



Título del artículo.

Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México.

Título del artículo en idioma Inglés.

Evaluation of water quality related with chronic kidney disease in the East Zone of Michoacan, Mexico..

Autores.

María de Guadalupe Panduro Rivera
Leonel Hernández Mena
Alberto López López
Mario Alfonso Murillo Tovar
José de Jesús Díaz Torres
Jorge del Real Olvera

Referencia bibliográfica:

MLA

Panduro Rivera, María de Guadalupe, Leonel Hernández Mena, Alberto López López, Mario Alfonso Murillo Tovar, José de Jesús Díaz Torres, y Jorge del Real Olvera. "Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México". *Tlamati* 5.3 (2014) 22-32

APA

Panduro-Rivera, M. G., Hernández-Mena, L., López-López, A. Murillo-Tovar, M. A., Díaz-Torres, J. J., y del Real-Olvera, J. (2014). Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México. *Tlamati*, 5(3). 22-32

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 29 de Noviembre del 2014

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México

María de Guadalupe Panduro Rivera¹

Leonel Hernández Mena^{2*}

Alberto López López²

Mario Alfonso Murillo Tovar²

José de Jesús Díaz Torres²

Jorge del Real Olvera²

¹Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT) del CONACYT.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Av.

Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, CP. 44270, Guadalajara, Jalisco, México. Tel. +52 (33-33455200, ext. 2125.

**Autor de correspondencia*

lhernandez@ciatej.mx

Resumen

Actualmente en la población de la región oriente de Michoacán existe una alta incidencia y prevalencia de la Enfermedad Renal Crónica (ERC), problema de salud grave que se presenta en individuos jóvenes sin diabetes mellitus o hipertensión arterial (causas comunes de la ERC), sugiriéndose así un posible origen ambiental. Particularmente, el análisis de calidad del agua es de vital importancia por ser la vía de asimilación de diversos contaminantes tóxicos desencadenantes de enfermedades como la ERC. El presente estudio contempló el muestreo de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano en dos temporadas (estiaje y lluvias) de seis municipios del oriente de Michoacán con mayor número de casos de ERC, analizando parámetros fisicoquímicos que determinan su calidad, así como la presencia de iones inorgánicos, metales pesados y elementos tóxicos. Los resultados se compararon con los límites permisibles establecidos en NOM-127-SSA1-1993, NOM-041-SSA1-1994 y OMS-2011. Además se realizó un análisis de correlación múltiple para todo el conjunto de datos utilizando coeficientes de correlación de *Spearman*. La comparación de los resultados con los límites permisibles reveló niveles bajos de pH y altos para turbiedad, color, Fe, Al, Mn y As en varios sitios de muestreo. Las correlaciones más importantes para este estudio fueron la del pH con Cr, As y Cd ($r_s = -0.39, -0.42, -0.38$, respectivamente con $p < 0.05$) probablemente porque bajos niveles de pH podrían ocasionar disolución de estos metales tóxicos, y la correlación de As y Na^+ ($r_s = 0.50$ en estiaje y $r_s = 0.58$ en lluvias, $p < 0.05$) porque el As tal vez forme arsenito de sodio o arseniato de sodio, estos compuestos son muy tóxicos para el organismo por su alta biodisponibilidad. Aunque la mayoría de parámetros en varios sitios se encontraron dentro de norma se deben tomar acciones correctivas para los sitios que tuvieron algún parámetro fuera de ella.

Palabras clave: agua, enfermedad renal crónica, Michoacán.

Como citar el artículo:

Panduro-Rivera, M. G., Hernández-Mena, L., López-López, A. Murillo-Tovar, M. A., Díaz-Torres, J. J., y del Real-Olvera, J. (2014). Evaluación de la calidad del agua ante la enfermedad renal crónica en la Zona Oriente de Michoacán, México. *Tlamati*, 5(3). 22-32

Abstract

At present in the population of the east region of Michoacán, there is high incidence and prevalence of Chronic Kidney Disease (CKD), a serious health problem that occurs in young individuals without diabetes mellitus or hypertension (common causes of CKD), thus suggesting a possible environmental origin. Particularly, analysis of water quality is vital as it is the assimilation pathway of various toxic pollutants potential of diseases such as CKD. This study included sampling water sources for human consumption in two seasons (dry and rainy) from six municipalities in east of Michoacán having the largest number of cases of CKD, analyzing physicochemical parameters that determine its quality as well as the presence of inorganic ions, heavy metals and toxic elements. The results were compared to the permissible limits established in NOM-127-SSA1-1993, NOM-041-SSA1-1994 and WHO-2011. In addition, a multiple correlation analysis was performed for the total dataset using *Spearman* correlation coefficients. The comparison of the results with the permissible limits revealed low pH level and high levels of turbidity, color, Fe, Al, Mn y As in various sample sites. The most important correlations for this study were pH with Cr, As and Cd ($r_s = -0.39, -0.43, -0.38$, respectively with $p < 0.05$) since low pH may allow the dissolution of these toxic metals, and As with Na^+ ($r_s = 0.50$ dry season y $r_s = 0.58$ rainy season, both with $p < 0.05$) because As could be found in the form of sodium arsenite or sodium arsenate, these compounds are highly toxic to the body because of their high bioavailability. Although most parameters on multiple sites were within standard, corrective actions must be taken in the sites that had some non-standard parameter.

Key words: water, chronic kidney disease, Michoacán

Introducción

La ERC constituye un problema de salud pública a nivel mundial. Las cifras de morbilidad y mortalidad asociadas a este padecimiento son alarmantes en México, siendo considerada una enfermedad degenerativa y catastrófica por los crecientes casos (Treviño-Becerra, 2004). Actualmente en México se carece de un registro de pacientes con ERC por lo que se desconoce su número preciso, sin embargo en el 2010 se estimó una tasa de incidencia de 434 casos por millón de habitantes (pmh) y una tasa de prevalencia de 1,310 casos pmh (López-Cervantes, 2010). Para este mismo año en Michoacán se estimó una tasa de prevalencia de 1,289 casos pmh y una tasa de incidencia superior a la media nacional de 463 casos pmh (López-Cervantes, 2010). Hoy se sabe que ésta enfermedad afecta con mayor frecuencia a los habitantes de la región oriente de Michoacán, repercutiendo en la calidad de vida y el patrimonio de muchas familias de esta región (García-Reyes, 2013).

La ERC es multifactorial ya que puede ser originada por infecciones, enfermedades asociadas (diabetes mellitus e hipertensión arterial), fármacos, factores y condiciones ambientales, estilos de vida y enfermedades genéticas (Evans y Taal, 2011). Por lo tanto, el factor medio ambiente podría estar jugando un papel muy importante en el desarrollo de la ERC que afecta la región oriente de Michoacán debido a que esta enfermedad se presenta en individuos jóvenes y sin diabetes mellitus o hipertensión arterial (Rincón-Pedrero et al., 2013).

