



Determinación de la calidad fisicoquímica del agua superficial y subterránea de la región de Amatepec y su posible interacción

Determination of the physicochemical quality of surface water and groundwater in the Amatepec region and their possible interaction

Por Alicia Abigahil Muñoz-Ramírez, Guadalupe Fonseca-Montes de Oca, Rosa María Fuentes-Rivas y Guadalupe Vázquez-Mejía

Resumen: Conocer la calidad de los cuerpos de agua es indispensable debido a que son fuentes de abastecimiento. En este texto se analiza una zona del municipio de Amatepec, Estado de México, donde no se dispone de una red de abasto de agua potable, por lo que las fuentes superficiales y subterráneas son una posibilidad para resolver este problema. Ante esta situación, se realizó una caracterización fisicoquímica de los acuíferos y su viabilidad de consumo. En este estudio se consideraron 14 parámetros: pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD), sólidos disueltos (SDT), conductividad eléctrica (CE), potencial redox (Eh), color, alcalinidad, demanda química de oxígeno (DQO), Cl^- , SO_4^{2-} , N-NH_3 , NO_2^- , PO_4^{3-} , coliformes totales y coliformes fecales; además del cálculo del índice de calidad del agua (ICA) NSF. Los resultados indicaron que el agua de dos pozos es adecuada para múltiples usos, pero no para consumo humano.

Palabras clave: agua potable, Amatepec, red de abasto, calidad del agua.

Abstract: Knowing the quality of water bodies is essential because they are sources of supply. This text analyzes an area in the municipality of Amatepec, State of Mexico, where there is no drinking water supply network, so surface and subway sources are a possibility to solve this problem. In view of this situation, a physicochemical characterization of the aquifers and their viability for consumption was carried out. In this study, 14 parameters were considered: pH, temperature, dissolved oxygen (OD), total dissolved solids (SDT), electrical conductivity (CE), redox potential (eh), color, alkalinity, chemical oxygen demand (dgo), Cl^- , SO_4^{2-} , N-NH_3 , NO_2^- , PO_4^{3-} , total coliforms and fecal coliforms; in addition to the calculation of the water quality index (ICA) NSF. The results indicated that water from two wells is suitable for multiple uses, but not for human consumption.

Keywords: drinking water, Amatepec, supply network, water quality.

La calidad del agua es la expresión cuantitativa y cualitativa de múltiples parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deben cumplir con los límites máximos permisibles de sustancias y microorganismos

nocivos para la salud, así como de residuos que afecten algunas de sus propiedades como color, turbiedad, olor y sabor, indicados en las normas oficiales nacionales e internacionales (Hernández et al., 2018). Una de las

actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua, con el fin de detectar tempranamente cambios en su calidad (Castro et al., 2014).

Cada fuente de agua posee un patrón de características determinadas por condiciones ambientales (Ashraf *et al.*, 2012), en el agua superficial influyen la morfología de la cuenca, la atmósfera regional y las actividades humanas (Baluch y Hashmi, 2019), mientras que el agua subterránea es modificada por la geología local, la interacción agua-roca, clima en términos de temperatura (relaciones solubilidad-temperatura) y precipitación, mezcla de aguas, relieve, vegetación, tiempo y actividades antropogénicas (Oyarzún *et al.*, 2015).

Debido a la demanda de agua, se ha recurrido a la extracción de acuíferos subterráneos que presentan calidad y características estables comparada con los superficiales. Esta situación ocurre particularmente en áreas rurales, que utilizan el recurso para el sector agrícola y doméstico, puesto que no existen redes de distribución en condiciones adecuadas de operación (López-Veladia, 2023).

En este proceso se aplica el índice de calidad del agua (ica), herramienta matemática que integra información de varios parámetros y presenta diferentes metodologías. Puede ser utilizado para transformar grandes cantidades de datos en una escala de medición única; es un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general (Castro *et al.*, 2014).

