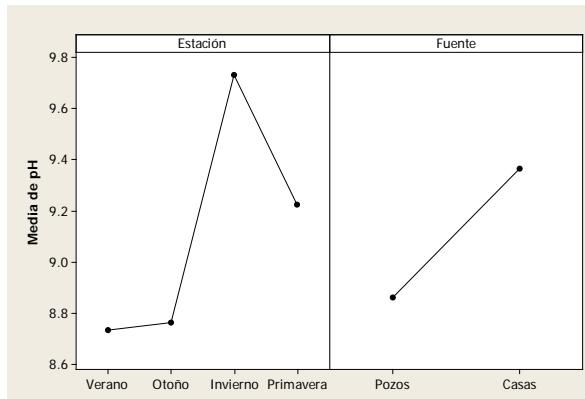
Fuente	Verano 2011 UFC ml ⁻¹		Otoño 2011 UFC ml ⁻¹		Invierno 2011 UFC ml ⁻¹		Primavera 2012 UFC ml ⁻¹	
	Totales	Fecales	Totales	Fecales	Totales	Fecales	Totales	Fecales
Pozo 1	21	10.5	4.5	4	1	0.5	1.5	1
Pozo 2	21	2.5	10	5	1	0	6	6
Pozo 3	5	3.5	8.5	4.5	1.5	0	5	4.5
Pozo 4	19	3.5	13	10.5	0.5	0.5	4.5	1.5
Pozo 5	9.5	9.5	11	8	2	1	1.5	5
C1 (BG)	28	3	25.5	11.5	2	0	2.5	2.5
C2 (CR)	5	2	14	11	1	1	2.5	1.5
C3 (CK)	11	8	13	11	2.5	2.5	5	2
C4(CS)	3.5	0	9.5	5	0.5	0.5	8	5
C5(CL)	6	0.5	10	8.5	0	0.5	2.5	4.5

El pH fue diferente estadísticamente entre estaciones ($P<0.05$), entre fuentes ($P<0.05$) pero no para la interacción ($P>0.05$). En la estación de invierno se observaron los mayores valores de pH con 9.73 y en verano los menores con 8.73 (Figura 2a). Además, en la Figura 2a, se puede observar en la parte derecha, que el valor de pH en las casas fue superior (9.36) a lo encontrado en los pozos (8.86). La variable de T fue afectada por la estación ($P<0.05$), por la fuente ($P<0.05$) y en la interacción ($P<0.05$). La Figura 2b muestra el efecto de interacción y, se observa, que en invierno los valores de T fueron menores con 17.2° C en los pozos y 14.9° C en las casas. Los mayores valores de T fueron anotados en otoño y en verano. La concentración de OD fue diferente únicamente para el factor de estación ($P<0.05$). En la Figura 2c se muestra que en la estación de otoño la concentración de OD fue mayor con 15.07 ppm y en la parte derecha de la figura se observan niveles iguales para esta variable en pozos (5.96 ppm) y casas (6.04 ppm). Para las variables de CE y SDT no se detectaron diferencias estadísticas por ningún factor ni en la interacción. El rango entre estaciones para CE fue de 0.253 mSm⁻¹ en verano hasta 0.300 mSm⁻¹ en invierno mientras que fue de 0.27 mSm⁻¹ en casas y 0.28 mSm⁻¹ en pozos. Los valores para SDT variaron en un rango de 192 mg L⁻¹ en invierno y 222 mg L⁻¹ en primavera mientras que en pozos fue de 201.5 mg L⁻¹ y de 210.5 mg L⁻¹ en las casas.

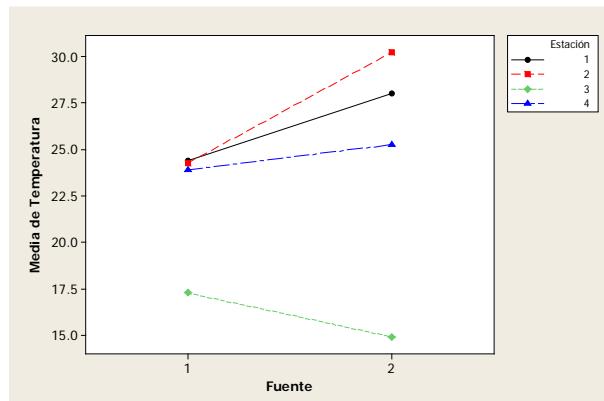
Concentración de metales.