En particular, la calidad del agua ha cobrado un especial interés como un factor ambiental y de estilo de vida, puesto que muchos habitantes de la región consumen agua sin previa potabilización y/o purificación (comunicación

personal de habitantes). La presencia de compuestos contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua pone en riesgo potencial la salud de las poblaciones o comunidades consumidoras de este líquido, en su forma directa o indirecta. De tal manera que diversos agentes contaminantes en el agua podrían ser causantes de la ERC (OMS, 2011).

Diversos estudios epidemiológicos han reportado que altos niveles de dureza en agua, así como la presencia de fluoruros, metales pesados (cromo, cadmio y plomo) y arsénico, se postulan como factores contribuyentes al desarrollo de la ERC, incluso a concentraciones muy por debajo de los niveles normales (Arreola-Mendoza et al., 2011; Bandara, 2008; Jayasumana et al., 2013; Johnson et al., 2012; Mishra y Mohanty, 2009; Sabath y Robles-Osorio, 2012; Yu et al., 2004). Asimismo, cadmio, plomo y arsénico se han asociado a la diabetes mellitus e hipertensión arterial que son las principales causas de la ERC (Arreola-Mendoza et al., 2011).

El presente estudio contempló el muestreo de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, pozos, manantiales y lagunas, para evaluar su calidad con base en parámetros fisicoquímicos normados, así como determinar la presencia de iones inorgánicos, metales pesados y elementos tóxicos, esto en dos temporadas (estiaje y lluvias) entre 2012 y 2013 y en seis municipios del oriente de Michoacán con número alto de casos reportados de ERC, con respecto a la media nacional.

Materiales y Métodos

La toma de muestras se realizó conforme a la NOM-014-SSA1-1993 en sitios de abastecimiento de agua potable de Zinapécuaro (ZIN, n=8), Cd. Hidalgo (HID, n=19; así como en la tenencia San Pedro Jácuaró, SPJ, n=19),

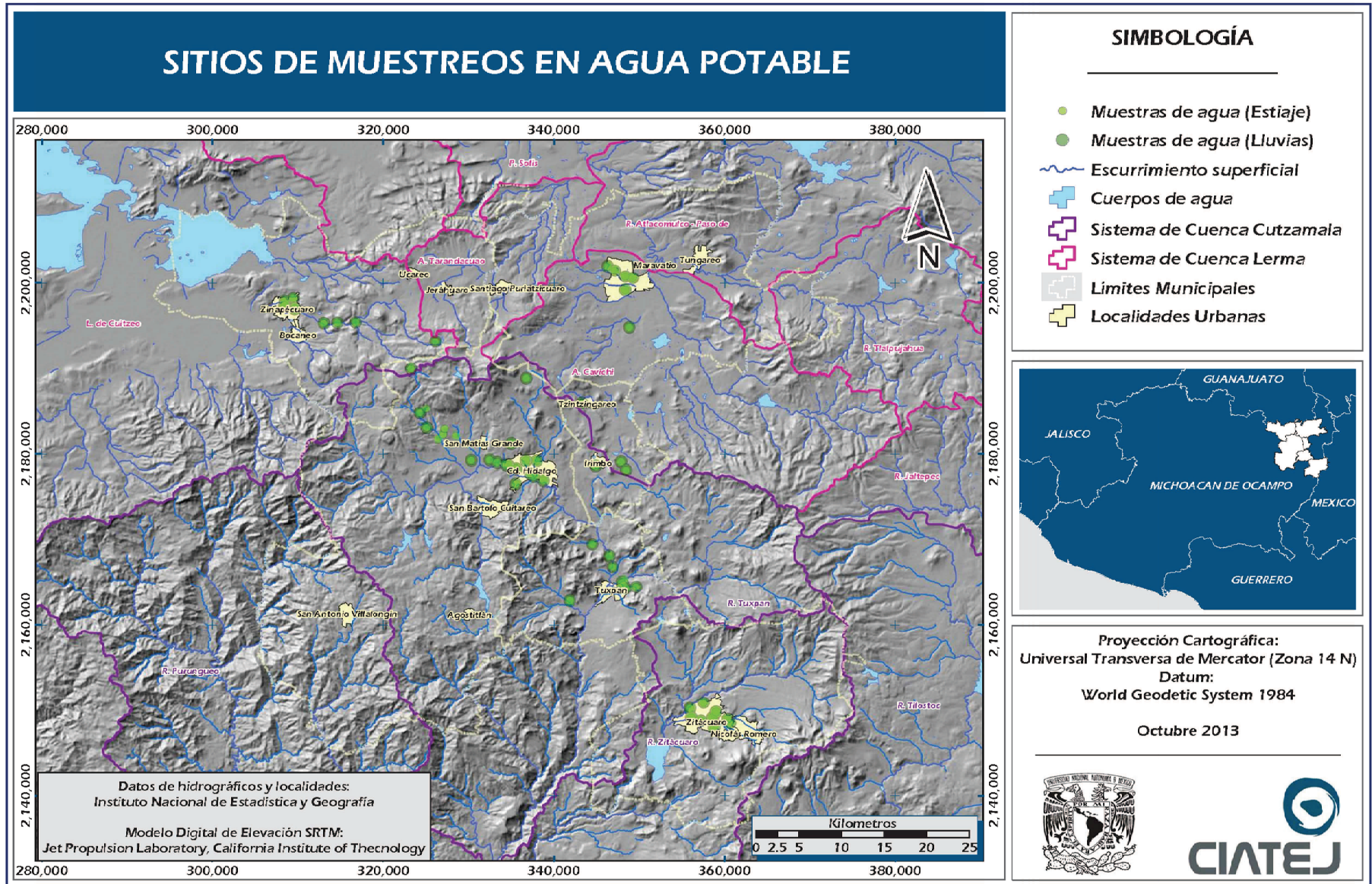


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo en los seis municipios de estudio