El índice NSF es uno de los más empleados y se define como una técnica de calificación que propor-

EN AMATEPEC, 85.65% DE LA POBLACIÓN CUENTA CON ABASTECIMIENTO DE AGUA ENTUBADA, MIENTRAS 14.24% LA ACARREA

ciona la influencia compuesta de cada parámetro en la calidad global, además de que su cálculo permite clasificar la condición del agua según el grado de pureza, utilizando las variables más comunes (Goher *et al.*, 2014). El objetivo del trabajo fue determinar la calidad del agua superficial y subterránea de una zona rural del municipio de Amatepec e identificar la posible interacción entre ellas.

ZONA DE ESTUDIO

El área está integrada en la región hidrográfica administrativa número 18 (RHA 18) Balsas, cuenca hidrológica del río Cutzamala y pertenece al municipio de Amatepec, Estado de México, en cuyo territorio se integran 194 localidades con un total de 26,334 habitantes. Dos localidades son clasificadas como de tipo urbano y concentran 20.18% de la población, en tanto que 79.82% es rural. En esta segunda zona se seleccionaron dos áreas para el análisis de dos pozos, el primero denominado El Sitio (PS), con ocho metros de profundidad, está ubicado a orillas del río San Felipe, y el segundo, Pueblo Nuevo (PN),

en una comunidad homónima, posee una profundidad de dos metros y se encuentra sobre la base de una corriente agua superficial perenne.

En Amatepec, 85.65% de la población cuenta con abastecimiento de agua entubada, mientras 14.24% la acarrea; las principales fuentes de abasto son pozos (59.39%) y ríos (26.04%) (INEGI, 2020). Las localidades seleccionadas para este análisis no reciben el suministro de agua entubada, por lo que se abastecen mediante pozos someros o fuentes de agua superficial.

Las muestras fueron colectadas durante la temporada de estiaje en marzo, tomando como referencia la NMX-AA-014-1980 y PROY-NMX-AA-121/1-SCFI-2008. Se emplearon envases plásticos con capacidad de 250 mL para análisis fisicoquímicos y botellas de vidrio esterilizadas con capacidad de 350 mL para análisis microbiológico. En laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (CE), potencial redox (Eh), oxígeno disuelto (OD), sólidos disueltos totales (SDT), color, alcalinidad, cloruros (Cl⁻), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), nitratos (NO₃⁻), fosfatos (PO₄³⁻), sulfatos (SO₄²⁻), demanda química de oxígeno (dco), coliformes totales y coliformes fecales.

Con los datos obtenidos se calculó el índice de calidad de agua (ICA-NSF), y se emplearon los datos de seis parámetros: alcalinidad (CaCO₃), pH, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos y nitratos, a partir del siguiente proceso:



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos

Cálculo del peso relativo (Wi) para cada parámetro.

$$W/i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: Wi, peso relativo;
wi, peso asignado al parámetro

Determinar la clasificación de la calidad (qi) en cada parámetro.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: qi, clasificación de calidad;
Ci, concentración (mg/L);
Si, concentración normada para cada parámetro químico (mg/L).

Determinación del SI subíndice del i-ésimo parámetro

$$SI = W \times q_i \quad \text{Ec. 3}$$

Cálculo del WQI

$$ICA = SI \quad \text{Ec. 4}$$

En la tabla 1 se observa que el elemento presente en mayor concentración fue el cloruro con 38.286 mg/L en el río San Felipe (RSF), mientras que en el ps el valor fue de 21.045 mg/L y 33.855 mg/L en PN. Las altas concentraciones de este

	Pozo PN	Pozo PS	Río San Felipe	NOM-127-SSA1-2021
pH	7.26	7.4	7.49	6.5-8.5
CE (µs/cm)	693.30	581.10	458.60	-
Eh (mV)	168.00	162.00	78.00	-
OD (%)	38.30	53.60	75.20	-
OD (mg/L)	3.44	4.80	7.01	-
SDT (mg/L)	369.40	312.80	242.80	1000
Color (Pt/Co)	6.00	9.00	8.00	-
Alcalinidad (CaCO ₃ mg/l)	338.55	210.45	128.10	-
Cl ⁻ (mg/L)	33.85	21.04	38.28	-
N-NH ₃ (mg/L)	0.01	0.03	0.03	0.50
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.26	5.33	0.99	11.00
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	5.97	6.23	21.35	-
DQO (mg/L)	1.30	1.80	9.00	-
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	46.04	85.19	74.90	400.00
Coliformes totales (NMP/100 mL)	1100.00	≥2400.00	230.00	-
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	4.00	1100.00	230.00	≤1.1 o no detectable