Los elementos Be, Cd y Co no se detectaron, o bien, su nivel fue mínimo en algunas repeticiones, por esa razón no se presentan los resultados. Además, no se encontraron diferencias por estación ($P>0.05$), ni por fuente ($P>0.05$) ni en la interacción ($P>0.05$) para los elementos As, Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb, Sb, Se y Zn. El nivel de los metales evaluados se presenta en la Tabla 3.

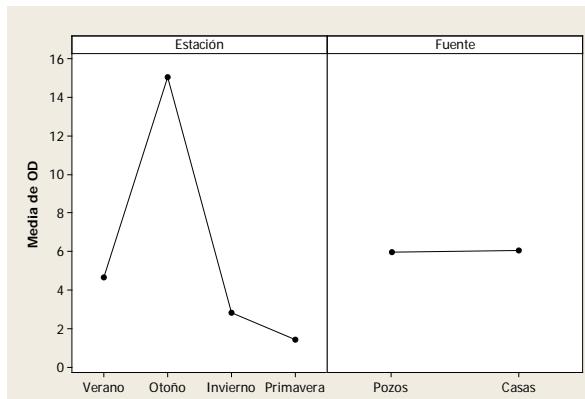
a)



b)



c)



d)

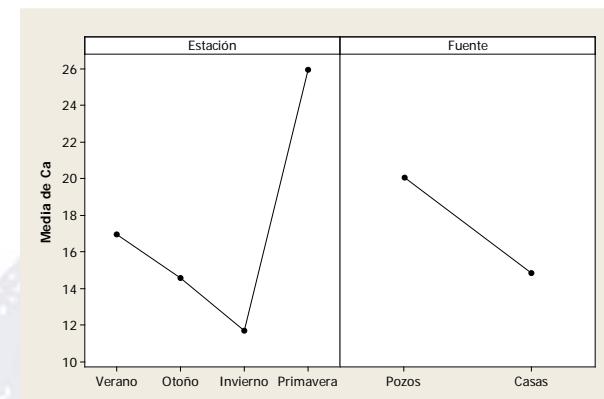


Figura 2. a) Efectos mayores de la variable pH. b) Efectos de interacción estación-fuente para la variable temperatura. c) Efectos mayores para la variable OD. d) Efectos mayores para la variable Ca.

En la Tabla 3 se muestra la concentración de metales en las estaciones evaluadas así como en pozos y casas. La concentración de As mostró una variación desde 0.015 mg L^{-1} observada en otoño hasta 0.024 mg L^{-1} en invierno mientras que en pozos fue de 0.020 mg L^{-1} y 0.018 mg L^{-1} en casas. La concentración de Cr fue similar entre las estaciones con 0.06 mg L^{-1} y ligeramente

mayor en los pozos con 0.06 mg L^{-1} en comparación con la de las casas 0.05 mg L^{-1} . La menor concentración de Cu se notó en otoño con 0.026 mg L^{-1} y la mayor fue en invierno con 0.051 mg L^{-1} . En los pozos fue de 0.04 mg L^{-1} mientras que en las casas fue de 0.03 mg L^{-1} . Los niveles de Fe fueron de 0.357 mg L^{-1} en verano, 0.769 mg L^{-1} en otoño, 0.486 mg L^{-1} en invierno y 0.537 mg L^{-1} en primavera. La concentración en pozos fue de 0.686 mg L^{-1} y 0.422 mg L^{-1} en casas. Para el caso del elemento Li, la concentración estuvo en un rango de 0.029 mg L^{-1} en primavera hasta 0.055 mg L^{-1} en verano y fue mayor en las casas con 0.043 mg L^{-1} que en los pozos con 0.036 mg L^{-1} .

Tabla 3. Concentración de metales en agua por estación climatológica en Ascención, Chihuahua