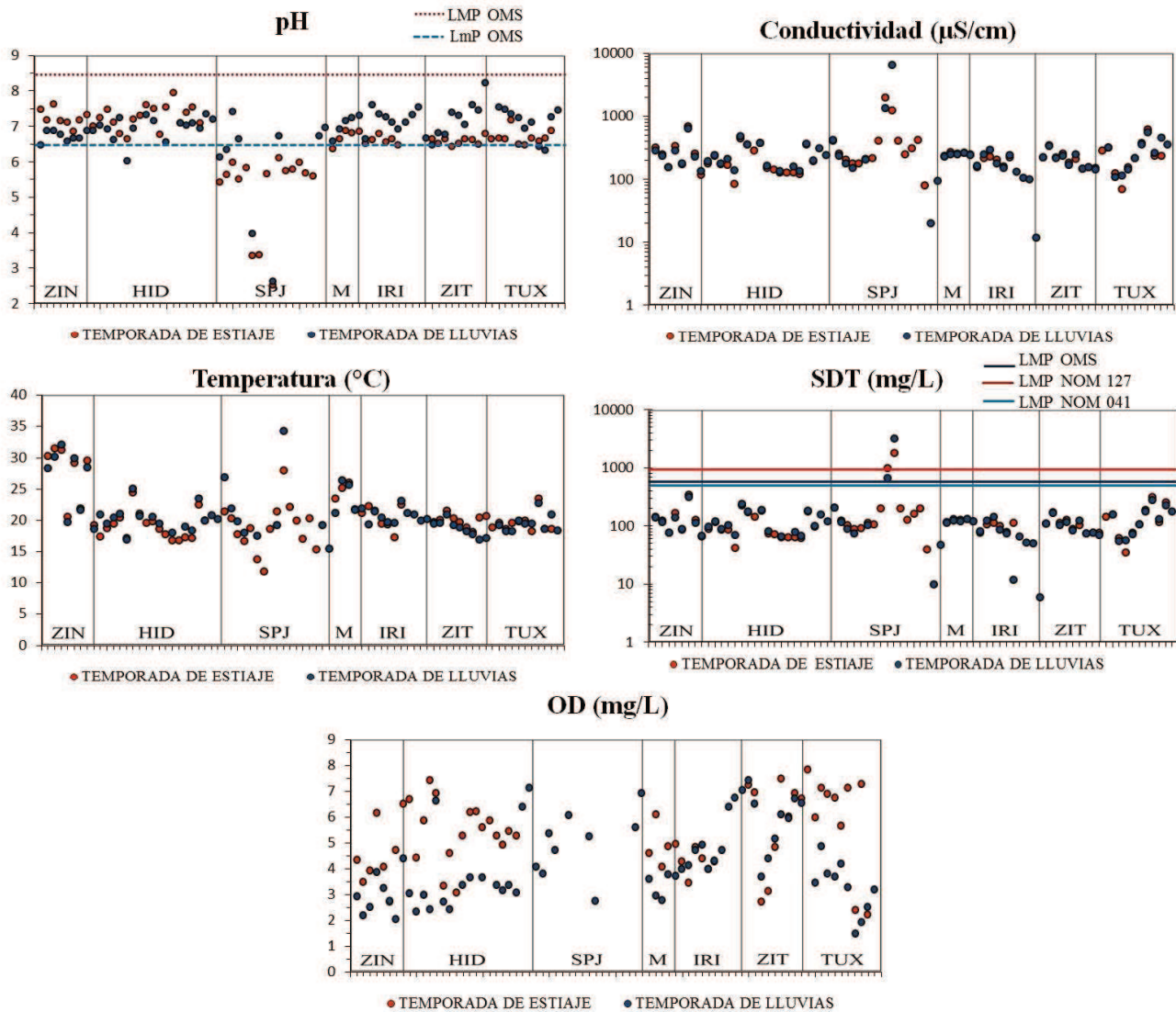


Figura 2. Gráficas de variación espacial de parámetros de campo por municipio. LMP: Límite Máximo Permissible, LmP: Límite Mínimo Permissible, ZIN: Zinapécuaro, HID: Cd. Hidalgo, SPJ: San Pedro Jácuaro, M: Maravatio, IRI: Irimbo, TUX: Tuxpan, ZIT: Zitácuaro. Se emplearon escalas logarítmicas para conductividad y SDT.

Maravatio (M, n=5), Irimbo (IRI, n=2; así como en la tenencia Tzintzingareo, n=8), Zitácuaro (ZIT, n=9) y Tuxpan (TUX n=11), variando su número según la presencia o ausencia de las variables de estudio durante las temporadas de estiaje y de lluvias (n=69 y n=67, respectivamente). En la Figura 1 se presenta un mapa de la ubicación de los sitios de muestreo en los municipios ya referidos.

En el análisis en campo se empleó un GPS (Garmin, etrex H) para recabar datos de georeferenciación como latitud, longitud, y la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de los sitios de muestreo. También se usó un medidor multiparamétrico (HANNA, modelo HI9828) para obtener datos en campo de pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y oxígeno disuelto (OD) de las muestras de agua.

Los parámetros determinados en laboratorio y sus res-

pectivos métodos de análisis para aguas y aguas residuales siguieron los procedimientos y protocolos de validación y control de calidad establecidos por la American Public Health Association (APHA, 1998) para asegurar la confiabilidad de los resultados (Tabla 1).

Los resultados de los parámetros de calidad de agua fueron discutidos y comparados con los límites permisibles establecidos en normas oficiales mexicanas NOM-127-SSA1-1993 salud ambiental, agua para uso y consumo humano, NOM-041-SSA1-1994 agua purificada envasada, y en la guía internacional de la OMS-2011 para la calidad del agua potable.

Finalmente se llevó a cabo un análisis de correlación múltiple para todo el conjunto de datos y para cada temporada de muestreo mediante coeficientes de correlación de Spearman (Statgraphics Centurion XV.II), para establecer

