

EN

Analysis of a body of water located in the community of San Jerónimo Amanalco, Estado de México, Mexico

ES

Análisis de un cuerpo de agua localizado en la comunidad de San Jerónimo Amanalco, Estado de México, México

Diego Domínguez-Solís*, Héctor Guadalupe Ramírez-Escamilla, Lorena Elizabeth Campos-Villegas

Instituto Politécnico Nacional (IPN), Biociencias e ingeniería, Ave. Luis Enrique Erro s/n, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México.

Abstract

The San Jerónimo Amanalco river, located in Texcoco, Mexico, is an important area due to fish farming practices and its role as a recreational area. An analysis of the physicochemical conditions of a body of water was conducted with the objective of determining whether the river's physicochemical characteristics meet the current applicable regulations to identify the Water Quality Index (WQI), the best coagulant for potential treatment, and the causes of contamination. A physicochemical analysis of the water from the San Jerónimo Amanalco river is presented. The following variables were obtained: turbidity (11.7 NTU), pH (5.96), conductivity ($105 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), temperature ($21.6 \text{ }^\circ\text{C}$), total solids ($470 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), total hardness ($44 \text{ mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$), chlorides ($8.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nitrates ($44.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), initial dissolved oxygen ($6.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), total acidity ($163.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), phosphates ($2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), chemical oxygen demand (COD) ($81.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), and biological oxygen demand after 5 days (BOD_5) ($23.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Additionally, a Water Quality Index (WQI) of 42 was determined. Based on this, it was concluded that the water body has "poor" quality. Through the jar test, ferric chloride was identified as the best coagulant for clarification and treatment. It is concluded that the water can be used for agricultural and indirect purposes, but it is not suitable for drinking.

*Corresponding author:
ddominguez1800@alumno.ipn.mx

ORCID ID: 0000-0001-8402-5157

Received: May 16, 2024

Accepted: September 09, 2024

DOI:

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.06>

Keywords: Water analysis, water consumption, waterresources (thesauri); and agricultural activities.

Resumen

El río de San Jerónimo Amanalco, Texcoco, México, es una zona de relevancia por las prácticas de piscicultura y por ser un área de recreación. Se realizó un análisis de las condiciones fisicoquímicas que posee un cuerpo de agua para plantear como objetivo el determinar si las características fisicoquímicas del río cumplen con la normativa aplicable vigente con el fin de identificar el índice de calidad del agua (ICA), el mejor coagulante para su posible tratamiento y las causas de contaminación. Se presenta un análisis fisicoquímico del agua proveniente del río en San Jerónimo Amanalco. Como resultado se obtuvieron las siguientes variables: turbidez (11.7 NTU), pH de (5.96), conductividad ($105 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), temperatura ($21.6 \text{ }^\circ\text{C}$), sólidos totales ($470 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), dureza total ($44 \text{ mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$), cloruros ($8.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nitratos ($44.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), oxígeno disuelto inicial ($6.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), acidez total ($163.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), fosfatos ($2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), demanda química de oxígeno (DQO) ($81.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y la demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO_5) ($23.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), además, se determinó un índice de calidad del agua (ICA) de 42, con base en lo anterior, se determinó que el cuerpo de agua es de calidad "mala" y mediante la prueba de jarras se identificó que el cloruro férrico fue el mejor coagulante para la clarificación y tratamiento. Se concluye que, el agua puede ser utilizada para actividades agrícolas y de uso indirecto, más no es apta para ingerirla.

Palabras clave: Análisis del agua, consumo de agua, recursos hídricos (tesauros); y actividades agrícolas.

Please cite this article as follows (APA 7): Domínguez-Solís, D., Ramírez-Escamilla, H. G., Campos-Villegas, L. E. (2024). Analysis of a body of water located in the community of San Jerónimo Amanalco, Estado de México, Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(2). doi: <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.06>

Introduction

Water quality is determined by the content of mineral substances and physicochemical properties; this composition varies according to the intended use, since quality standards are stricter for human consumption than for industrial processes (Robles et al., 2013). In Mexico, many bodies of water have been used or transformed into recreational centers, each with different uses but facing a shared challenge: pollution. Even in recreational areas, visitor activities and commercial facilities can negatively impact the surrounding water quality.

The present study focused on the San Jerónimo Amanalco river, which is located in the town with the same name in the municipality of Texcoco. This river is part of a fluvial system that is integrated with other bodies of water, all located in the Texcoco aquifer (code 1507), according to the Geographic Information System for Groundwater Management of the CONAGUA, the aquifer extends across the central-eastern region of Estado de México, covering an area of 934 km², most of this flow is located in the municipalities of Chicoloapan, Chimalhuacán, Chiconcuac, Papalotla, Atenco, Chiautla, Ixtapaluca, Nezahualcóyotl, La Paz and Tepetlaoxtoc, while to a lesser extent it extends to Acolman, Ecatepec de Morelos and Tezoyuca (Comisión Nacional del Agua, 2020).