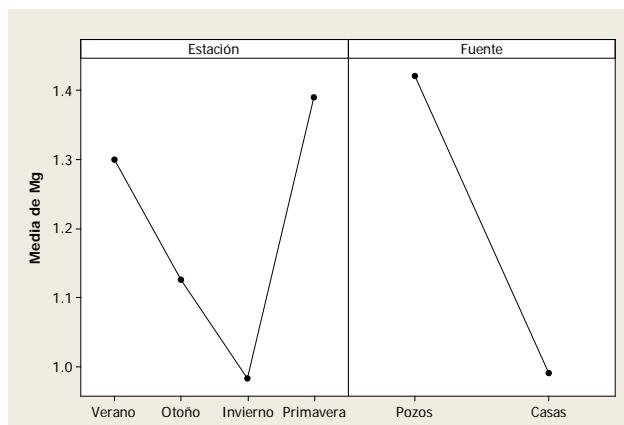
Metal	Verano mg L^{-1}		Otoño mg L^{-1}		Invierno mg L^{-1}		Primavera mg L^{-1}	
	Pozos	Casas	Pozos	Casas	Pozos	Casas	Pozos	Casas
As	0.016	0.026	0.015	0.015	0.031	0.017	0.015	0.016
Cr	0.057	0.067	0.074	0.052	0.073	0.052	0.059	0.056
Cu	0.028	0.050	0.017	0.035	0.070	0.033	0.042	0.021
Fe	0.269	0.409	1.285	0.253	0.460	0.512	0.562	0.513
Li	0.030	0.070	0.029	0.037	0.058	0.035	0.026	0.031
Ni	0.032	0.042	0.040	0.028	0.049	0.031	0.037	0.036
Pb	0.004	0.017	0.004	0.007	0.026	0.007	0.007	0.006
Sb	0.001	0.008	0.002	0.002	0.021	0.005	0.003	0.006
Se	0.005	0.016	0.010	0.009	0.026	0.014	0.016	0.016
Zn	0.023	0.041	0.403	0.099	0.100	0.634	0.179	0.190
Ca	20.87	14.65	16.46	12.71	14.80	8.64	28.52	23.41
Mg	1.698	1.061	1.297	0.955	1.195	0.772	1.602	1.176
Mn	0.007	0.022	0.011	0.007	0.030	0.010	0.081	0.075
Sr	0.235	0.176	0.189	0.153	0.213	0.110	0.206	0.150

El Ni varió de 0.034 mg L^{-1} en otoño a 0.040 mg L^{-1} en invierno y su concentración fue ligeramente superior en los pozos (0.04 mg L^{-1}) en comparación con la de las casas (0.034 mg L^{-1}). La concentración de Pb estuvo en un rango de 0.005 mg L^{-1} en otoño a 0.016 mg L^{-1} en invierno, mientras que en los pozos fue de 0.011 mg L^{-1} y en las casas de 0.009 mg L^{-1} . El metal Sb varió de 0.002 mg L^{-1} en otoño hasta 0.013 mg L^{-1} en invierno mientras que en los pozos fue de 0.007 mg L^{-1} y en las casas de 0.005 mg L^{-1} . La concentración de Se estuvo en un rango de 0.010 mg L^{-1} en otoño hasta 0.020 mg L^{-1} en invierno y en los pozos fue 0.015 mg L^{-1} y en las casas de 0.013 mg L^{-1} . El elemento Zn se encontró en una concentración de 0.034 mg L^{-1} en

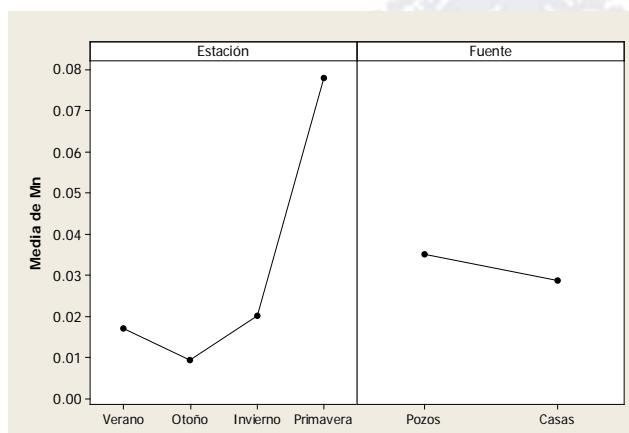
verano, de 0.251 mg L^{-1} en otoño, de 0.367 mg L^{-1} en invierno y de 0.184 mg L^{-1} en primavera. La concentración en pozos fue de 0.193 mg L^{-1} en comparación con la de las casas que fue de 0.241 mg L^{-1} .