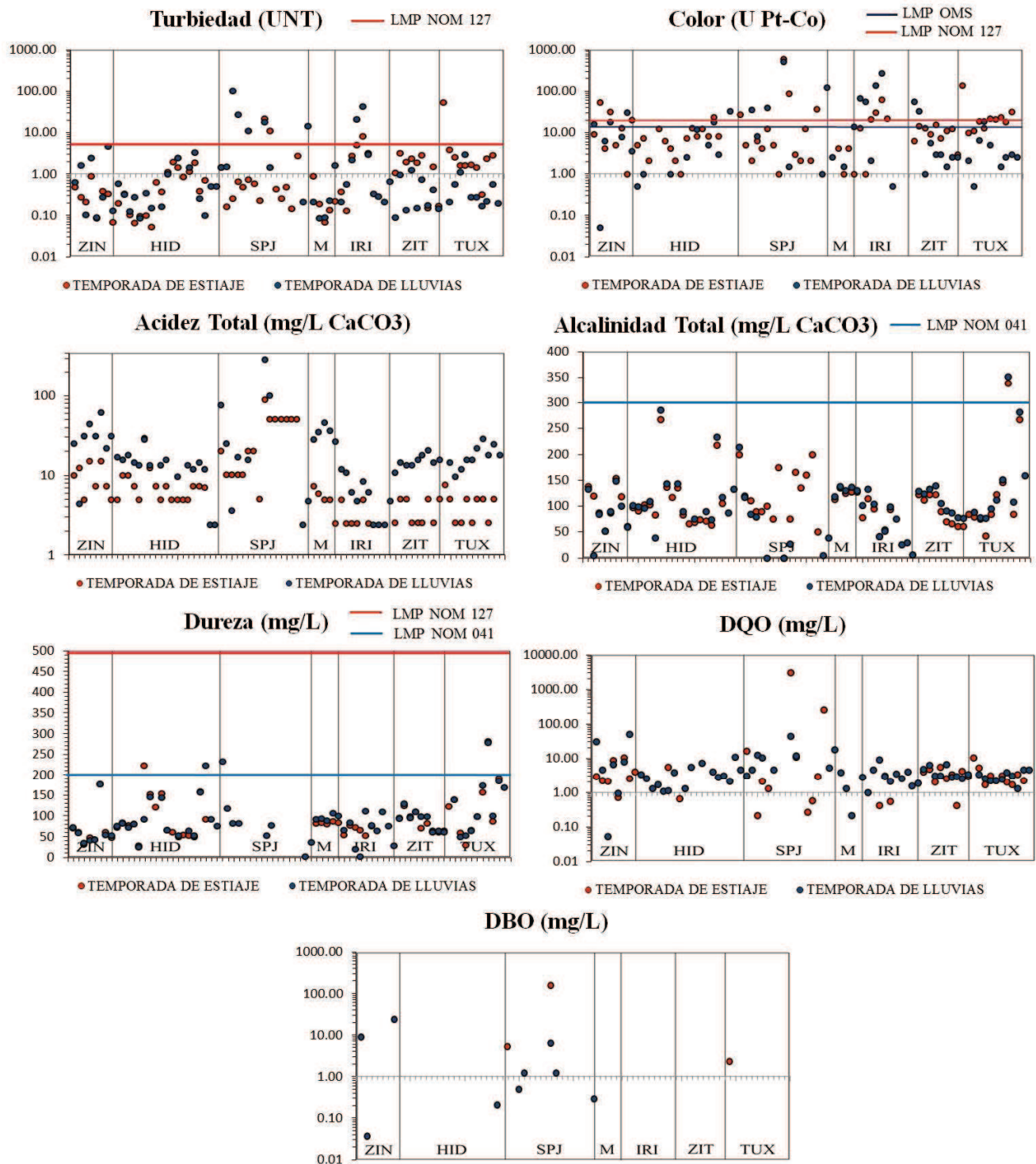


Figura 3. Gráficas de variación espacial de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua por municipio. LMP: Límite Máximo Permissible, ZIN: Zinapécuaro, HID: Cd. Hidalgo, SPJ: San Pedro Jácuaro, M: Maravatio, IRI: Irimbo, TUX: Tuxpan, ZIT: Zitácuaro. Con excepción de alcalinidad total, se emplearon escalas logarítmicas.

el grado de asociación entre especies químicas que sugieran posibles fuentes en común. Para realizar este análisis sólo se consideraron sitios de abastecimiento de agua para consumo humano.

Resultados

En lo que corresponde a parámetros de campo en el periodo de estiaje, el pH tuvo niveles por debajo de los límites mínimos permisibles (LMP) en 20 sitios de los 70 muestreados representando el 28.57%, y en el periodo de lluvias fueron 9 sitios de los 67 muestreados correspondientes al 13.43%, observándose una mayor frecuencia en sitios de SPJ. Las temperaturas, en ambas temporadas, fueron relativamente altas en la mayoría de los sitios de ZIN (cercanas a los 30°C) y en el sitio de Agua de Inyección de SPJ. Los valores de conductividad y SDT oscilaron dentro de lo normal para la mayoría de los sitios, no obstante dos ubicados en la tenencia de SPJ, Ciudad Hidalgo (Laguna Verde y Agua de Inyección que no son sitios de abastecimiento de agua para consumo humano), rebasaron los límites máximos permisibles (LMP) de ambos periodos de muestreo. También se obtuvieron niveles bajos de OD en sitios de ZIN, HID y TUX. En la figura 2 se presentan las gráficas de la variación por municipio de los parámetros medidos en campo.

En lo que concierne a parámetros de laboratorio, específicamente físicoquímicos de calidad del agua, los valores de turbiedad en el periodo de estiaje sobrepasaron el LMP (NOM-127) en 4 sitios, y en el periodo de lluvias fueron 7 sitios, 5 pertenecen a SPJ y 2 a IRI. El LMP (OMS) de color en temporada de estiaje fue rebasado por 20 muestras (26.09%), y en temporada de lluvias por 16 muestras (25.37%). En algunos sitios de SPJ se encontraron altos niveles de acidez en los dos periodos de muestreo principalmente en Laguna Verde y Agua de Inyección. La alcalinidad en el sitio Agua Amarilla de TUX en ambas temporadas estuvo por arriba del LMP (NOM-041). La dureza, en temporada de estiaje, fue superior al LMP (NOM-041) en 2 muestras pertenecientes al Fresno (HID) y Agua Amarilla (TUX); mientras que en temporada de lluvias las muestras de los sitios 3 de Mayo (HID), Agua Ceniza (SPJ) y Agua Amarilla (TUX) sobrepasaron el LMP. Los valores de DQO y DBO estuvieron dentro de los rangos normales en la mayoría de las muestras, con excepción del sitio Laguna Verde (SPJ). En la Figura 3 se presentan las gráficas de la variación por municipio de dichos parámetros físicoquímicos de calidad del agua.

En general, las concentraciones de los aniones y cationes estuvieron por debajo de los LMP normados, incluso Li^+ , NH_4^+ , F^- , NO_2^- , Br^- y PO_4^{3-} fueron inferiores al límite de detección, no obstante se destaca el sitio de Agua de Inyección de SPJ por las concentraciones altas de Na^+ , K^+ y Cl^- que superan por mucho los LMP. También en el sitio de Pocitos de ZIN (en las dos temporadas) se obtuvieron valores de NO_3^- por encima del LMP de la OMS. Los niveles de SO_4^{2-} fueron más altos a los LMP en el sitio de La-

guna Verde (SPJ) en los dos periodos de muestreo. La Figura 4 muestra los resultados antes descritos.

En lo que se refiere a metales pesados y elementos tóxicos se destacan las concentraciones de Fe por rebasar el LMP (NOM-127) en 2 sitios del muestreo de la temporada de estiaje: Laguna Verde (SPJ) y La Cofradía (TUX), y en 11 sitios de la temporada de lluvias. El Al en 4 sitios se encontró por arriba del LMP (NOM-127) en el periodo de estiaje y en 20 sitios en el periodo de lluvias. Por su parte, el Pb en periodo de estiaje superó el LMP (OMS) sólo en La Cofradía (TUX). El LMP (OMS) del As en temporada de estiaje fue rebasado por 8 muestras, 5 pertenecientes a ZIN y 3 de SPJ, mientras que en temporada de lluvias también fue rebasado por 8 muestras de los mismos municipios. En cuanto al Mn, en el periodo de estiaje, 6 muestras rebasaron el LMP de la NOM-041, y en el periodo de lluvias sólo 4 de ellas lo superaron. Por último, cabe destacar que en el sitio de Agua de Inyección (SPJ) se encontraron niveles altos de Cr, Zn, Cd, Al, Pb, As, Sb, Ni y Se principalmente en el periodo de lluvias. En la Figura 5 se presentan las gráficas de variación por municipio de los metales pesados y elementos tóxicos.