elemento en el RSF y PS podrían asociarse a la actividad de obtención de sal, que se desarrolla en una localidad cercana llamada San Miguel de Ixtapan; sin embargo, a partir de la comparación con los valores registrados en PN, PS y RSF, se puede asumir que pueden estar asociados con vertidos de agua residual. Esto se corrobora en las relaciones iónicas entre las concentraciones de Cl^- vs. SO_4^{2-} , PO_4^{3-} vs. SO_4^{2-} (Figura 1), N-NH_3 vs SO_4^{2-} y NO_3^- vs SO_4^{2-} (Figura 2), donde se observa que existe predominancia de sulfatos en las cuatro relaciones.

Por otro lado, en las relaciones iónicas de N-NH_3 vs PO_4^{3-} y N-NO_3^- vs PO_4^{3-} existe una concentración mayor de fosfatos (Figura 3). Cabe mencionar que en las localidades de estudio se identificó la presencia de letrinas cercanas a los pozos y dada la poca profundidad de los mismos, estas pueden ser el foco principal de incorporación de los aniones antes mencionados hacia los pozos someros analizados, lo cual se confirma con las relaciones iónicas mostradas en las figuras 1, 2 y 3.

Figura 1. Gráfica de relación iónica, a) Cl^- vs SO_4^{2-} , b) PO_4^{3-} vs SO_4^{2-}

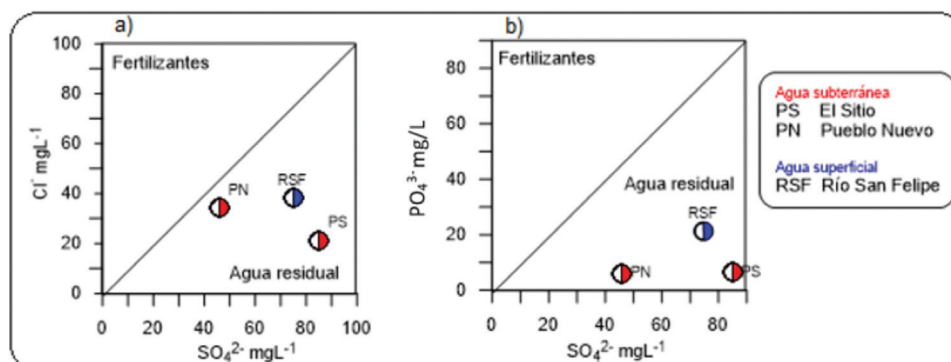


Figura 2. Gráfica de relación iónica, a) N-NH_3 vs SO_4^{2-} , b) N-NO_3^- vs SO_4^{2-}

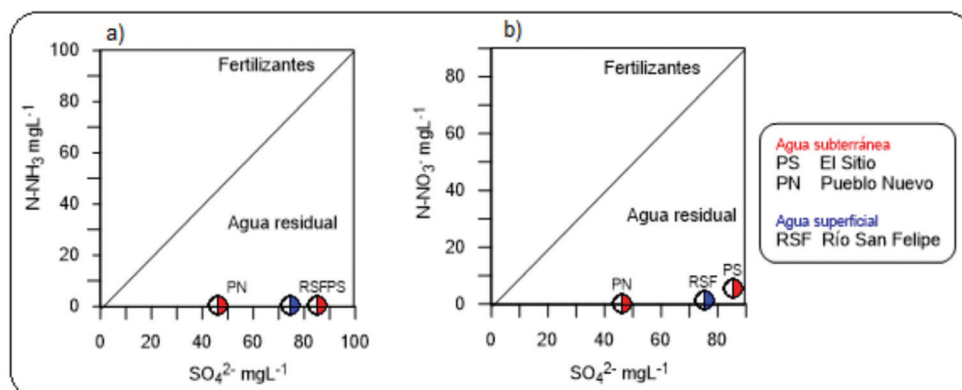
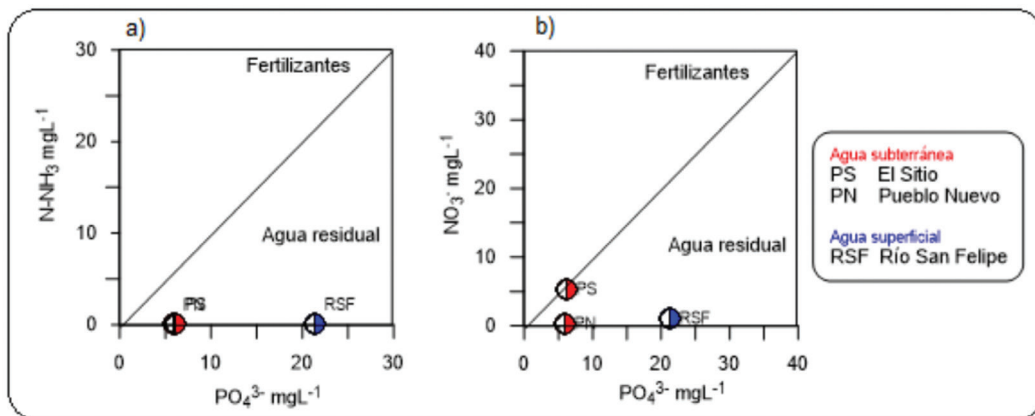