Los niveles de Ca fueron diferentes debido a la estación ($P<0.05$) y a la fuente ($P<0.05$) pero no significativos para la interacción ($P>0.05$). La Figura 2d muestra que la mayor concentración se observó en primavera con 25.96 mg L^{-1} y la menor en invierno con 11.71 mg L^{-1} . En la parte derecha de la figura se observa que los valores de Ca fueron mayores en los pozos con 20.08 mg L^{-1} que en las casas 14.85 mg L^{-1} . La concentración de Mg no fue significativa para la estación ($P>0.05$) ni para la interacción ($P>0.05$) pero si para la fuente ($P<0.05$).

a)



b)



c)

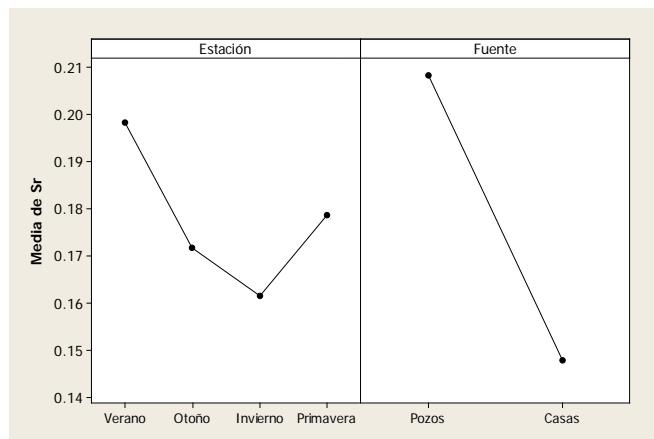


Figura 3. a) Efectos mayores para la variable Mg. b) Efectos mayores para la variable Mn. c) Efectos mayores para la variable Sr.

La Figura 3a en su lado derecho muestra este efecto, donde se observa que en los pozos fue de 1.420 mg L^{-1} mientras que en las casas fue de 0.991 mg L^{-1} . Es evidente que la concentración de Mg en las estaciones fue muy similar variando de 0.983 mg L^{-1} en invierno a 1.386 mg L^{-1} en primavera. La concentración de Mn fue estadísticamente diferente debido al factor estación ($P<0.05$), pero no diferente para la fuente ($P>0.05$) ni para la interacción ($P>0.05$). La Figura 3b muestra que en el otoño se presentó la más baja concentración con 0.009 mg L^{-1} mientras que la más alta fue en primavera con 0.078 mg L^{-1} . En pozos fue de 0.035 mg L^{-1} y en casas fue de 0.0288 mg L^{-1} . El elemento Sr no fue diferente por el factor de estación ($P>0.05$) ni para la interacción ($P>0.05$) pero si para la fuente ($P<0.05$). La concentración varió de 0.161 mg L^{-1} en el invierno hasta 0.198 mg L^{-1} en el verano, mientras que los pozos fue de 0.208 mg L^{-1} y 0.147 mg L^{-1} en las casas (Figura 3c).

Discusión o Conclusiones

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al agua potable como aquella agua utilizada para fines domésticos, higiene personal, para beber y cocinar sin representar un riesgo para la salud humana (OMS, 2014). Por tanto, el término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad especificadas por cada país, o bien, a estándares sugeridos por instituciones internacionales. En este estudio se detectaron algunos parámetros que sobrepasan los valores establecidos en dichas normas; por lo cual, su consumo representa un potencial riesgo para la salud de los habitantes de la ciudad de Ascensión, Chihuahua. Por ejemplo, la presencia de coliformes rebasó los límites máximos permisibles especificados en la normatividad Mexicana

NOM-127-SSA1-1994 (NOM, 1994) así como diversas normas internacionales (EPA, 2012) donde se establece claramente la ausencia de estos microorganismos en el agua para uso y consumo humano, ya que su presencia puede estar asociada a microorganismos patógenos (TCRP, 2003). Los organismos coliformes se encuentran en las evacuaciones fecales del hombre y de los animales de sangre caliente, así como en la materia orgánica en descomposición. En específico, la presencia de coliformes fecales indica una contaminación reciente, y en consecuencia, potencialmente peligrosa para la salud humana (Jiménez, 2009). En este estudio, la mayor presencia de coliformes se observó en el verano que corresponde a la temporada de lluvias, que en sinergia con altas temperaturas, hizo que se incrementara el nivel de contaminación (Sardiñas *et al.*, 2006). La menor presencia de coliformes en la temporada invernal se explica por las bajas temperaturas típicas de esa época del año lo que reduce la incubación de estos microorganismos haciendo que disminuyeran considerablemente. La sola presencia de Coliformes en agua de consumo representa un grave riesgo para los consumidores. Por ejemplo, Tanya (2004) encontró presencia de coliformes en el agua potable de la escuela Charlotte Amalie School en las islas vírgenes de los Estados Unidos de Norteamérica, lo cual prendió focos rojos por el potencial impacto negativo entre los estudiantes que acuden a dicha institución. El gobierno de Canadá (Environment Canada, 2013) reportó que en mayo de 2000, un pozo en Walkerton, Ontario fue contaminado con *Escherichia coli* causando enfermedades gastrointestinales en miles de sus residentes, e incluso, trajo como consecuencia la muerte de siete personas.