Por último se describen los resultados de los análisis de correlación realizados a todas las variables de estudio. De manera general, tanto para temporada de estiaje como de lluvias, se mostraron correlaciones altas entre conductividad y SDT ($r_s=1.00$ de estiaje y $r_s=0.97$ de lluvias, con $p<0.05$ en ambos casos). De igual forma la conductividad y los SDT se correlacionaron significativamente con Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , alcalinidad y dureza, en ambas temporadas de muestreo ($p<0.05$ en todos los casos). En estiaje el pH se asoció negativamente (con $p<0.05$ en todos los casos) con Cr ($r_s=-0.39$), y de igual manera, en lluvias con As ($r_s=-0.43$) y Cd ($r_s=-0.38$). El oxígeno disuelto y la temperatura correlacionaron negativamente en los dos periodos (estiaje: $r_s=-0.53$ y lluvias: $r_s=-0.49$, ambas con $p<0.05$). El color se asoció significativamente ($p<0.05$) con turbiedad ($r_s=0.51$ en estiaje y $r_s=0.43$ en lluvias, respectivamente), DQO ($r_s=0.38$ en estiaje y $r_s=0.39$ en lluvias), Fe ($r_s=0.41$ en lluvias) y Al ($r_s=0.43$ en lluvias). En temporada de lluvias la turbiedad también se relacionó con Fe y Al ($r_s=0.52$ y $r_s=0.64$, respectivamente con $p<0.05$). La acidez en estiaje se correlacionó principalmente con Na^+ , K^+ y As ($r_s=0.52$, $r_s=0.42$ y $r_s=0.51$, respectivamente con $p<0.05$) y en lluvias con Na^+ , Cd, As y Ni ($r_s=0.41$, $r_s=0.46$, $r_s=0.36$ y $r_s=0.37$, respectivamente con $p<0.05$). La alcalinidad tuvo correlaciones significativas con dureza ($r_s=0.79$ en estiaje y $r_s=0.72$ en lluvias, en ambos casos con $p<0.05$), Ca^{+2} ($r_s=0.68$ en estiaje y $r_s=0.70$ en lluvias) y Mg^{+2} ($r_s=0.79$ en estiaje y $r_s=0.66$ en lluvias). De igual forma la dureza se relacionó significativamente ($p<0.05$) con Ca^{+2} ($r_s=0.87$ en estiaje y $r_s=0.94$ en lluvias), Mg^{+2} ($r_s=0.97$ en estiaje y $r_s=0.93$ en lluvias). También se observaron asociaciones significativas entre aniones y cationes ($p<0.05$ en distintos casos). Otra correlación destacada fue la del Na^+ y As con $r_s=0.50$ (estiaje) y $r_s=0.58$ (lluvias) ambas con $p<0.05$. Cabe hacer mención que el Ni se asoció significativamente ($p<0.05$) con la dureza ($r_s=0.64$ en

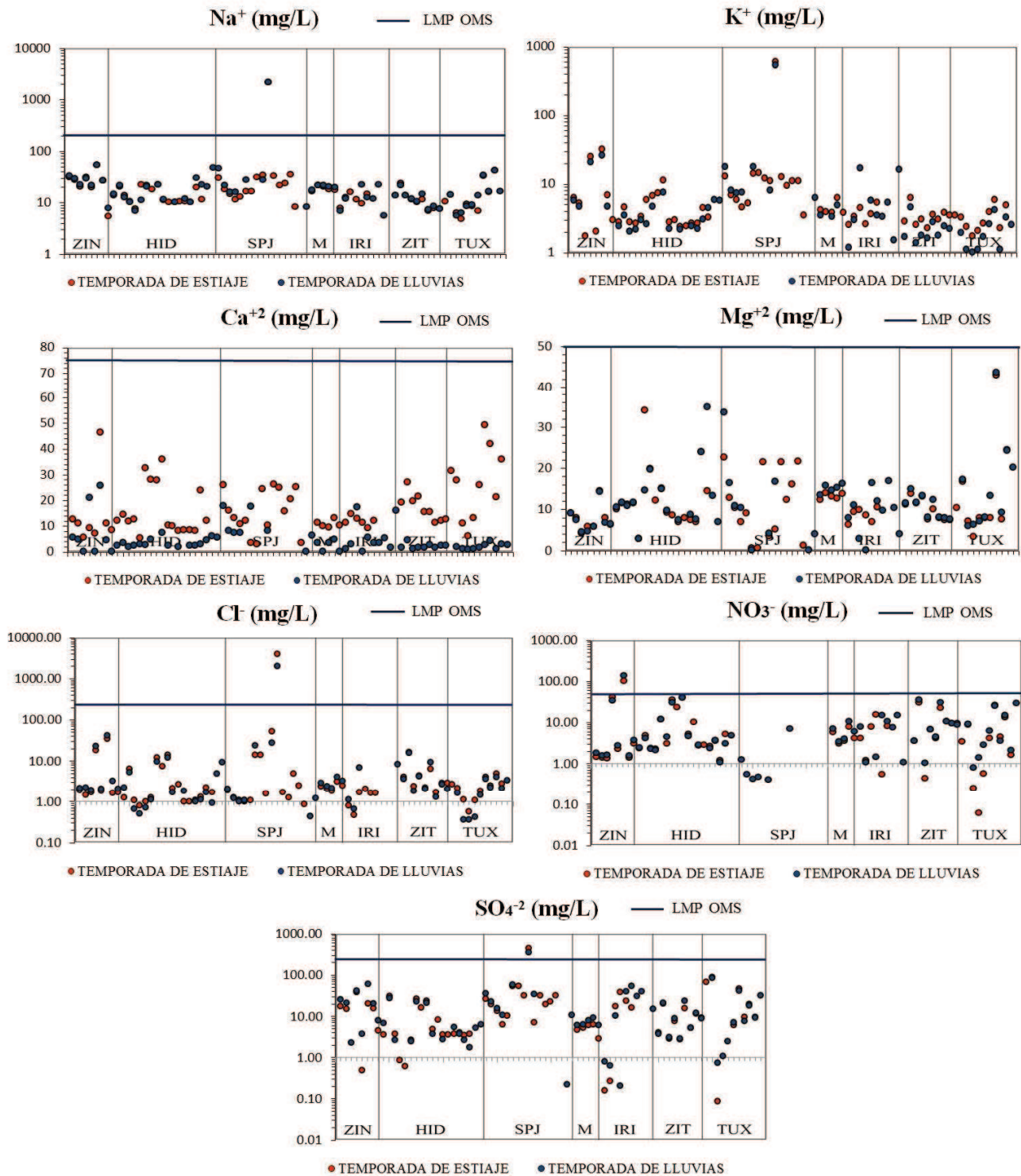


Figura 4. Gráficas de variación espacial de los principales aniones y cationes por municipio. LMP: Límite Máximo Permisible, ZIN: Zinapécuaro, HID: Cd. Hidalgo, SPJ: San Pedro Jácuaro, M: Maravatio, IRI: Irimbo, TUX: Tuxpan, ZIT: Zitácuaro. Con excepción de Ca⁺² y Mg⁺², se emplearon escalas logarítmicas.