Figura 3. Gráfica de relación iónica, a) N-NH_3 vs PO_4^{3-} , b) N-NO_3^- vs PO_4^{3-}



En el caso de los N-NO_3^- los valores más altos se registraron en el PS, 5.33 mg/L, mientras que el PN alcanzó 0.258 mg/L y 0.996 mg/L en el río San Felipe. La cantidad de SO_4^{2-} en PS también mostró una concentración superior a los otros sitios de muestreo, alcanzando un valor de 85.199 mg/L. Respecto a las concentraciones de PO_4^{3-} , el valor más alto fue encontrado en el río San Felipe con 21.36 mg/L, seguido del PS con un valor de 6.24 mg/L y finalmente el PN con 5.97 mg/L (Tabla 1). De acuerdo con los datos encontrados, es posible que exista influencia del río San Felipe sobre el agua subterránea de las localidades El Sitio y Pueblo Nuevo, puesto que las concentraciones del ion fosfato en el agua de los pozos analizados son similares entre ellas y en relación con la concentración de este ion en el río es una tercera parte de su valor.

Al analizar los valores de algunos parámetros de las muestras de agua de los pozos El Sitio y Pueblo Nuevo, se encontró que las concentraciones de N-NH_3 , NO_3^- , SDT y SO_4^{2-} están por debajo del límite máximo permisible (LMP) con respecto a la NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano, mientras que los valores registrados de coliformes fecales superan el LMP establecido en la norma mencionada (≤ 1 NMP/100 mL), en este parámetro el valor más alto se registró en la muestra de agua de PS que alcanzó 1100 NMP/100 mL, contrario a la muestra de agua de PN que obtuvo un valor de 4 NMP/100 mL (Tabla 1).

Por otro lado, en los cálculos de ICA se encontró que las muestras del río San Felipe y los pozos El Sitio y Pueblo Nuevo, registraron valores de 51.56, 48.05 y 45.39 mg/L respectivamente (Tabla 2), estos dos últimos de acuerdo con la escala del ICA NSF (Tabla 3), en apariencia pueden considerarse de calidad excelente; sin embargo, es importante destacar que los parámetros considerados para este cálculo no representan el número de indicadores de contaminación; asimismo, la muestra del río San Felipe puede considerarse de buena calidad, bajo estas mismas circunstancias. Los resultados de este análisis muestran poca variación en las condiciones de la calidad del agua al comparar las variables físicas y químicas entre los sitios, por ello es necesario realizar la caracterización, considerando la temporada de precipitación pluvial para establecer si existe influencia de la variación espacio-temporal-climática sobre la calidad del recurso.