Los valores de pH se encontraron por arriba de los niveles aceptables para agua potable de acuerdo a la normatividad de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA, 2013) de la Unión Europea (NOM-98/83/UE) y México (NMX-AA-008-SCFI-2000) quienes establecen un rango para esta variable de 6.5 a 8.5. En la Figura 2 es notorio que en las cuatro estaciones se superaron estos valores, así como también en la concentración en pozos y en las casas, donde se encontraron valores por arriba de 9. La diferencia entre la concentración de pH en pozos y casas posiblemente se explique por la presencia de cañerías obstruidas o tuberías rotas que afectan el agua en su trayecto de la fuente a la casa-habitación. Está bien documentado que el consumo de agua fuera del rango de pH de 6.5 a 8.5 6 puede ocasionar irritación en los ojos y trastornos en la piel (WHO, 1996). Los valores de pH son afectados por la geología de la zona. Por ejemplo, Said *et al.* (2011) en un estudio desarrollado en tres regiones de Pakistán encontraron valores de pH en

un rango de 6.53 en agua superficial en la región de Besham y 8.50 en el agua subterránea en la región de Jijal-Dubair.

La variable de T se comporta de acuerdo al clima de la zona, donde en este tipo de ecosistemas, en el invierno se presentan temperaturas bajas, e incluso, debajo de 0° C, las cuales se incrementan en la primavera y verano hasta alcanzar valores superiores a 32° C. En ambos casos, la T del agua no implica un problema de salud; no obstante, puede afectar otras variables. La variable de OD disminuyó en la temporada fría debido a las bajas temperaturas y a una mayor viscosidad del agua que se manifiesta por la alta concentración de sales disueltas. No obstante, en la temporada calurosa, los niveles de OD se incrementaron y esto puede ser por efecto de una contaminación, toda vez que esta variable de OD sirve como indicador de contaminación por desechos orgánicos (Marín, 1995).

Aún cuando el análisis estadístico no detectó diferencias para ningún factor o para la interacción en los elementos As, Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb, Sb, Se y Zn es conveniente indicar algunas observaciones importantes, ya que algunos de ellos potencialmente pueden ser un riesgo para la salud de los habitantes de Ascensión, Chihuahua. La concentración de As en otoño superó lo establecido por la OMS y la Unión Europea las cuales especifican valores máximos de 0.01 mg L⁻¹. Este metaloide puede provenir de la disolución de los minerales que conforman las paredes de las rocas del acuífero (Welch *et al.*, 2000); es decir, de un fenómeno natural, o bien, debido a efectos antropogénicos. La ingesta crónica de este elemento puede ocasionar problemas gastrointestinales, daños al sistema nervioso, cáncer en pulmones, vejiga, riñón y piel, así como caída de pelo entre otros padecimientos (WHO, 2001; Mandal y Suzuki, 2002; Ng *et al.*, 2003) haciéndose más evidente cuando se presenta una hiperqueratosis (ATSDR, 2007a). La concentración de Cr fue similar entre las estaciones y, el valor encontrado, supera el máximo de 0.05 mg L⁻¹ que ha sido establecido en la norma Mexicana, en la OMS y en la Unión Europea las cuales especifican una concentración máxima de 0.06 mg L⁻¹; por tanto, este elemento representa un potencial problema para los habitantes de la comunidad de Ascensión, toda vez que en los pozos se supera ligeramente este valor y en las casas se obtuvo un valor igual al especificado en dichas normas. Este elemento se absorbe en humanos a través del tracto gastrointestinal pudiendo provocar ulceras estomacales, convulsiones, alergias en la piel, males renales, hepáticos y pulmonares (Silva *et al.*, 2002).

La concentración de Cu en nuestro estudio no superó la normatividad especificada, por esa razón no se documenta la información obtenida sobre este metal. Para el caso específico del Fe, en todas las estaciones se superaron los valores especificados en la norma mexicana (0.3 mg L^{-1}), en la OMS (3 mg L^{-1}) y en la Unión Europea (0.2 mg L^{-1}). El valor que se detectó en las casas para Fe fue de 0.422 mg L^{-1} ; por lo que su consumo representa un riesgo potencial de salud pública. El consumo crónico de agua con altas cantidades de Fe puede conducir a una hemocromatosis, la cual es una enfermedad que daña los órganos del cuerpo y en casos extremos, puede provocar daños al corazón y al hígado (Health Canada, 2009).