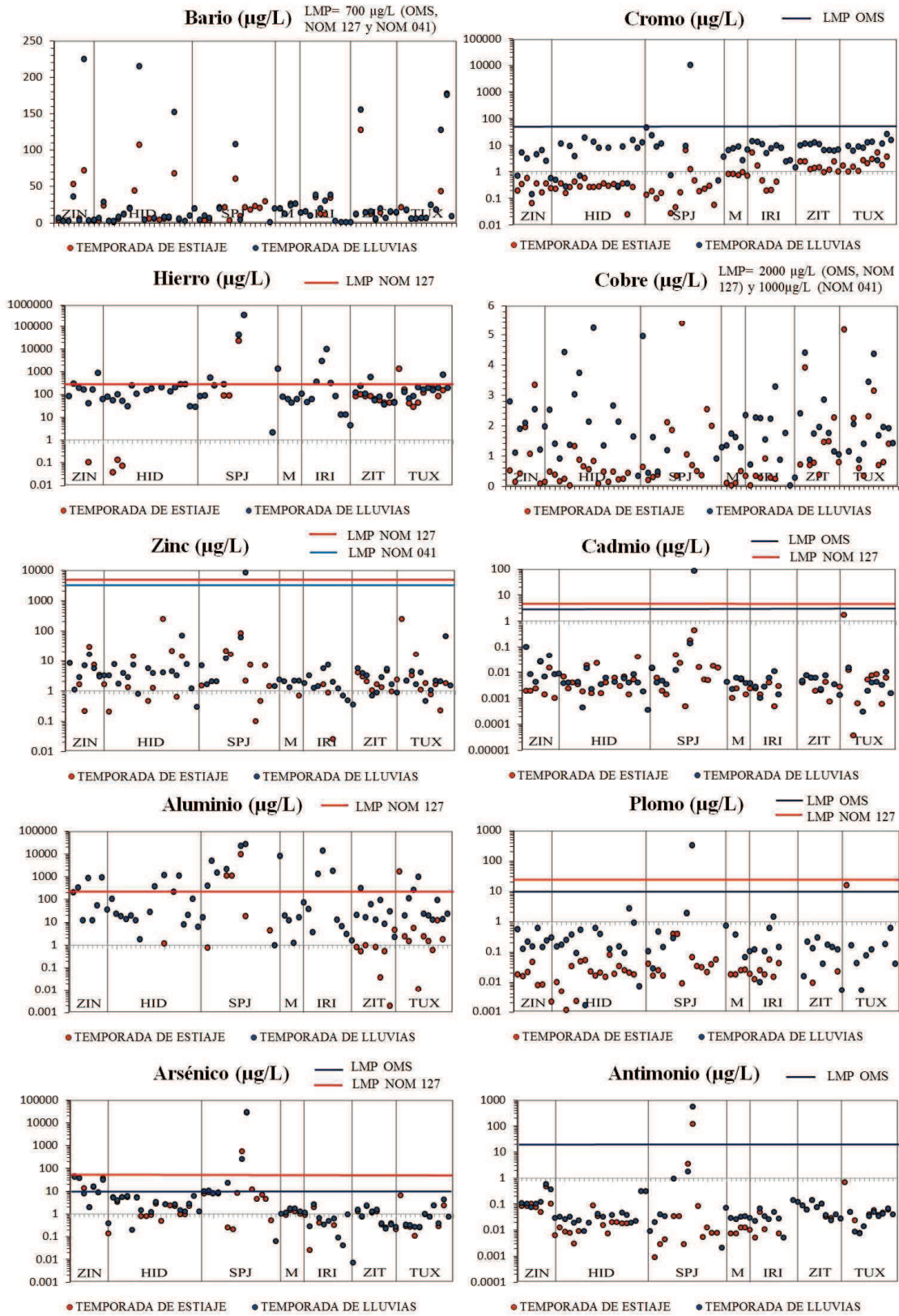


Figura 5. Gráficas de variación espacial de metales pesados y elementos tóxicos por municipio. LMP: Límite Máximo Permissible, ZIN: Zinapécuaro, HID: Cd. Hidalgo, SPJ: San Pedro Jácuar, M: Maravatio, IRI: Irimbo, TUX: Tuxpan, ZIT: Zitácuaro. Con excepción de Bario y Cobre, se emplearon escalas logarítmicas.