Tabla 2. Cálculos del índice de calidad del agua (ICA) NSF

Parámetro	Wi	WI	Si (OMS)	Pozo sitio		Río San Felipe		Pozo Pueblo Nuevo	
				Ci	SI	Ci	SI	Ci	SI
HCO ₃	1	0.05	500	256.27	2.56	155.79	1.55	412.27	4.12
pH	5	0.25	8.5	7.4	21.76	7.49	22.03	7.26	21.35
SDT	5	0.25	500	312.8	15.64	242.80	12.14	369.40	18.47
Cl ⁻	4	0.2	200	21.04	2.10	38.29	3.83	33.86	3.39
SO ₄ ²⁻	3	0.15	200	85.20	6.39	74.91	5.62	46.04	3.45
NO ₃ ⁻	2	0.1	45	0.26	0.057	0.99	0.22	5.33	1.18
ICA-NSF				48.05		45.39		51.56	

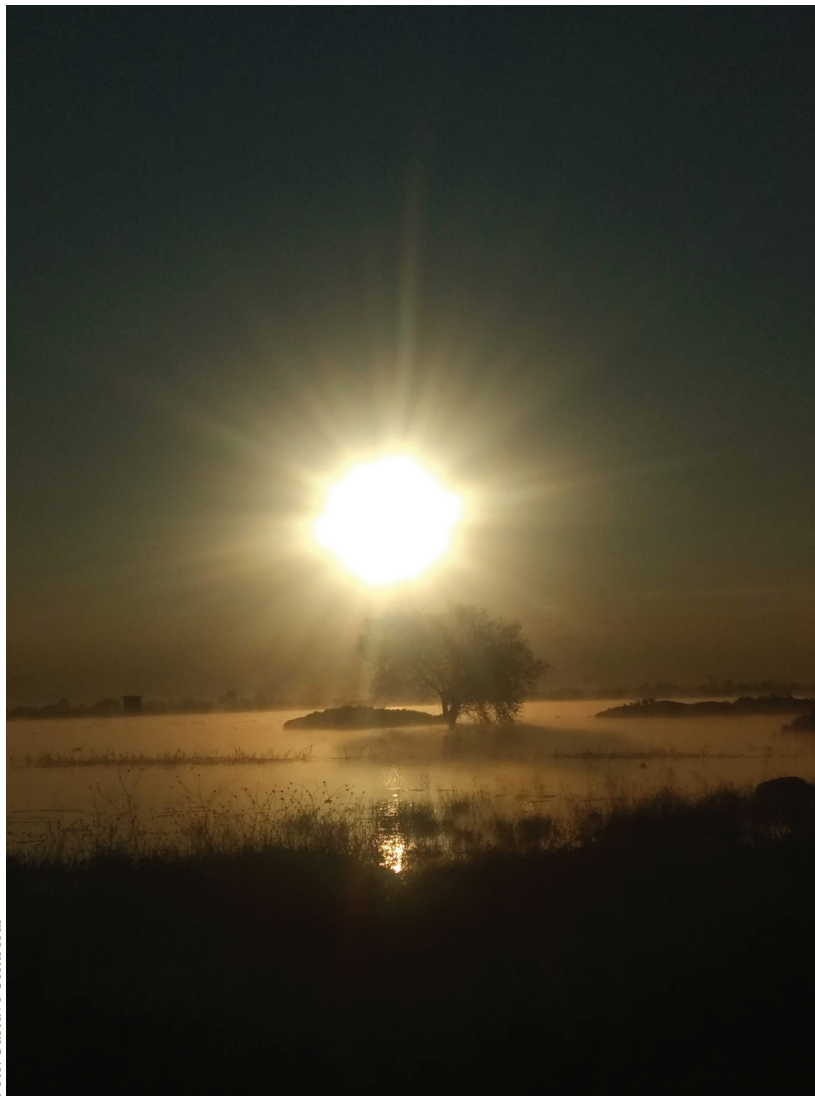
Tabla 3. Escala de medición del índice de calidad del agua (ICA) NSF

Rango del índice	Descripción de la calidad del agua
<50	Excelente calidad
50-100	Buena calidad
100-200	Mediana calidad
200-300	Mala calidad
>300	Muy mala calidad



EL OBJETIVO DEL TRABAJO FUE DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Foto: Gustavo Contreras



En el estudio se observó la existencia de factores antrópicos que alteran la calidad fisicoquímica del agua subterránea, principalmente por la incorporación de especies iónicas (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y PO_4^{3-}), provenientes de agua residual doméstica depositada en letrinas, las cuales pueden migrar hacia los pozos someros.