Para el Li no se especifican valores en la normatividad mexicana o normatividad internacional, por lo cual no se discute este elemento. Con respecto a los niveles de Ni detectados en este estudio, estos superaron lo especificado en la OMS (0.02 mg L^{-1}), en la USEPA (0.02 mg L^{-1}) y en la Unión Europea (0.02 mg L^{-1}). El efecto adverso más común de las personas que son afectadas por este elemento es una reacción alérgica (ATSDR, 2003). Para el caso específico del Pb, la OMS y la Unión Europea establecen un máximo permitido de 0.01 mg L^{-1} y los resultados de este estudio igualaron esta concentración en la temporada invernal, por lo que este metal potencialmente puede provocar reacciones negativas en el consumidor de esta agua. El mayor efecto de una intoxicación con este metal se presenta en el sistema nervioso, aunque también puede afectar a los dedos y tobillos, e incluso, incrementar la presión en personas adultas (ATSDR, 2007b).

Para el metal Sb no se encuentra normatividad en México o a nivel internacional por lo que no se discuten los resultados de este estudio. Los niveles de Se reportados en este estudio están por arriba de los niveles máximos permitidos en la OMS (0.01 mg L^{-1}), en los Estados Unidos de Norteamérica (0.005 mg L^{-1}) y en la Unión Europea (0.01 mg L^{-1}), por lo que potencialmente, este elemento, puede provocar reacciones negativas en el consumidor. Este elemento ha sido considerado esencial para el éxito reproductivo de los animales e indispensable para la maduración y motilidad de los espermatozoides y su nivel toxicológico ha despertado el interés de la comunidad científica. En casos extremos se puede adquirir selenosis que es un trastorno que afecta a brazos y piernas (ATSDR, 2007c).

Para el caso del Zn, la concentración detectada en otoño de 0.367 mg L^{-1} estuvo ligeramente arriba de lo especificado en la normatividad de los Estados Unidos de Norteamérica (0.3 mg L^{-1}), pero fue inferior a lo establecido en la normatividad mexicana (5 mg L^{-1}) y en la

OMS (5 mg L^{-1}). En Ghana, la contaminación de los cuerpos de agua con este metal se ha explicado por la presencia de yacimientos de oro, y se han encontrado niveles de Zn en un rango de 0.005 mg L^{-1} hasta niveles tan altos como 3.345 mg L^{-1} (Armah *et al.*, 2010). La ingesta de grandes cantidades de este metal puede provocar anemia y lesiones en el páncreas (ATSDR, 2005)

El Ca es considerado como un elemento esencial y, de hecho, es el más abundante en el cuerpo humano. No obstante, un exceso puede provocar el desarrollo de piedras en riñones además de que es uno de los iones que contribuye a incrementar el parámetro de dureza. Los valores de Ca encontrados en este estudio presentó variaciones estacionales, observándose los mayores valores en la época de secas, lo cual coincide con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2005) en agua de un manantial al noroeste de España. Los valores presentados en este estudio, referente al Ca, no representan un riesgo para la salud de los habitantes. Con respecto a la concentración de Mg, los valores encontrados no representan un riesgo de salud pública ya que la concentración está por debajo de lo establecido en la normatividad de los Estados Unidos de Norteamérica que establece un valor de 60 mg L^{-1} para agua potable. Este elemento se encuentra en diversos tejidos y órganos del cuerpo humano, donde interviene en el sistema digestivo, nervioso, inmunológico, cardiovascular e incluso en mecanismos de óxido-reducción (Suárez *et al.*, 2009). La concentración de Mn en el agua potable de la comunidad de Ascensión, se encontró por debajo de lo establecido en la normatividad mexicana (0.15 mg L^{-1}), en la OMS (0.4 mg L^{-1}) y en los Estados Unidos de Norteamérica (0.14 mg L^{-1}), pero durante la primavera (0.078 mg L^{-1}) los valores encontrados superan lo especificado en la normatividad de la Unión Europea (0.05 mg L^{-1}). El ingerir agua con niveles mayores a lo establecido por la OMS, especialmente en niños, puede ocasionar un alto riesgo de mortalidad (Beckman *et al.*, 1985). Para el elemento Sr no existe normatividad por lo cual no se discute en el presente trabajo.