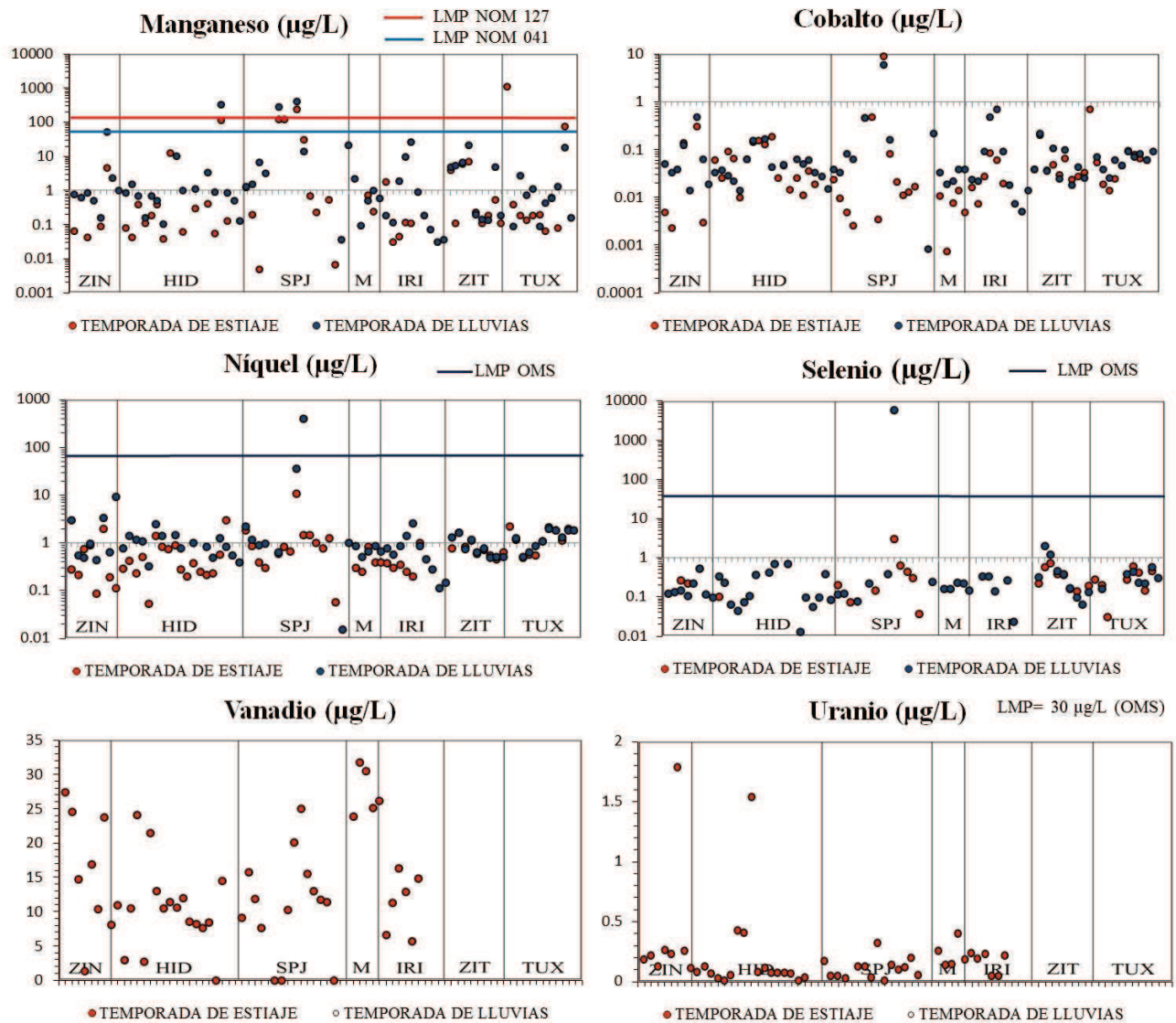


Figura 5 (Cont.). Gráficas de variación espacial de metales pesados y elementos tóxicos por municipio. LMP: Límite Máximo Permissible, ZIN: Zinapécuaro, HID: Cd. Hidalgo, SPJ: San Pedro Jácuar, M: Maravatio, IRI: Irímbo, TUX: Tuxpan, ZIT: Zitácuaro. Con excepción de Vanadio y Uranio, se emplearon escalas logarítmicas.

estiaje y $r_s=0.52$ en lluvias), Ca^{+2} ($r_s=0.60$ en estiaje y $r_s=0.54$ en lluvias) y Mg^{+2} ($r_s=0.60$ en estiaje y $r_s=0.46$ en lluvias). El Ba se asoció principalmente con Co ($r_s=0.36$ en estiaje y $r_s=0.66$ en lluvias con $p<0.05$) y Ni ($r_s=0.56$ en estiaje y $r_s=0.55$ en lluvias con $p<0.05$). Y finalmente metales como As, Cr, Al, Cu, Fe Cd, Ni, Zn, Pb, Mn y Co mostraron correlaciones positivas y significativas entre sí ($p<0.05$).

Discusión y Conclusiones

Según las normas de referencia NOM-127, NOM-041 y OMS-2011, la mayoría de los parámetros de la calidad del agua que consume la población de la zona oriente de Michoacán se encuentran dentro de los límites establecidos

por dichas normas, sin embargo se destacan parámetros que por sus niveles pudieran tener efectos tóxicos o estar propiciando la ERC en la población. El pH bajo en algunos sitios podría ocasionar corrosión en sistemas de distribución del agua y contribuir con la disolución de metales potencialmente tóxicos para la población (OMS, 2011), esta probable disolución de metales se verifica con las correlaciones negativas entre pH y metales como el Cr, As y Cd, a los cuales se les ha vinculado con daño renal (Johnson et al., 2012; Mishra y Mohanty, 2009). En el caso de la turbiedad se destaca su asociación con el color pues se ha reportado que la presencia de bacterias ferruginosas confieren niveles altos de turbiedad y de color (OMS, 2011). También la turbiedad se ha correlacionado con Fe y Al ya que dichos metales pudieran estar unidos a ácidos

Parámetro	Métodos (APHA,1998)	Equipo
Acidez	2310B. Titulación	---
Alcalinidad	2320B. Titulación	---
Cationes y Aniones	4110 B. (aniones)	
Li ⁺ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , Br ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻³ , SO ₄ ⁻²	ASTM D 6919-03 (cationes)	Cromatógrafo de Iones, Metrohm modelo 861 Compacto Avanzado con detector de conductividad
	Cromatográfico: estándar externo	
Color	2120C. Espectrofotométrico	Espectrofotómetro HACH DR 2800
DBO	5210B. Prueba de DBO al 5 día	Analizador BOD Trak II HACH con Incubadora INO 650V-9
DQO	5220D. Reflujo cerrado. Colorimétrico	Digestor HACH DR 8200
Dureza	2340B. Calculada con Ca ⁺² y Mg ⁺²	---
Metales y elementos tóxicos		Perkin Elmer ELAN 9000 ICP-MS
Ba, Cr, Fe, Cu, Zn, Cd, Al, Pb, As, Sb, Mn, Co, Ni, Se	3125 ICP-MS	
Turbiedad	2130B.Nefelométrico	Turbidímetro HACH 2100 ANIS

Tabla 1. Parámetros, métodos (APHA, 1998) y equipos utilizados para el análisis fisicoquímico y determinaciones analíticas de las muestras de agua.

húmicos (responsables de color en el agua) u otras partículas orgánicas, teniendo un riesgo para la salud de la población debido a que el pH ácido del estómago humano puede acelerar la liberación de iones metálicos (Marcó et al., 2004). Igualmente el color está asociado a las altas concentraciones de Fe (confirmado con el análisis de correlación) y sustancias húmicas. Cabe resaltar los resultados obtenidos en el sitio de Agua Amarilla (TUX) pues se encontraron niveles altos de dureza y alcalinidad que sobrepasaron los LMP en ambas temporadas de muestreo, la dureza pudiera ser perjudicial a la salud e incluso inducir la ERC, ya que contribuye a la formación de litos renales (Johnson et al., 2012).

Aunque la mayoría de aniones y cationes se encontraron debajo del LMP, el sitio Pocitos (ZIN) sobresale por sus altos niveles de NO₃⁻ (en ambos muestreos), probable indicativo de contaminación fecal o agroquímicos, la presencia de NO₃⁻ se ha asociado en humanos con la metahe-moglobinemia, sobre todo en lactantes (OMS, 2011).