El agua de los pozos El Sitio y Pueblo Nuevo se consideran de calidad excelente; sin embargo, los parámetros considerados no son suficientes para el uso y consumo humano. De acuerdo con la cercanía y la poca profundidad de los pozos, puede existir interacción entre los dos recursos hídricos, por lo que se requiere de un estudio hidrodinámico, así como un análisis fisicoquímico más completo. 



Referencias

- Ashraf, Muhamad Aqeel, Mohd. Jamil Maah e Ismail Yusoff (2012). "Morphology, geology and water quality assessment of former tin mining catchment", en *The Scientific World Journal*, vol. 2012, 1-15. <<https://doi.org/10.1100/2012/369206>>.
- Baluch, Mansoor A. y Hashmi Nisar Hashmi (2019). "Investigating the Impact of Anthropogenic and Natural Sources of Pollution on Quality of Water in Upper Indus Basin (UIB) by Using Multivariate Statistical Analysis", en *Journal of Chemistry*, vol. 2019, 1-9. <<https://doi.org/10.1155/2019/4307251>>.
- Campoblanco Díaz, Honorio y Julia Gomero Torres (2000). "Importancia de los ríos en el entorno ambiental", en *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, vol. 3, núm.5, 57-63. <<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2539>>.
- Castro, Mario et al. (2014). "Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel Global", en *Ingeniería Ambiental*, vol. 10, núm.17, 111-124. <<https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>>.
- Dunca, Andreea-Mihaela (2018). "Water Pollution and Water Quality Assessment of Major Transboundary Rivers from Banat (Romania)", en *Journal of Chemistry*, vol. 2018, 1-8. <<https://doi.org/10.1155/2018/9073763>>.
- Goher, Mohamed E. et al. (2014). "Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt", en *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 40, núm. 3, 225-233. <<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2014.09.001>>.
- Hernández Jiménez, Cristina et al. (2018). "Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua purificada en Reynosa, Tamaulipas", en *Biocencia*, vol. 20, núm. 1, 41-46. <<https://doi.org/10.18633/biotech.v20i1.528>>.
- Hernández V., Nélida C. (2018). "El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión", en *Terra Nueva Etapa*, vol. 34, núm. 56, 1-30. <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72157132006>>.
- INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal. Amatepec, México. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15008.pdf>.
- Oyarzún, Ricardo et al. (2015). "A hydrogeochemistry and isotopic approach for the assessment of surface water-groundwater dynamics in an arid basin: the Limarí watershed, North-Central Chile", en *Environmental Earth Sciences*, vol. 73, 39-55. <<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3393-4>>.
- Zakaullah y Naeem Ejaz (2020). "Investigation of the Soan River Water Quality Using Multivariate Statistical Approach", en *International Journal of Photoenergy*, vol. 2020, 1-15. <<https://doi.org/10.1155/2020/6644796>>.



Alicia Abigahil Muñoz Ramírez es egresada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. Actualmente cursa el cuarto semestre de la Maestría en Ciencias Ambientales en la Facultad de Química de la misma institución.



R. María Guadalupe Fonseca Montes de Oca es profesora-investigadora del IITCA. Colabora en los Posgrados de Ciencias del Agua, Ciencias Ambientales y Calidad Ambiental de la UAEMéx. Sus áreas de investigación son: la calidad fisicoquímica y la contaminación del agua.



Guadalupe Vázquez Mejía es profesora-investigadora del IITCA. Colabora en los posgrados de Ciencias del Agua y Ciencias Ambientales de la UAEMéx. Sus áreas de investigación son la remoción de contaminantes por técnicas de adsorción y procesos de recuperación aplicando procesos de oxidación avanzada.



Rosa María Fuentes Rivas es profesora de la Facultad de Ingeniería. Colabora en los posgrados de Ciencias Ambientales de la UAEMéx, IPICYT (Geociencias aplicadas) y TECNM (Ingeniería Ambiental). Sus áreas de investigación son la calidad y los procesos hidrogéocímicos del agua.