Derivado de los resultados obtenidos en el presente estudio se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones. Se concluye que el agua que se está suministrando como agua potable a la comunidad de Ascensión está contaminada desde el punto de vista microbiológico (NOM, 1987), toda vez que se encontró la presencia de coliformes totales y fecales en la mayoría de los muestreos realizados. Además, la concentración de algunos metales como As, Cr, Fe, Ni, Se y Zn fueron detectados en diversos muestreos por encima de lo permitido en normas nacionales e internacionales. Se recomienda realizar un monitoreo constante

de la calidad del agua incluyendo otros factores y variables de interés como sería contaminación orgánica e hidrocarburos aromáticos, entre otros.

Agradecimientos

Los autores deseamos manifestar nuestro agradecimiento a la comunidad de Ascensión por el apoyo brindado para la obtención de las muestras de agua.

Referencias

Armah, F.A., Obiri, S., Yawson, D.O., Pappoe, N.M., Bismark, A. 2010. Mining and heavy metal pollution: Assessment of aquatic environments in Tarkwa (Ghana) using multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Statistics* 1: 1-12.

ATSDR, 2003. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2003. Toxic Substances portal: Nickel. Public health Statement for nickel.

<http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=243&tid=44>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

ATSDR, 2005. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2003. Toxic Substances portal: Zinc. Public health Statement for zinc.

<http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=300&tid=54>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

ATSDR, 2007a. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxic Substances portal: Arsenic. Public health Statement for arsenic.

<http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=18&tid=3>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

ATSDR, 2007b. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxic Substances portal: Lead. Public health Statement for lead.

<http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=92&tid=22>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

ATSDR, 2007c. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxic Substances portal: Selenium. Public health Statement for Selenium.

<http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=151&tid=28>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

Beckman, R.A., Milvran, A.S., Loeb, L.A. 1985. On the fidelity of DNA replication, manganese mutagenesis *in vitro*. *Biochemistry* 24:5810-5817.

CNA, 2001. Comisión Nacional del Agua. Comisión de cuenca del Río Conchos. Diagnóstico versión 1.0. Gerencia Estatal Chihuahua. Chihuahua, México.

CNA, 2003. Comisión Nacional del Agua. Programa hidráulico Regional 2002-2006. Región VI Río Bravo. 1^a. Ed. México.

CNA, 2010. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. México.

CONABIO, 2009. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Lista de las Regiones Hidrológicas Prioritarias. <http://www.conabio.gob.mx>. Consultado en marzo 10 de 2014.

CONAFOR, 2011. Comisión Nacional Forestal. Intercambio neto de carbono y vapor de agua en diferentes usos del suelo del altiplano mexicano. Medidas de adaptación y mitigación de los efectos de las sequías. Foro Binacional (México-USA) sobre desertificación y sequía en relación con el cambio climático. Zacatecas, del 10 al 12 de agosto de 2011.

Environment Canada, 2013. Groundwater. Government of Canada. <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=300688DC-1>. Consultado el 10 de marzo de 2014.

EPA, 2012. United States Environmental Protection Agency. Water: Monitoring and Assessment. Fecal bacteria. What are fecal bacteria and why are they important?

<http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms511.cfm>. Consultado el 26 de febrero de 2014.

EPA, 2013. United States Environmental Protection Agency. Drinking water contaminants. National Primary drinking water regulations. <http://water.epa.gov/drink/contaminants/#List>. Consultado el 22 de febrero de 2014.

Gleick, P. 2002. The World's Water. The biennial report on freshwater resources 2002-2003. Island Press, Oakland, California, USA. 335 p.

Jiménez, C.B.E. 2009. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa, México. 200 p.

Health Canada, 2009. Environmental and Workplace Health. Guidelines for drinking Canadian water quality-supporting documents-iron. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/iron-fer/index-eng.php>. Consultado el 28 de febrero de 2014.

INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2010.

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est>. Consultado el 1 de marzo de 2014.

Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta* 58:201-235.

Marín, R. 1995. Análisis de agua y ensayos de tratamiento. Editorial PACMER, Barcelona, España. 719 p.

McFeters, G.A., Lechevalier, M.W., Singh, A., Kippin, J.S. 1986. Health significance and occurrence of injured bacteria in drinking water. Water Science and technology 18 (10): 227-231.

Ng, J.C., Wang, J., Shraim, A. 2003. A global health problem caused by arsenic from natural sources. Chemosphere 52: 1353-1359

NOM, 1994. Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salubridad y Asistencia. http://salud.edomex.gob.mx/html/doctos/docestoma/normas/127_ssa.pdf. México.

NOM, 1996. Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. <http://www.aguascalientes.gob.mx/imaee/Leyes/pdfs/NOM-001.pdf> México.