En cuanto a metales pesados y elementos tóxicos destacan las concentraciones de Fe, Al, Mn y As por rebasar el LMP de las normas en varios de los sitios de estudio, no obstante el único relacionado con ERC es el As (Arreola-

Mendoza et al., 2011; Jayasumana et al., 2013), debido a que no hay estudios suficientes que vinculen al Fe, Al o Mn con daño al riñón. Sin embargo no se deben dejar de lado a Mn y Al por sus efectos neurotóxicos (OMS, 2011). Además se subraya la asociación entre As y Na⁺ sugiriendo que el As puede encontrarse en forma de arsenito o arseniato de sodio que son formas inorgánicas muy tóxicas puesto que tienen alta biodisponibilidad en el organismo (OMS, 2011); altas concentraciones de As se encontraron en la mayoría de los sitios de ZIN y en algunos sitios de SPJ. Cabe destacar también la presencia de Cr, Cd y Pb en la mayoría de sitios, y aunque inferiores a los LMP, muchos estudios reportan que la exposición crónica a muy bajas concentraciones de estos metales puede ocasionar daño renal y originar la ERC (Bandara, 2008; Mishra y Mohanty, 2009; Sabath y Robles-Ororio, 2012; Yu et al., 2004). En el caso del sitio La Cofradía (TUX) se deben tomar medidas de control inmediatas por sus altos niveles de Pb que rebasan el LMP (OMS). Es importante recalcar que metales como Cr, Al, Cu, Cd, Fe, As, Pb, Mn, Co, Zn y Ni se asociaron entre ellos por lo que es probable que estos elementos tengan un origen común. Y finalmente se debe destacar el sitio de Agua de

Inyección (SPJ), aunque no es una fuente de abastecimiento, se encontraron altos niveles de SDT, turbiedad, color, Na⁺, K⁺, Cl⁻, Cr, Zn, Cd, Al, Pb, As, Sb, Ni y Se que pudieran llegar a contaminar las fuentes de agua de zonas cercanas, debido a su altitud respecto de otros sitios y a que es reinyectada al subsuelo.

A partir de estos resultados se da una pauta que lleve a encontrar posibles causas de la ERC, dándole un seguimiento a parámetros de calidad del agua que estén vinculados según la literatura con esta enfermedad. Estudios epidemiológicos transversales en la zona de estudio pudieran ayudar a confirmar la correlación del factor calidad del agua con la ERC.

Agradecimientos

Al Fomix Michoacán-CONACYT, 2011, por los recursos que permitieron financiar las actividades del proyecto Factores Ambientales Asociados a Insuficiencia Renal Crónica (IRC) en Catorce Municipios del Oriente de Michoacán. Al Dr. Malaquías López de la Unidad de Proyectos Especiales de la Facultad de Medicina de la UNAM por la invitación a colaborar en este proyecto.

A los funcionarios y servidores públicos de los municipios del Oriente de Michoacán, por el apoyo y facilidades en la toma de muestras.

Referencias

- American Public Health Association (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C., EUA. 1120p.
- Arreola-Mendoza L, Del Razo L.M, Barbier O, Martínez-Saldaña C, Avelar-González F, Jaramillo- Juárez F y Reyes-Sánchez J.L. (2011). Potable water pollution with heavy metals, arsenic and fluoride and its relation to the development of kidney chronic illness in the infant population of Aguascalientes. En U. Oswald-Spring (Ed.), *Water Research in Mexico, Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management, and Policy*. Cuernavaca, MEX: Springer, 231-237.
- Bandara, J. M. R. S., Senevirathna, D. M. A., Dasanayake, D. M. R. S.V., Herath, V. y Bandara, J. M. R. P. (2008). Chronic renal failure in cascade irrigation systems in Sri Lanka associated with elevated dietary cadmium levels, rice and fresh water fish (Thilapia). *Environmental Geochemistry and Health*, 2 (30), 465-78.
- Evans, P. D. y Taal, M. W. (2011). Epidemiology and causes of chronic kidney disease. *Medicine*, 39 (7), 402-406.
- García-Reyes, V. (2013). Con punto de acuerdo, por el que se exhorta al gobernador y a la Secretaría de Salud de Michoacán a atender de forma prioritaria el problema de insuficiencia renal crónica que presentan los habitantes de la región oriente del estado. *Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados*. VIII (3726). LXII Legislatura.
- Jayasumana, M. A. C. S., Paranagama, P. A., Amarasinghe, M. D., Wijewardane, K. M. R. C., Dahanayake, K. S., Fonseka, S. I., Rajakaruna, K. D. L. M., Mahamithawa, A. M. P., Samarasinghe, U. D., y Senanayake, V. K. (2013). Possible link of chronic arsenic toxicity with Chronic Kidney Disease of unknown etiology in Sri Lanka. *Journal of Natural Science Research*, 3 (1), 64-73.
- Johnson, S., Misra, S. S., Sahu, R. y Saxena, P. (2012). *Environmental contamination and its association with Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in North Central Region of Sri Lanka*. Obtenido de http://www.cseindia.org/userfiles/sri_lanka_final_report.pdf.
- López-Cervantes, M. (2010). *Enfermedad Renal Crónica y su Atención Mediante Tratamiento Sustitutivo en México*. México D.F., MEX: Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, 189p.
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C. y García, M.C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 74-82.
- Mishra, A. K. y Mohanty, B. (2009). Chronic exposure to sublethal hexavalent chromium affects organ histopathology and serum cortison profile os a teleost, *Channa punctatus* (Bloch). *Science of The Total Environment*, 407 (18), 5031-5038.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva, SWI: World Health Organization, 541p.
- Rincón-Pedrero, R., Pacheco-Domínguez, R., López-Cervantes, M. y Correa-Rotter, R. (2013). Prevalence and risk factors associated to chronic kidney disease in a rural and suburban population of Jacuaro, Michoacan, Mexico: an epidemiologic survey in 2278 adult subjects, moderated poster session. *Epidemiology, Outcomes and Health Service Research in CKD*, Hong Kong, CHI: 1.
- Sabath, E. y Robles-Osorio, M. L. (2012). Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología*, 32(3), 279-286.
- Secretaría de Salud. (1993). *NOM-014-SSA1-1993: Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados*. Diario Oficial de la Federación, México, 1-6 pp.
- Secretaría de Salud. (1993). *NOM-041-SSA1-1993: Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones Sanitarias*. . Diario Oficial de la Federación, México, 4-6 pp.
- Secretaría de Salud. (1994). *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*. Diario Oficial de la Federación, México, 3-4 pp.
- Treviño-Becerra, A. (2004). Insuficiencia renal crónica: enfermedad emergente, catastrófica y por ello prioritaria. *Cirugía y cirujanos*, 72 (1), 3-4.
- Yu, C. C., Lin, J. L. y Lin-Tan, D. T. (2004). Environmen-