NOM, 1987. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-042-1987. Determinación del Número más Probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2013. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-007-2013. Análisis de agua-medición de la Temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2011. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-036-2011. Análisis de agua: Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2000. NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de la actividad electrolítica. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2001. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-012-2001. Análisis de agua: Determinación de Oxígeno Disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2001b. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-038-2001. Análisis de agua: Determinación de Turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2001c. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-034-2001. Análisis de agua: Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.

NOM, 2001d. Norma Oficial Mexicana (NMX-AA-051-SCFI-2001). Análisis de agua- Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- método de prueba.
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>. México.

NOM-98/83/UE, 1998. Diario Oficial de las Comunidades Europea. Directiva Europea 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. L 330/32 de 5/12/1998.

OMS, 2014. Organización Mundial de la Salud. Agua, Saneamiento y Salud (ASS). Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud.
http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/. Consultado el 26 de febrero de 2014.

ONU, 2014. Organización de las Naciones Unidas. Declaración Universal de los Derechos Humanos. Web Oficial de la ONU. <http://www.un.org/documents/udhr/law.shtml>. Consultado el 22 de febrero de 2014.

PAMEUF, 2013. Programa Ambiental México- Estados Unidos: Frontera 2020 Planes de Acción Binaurales, para la Región del Grupo de Trabajo: Texas – Nuevo México–Chihuahua (RGT TX-NM-Chih) Disponible en: http://www2.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/plan_de_accion_de_2_anos_para_el_grt_tx_nm_chih_version_espanol_septiembre_2013.pdf

Rodríguez, M.L., Taboada, M.M., Taboada, M.T. 2005. Variación de iones mayoritarios en un afloramiento de agua de un sistema granítico del noroeste del macizo hespérico, España. Información Tecnológica: 16:69-78.

Rubio, A.H., Jiménez, J.A. 2012. Estadística aplicada con análisis en minitab. Colección de textos universitarios, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México. 169 p.

Rubio-Arias, H.O., Ochoa, R. J., Quintana, R.M., Saucedo, T.R., Ortíz-Delgado, R., Rey, N.I. y Espinoza, J.R. 2013. Development of a water quality index (WQI) of an artificial aquatic ecosystem in Mexico. Journal of Environmental Protection 4:1296-1306.

Said, M., Tahir Shah, M., Khan, S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal* 98:334-343.

Sardiñas, P.O., Rubalcaba, S.Ch., Fernández-Novo, M., Hernández, Y., Pérez, A. 2006. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higia Sanidad Ambiental* 6:202-206.

Seager, R.M.T., 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera* 22(1):1-31.

Silva, G.S.E., Muñoz, O., De la Isla de Bauer, M.L., Infante, S. 2002. Contaminación ambiental en la región de Atlixco: 1 agua. *Terra* 20:243-251.

Sophocleous, M. 2002. Interaction between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal* 10:52-67.

SSA, 1993. Norma Oficial Mexicana 014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Secretaría de Salubridad y Asistencia. México, D.F.

Steel, R.G.D., Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of Statistics. A biometric approach. Second edition. McGrow-Hill Book Company. USA. 633 P.

Suárez, R.E., Arévalo, E., Linares, L., Ustáriz, F., Hernández, G. 2009. Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrociario. *Avances en Química* 4:53-62.

Tanya, M. 2004. Fecal coliform found in CAHS drinking water. Virgin Island Daily News. Times-Shamrock Communications, 2004. Consultado el 26 de febrero de 2014 en Highbeam Research. <http://www.highbeam.com/doc/1P2-27420298.html>

TCRP, 2003. Texas Clean Rivers Program. United States Section International Boundary and Water Commision. Regional assessment of water quality in the Rio Grande Basin. Texas Comission on Environmental Quality Under Contract. Number 582-2-44870/IBM-01-07. EUA.

Vidal, M., Melgar, M.J. 2000. Spatio-temporal characterization of groundwater contamination as a result of urban effects. *Water, Air and Soil Pollution* 121(1-4):367-377.

Welch, A.H., Westjhon, D.B., Helsel, D.R., Wanty, R.B. 2000. Arsenic on ground water of the United States. Occurrence and geochemistry. *Groundwater* 38(4): 589-604.

WHO, 1996. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. 2nd. Edition volume 2. Health criteria and other supporting information. Geneva 1996. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/ph.pdf.

WHO, 2001. Arsenic and arsenic compounds, Environmental health criteria 224. Library cataloguing-in-publication data. World Health Organization, Geneva, Italia.