The water from the San Jerónimo Amanalco river is used for domestic and agricultural purposes, as well as for consumption by nearby residents. This water originates from a spring, forming a river that the local population uses. Because of the importance of this body of water, the objective of this study was to determine whether the physicochemical characteristics of the river meet current applicable regulations to identify the water quality index (WQI), the best coagulant for possible treatment, and the causes of pollution.

Methodological approach

To assess the water quality, after conducting a site survey, a sampling plan was designed. On-site analysis was carried out to measure levels of dissolved oxygen (DO), hydrogen potential (pH), temperature, and turbidity, and these were correlated with the activities of the residents observed during sampling. It is important to note that the San Jerónimo Amanalco river lacks historical data on physicochemical characterization studies.

Sampling plan

A total of nine sampling points were selected, each separated by 15-meter intervals, to obtain representative samples (Figure 1). Glass containers were used for

Introducción

La calidad del agua se determina por el contenido de sustancias minerales y sus propiedades fisicoquímicas, esta composición varía según el uso previsto, ya que los estándares de calidad son más estrictos para el consumo humano que para los procesos industriales (Robles et al., 2013). En México, numerosos cuerpos de agua han sido utilizados o transformados en centros recreativos, aunque sus usos son diferentes y comparten un problema común: la contaminación, debido a que incluso en los centros recreativos, las actividades de los visitantes o las instalaciones comerciales pueden afectar negativamente la calidad del agua circundante.

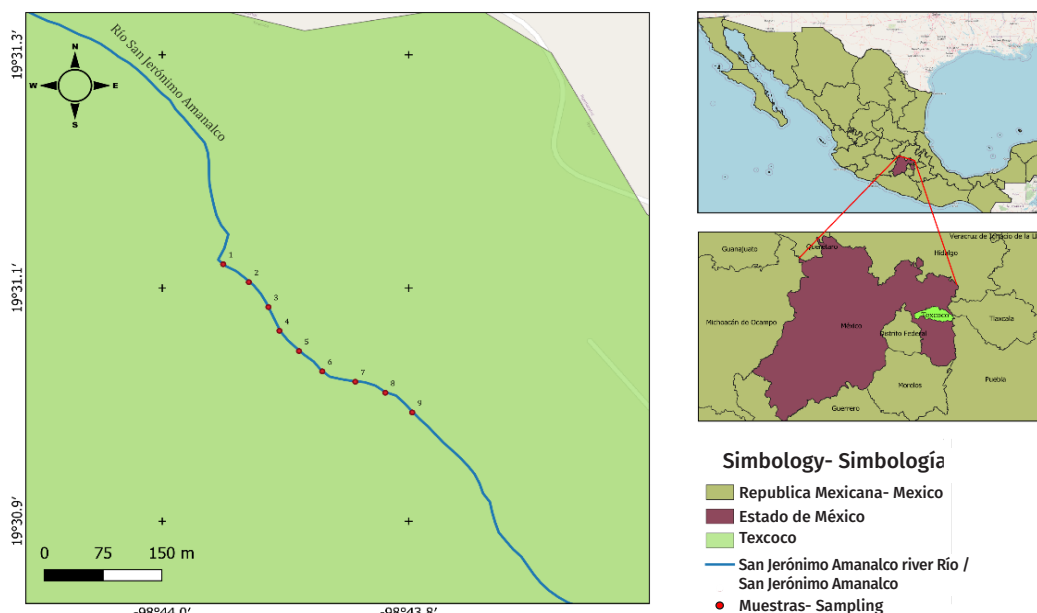
La presente investigación se centró en el río San Jerónimo Amanalco, que se encuentra en la localidad homónima dentro del municipio de Texcoco. Este río forma parte de un sistema fluvial que se integra con otros cuerpos de agua, todos ubicados en el acuífero de Texcoco (clave 1507), según el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Agua Subterránea de la CONAGUA, el acuífero se extiende en el centro-oriente del Estado de México, abarcando una superficie de 934 km², la mayor parte de este caudal se encuentra en los municipios de Chicoloapan, Chimalhuacán, Chiconcuac, Papalotla, Atenco, Chiautla, Ixtapaluca, Nezahualcóyotl, La Paz y Tepetlaoxtoc, mientras que en menor medida se extiende a Acolman, Ecatepec de Morelos y Tezoyuca (Comisión Nacional del Agua, 2020).

El agua perteneciente al río de San Jerónimo Amanalco es utilizada para uso doméstico, agrícola y para consumo de los pobladores aledaños, esta agua que surge del manantial brota formando un río donde los pobladores hacen uso de él. Por la importancia que tiene este cuerpo de agua, el objetivo del estudio fue determinar si las características fisicoquímicas del río cumplen con la normativa aplicable vigente con el fin de identificar el índice de calidad del agua (ICA), el mejor coagulante para su posible tratamiento y las causas de contaminación.

Enfoque metodológico

A fin de conocer la calidad del agua, una vez realizado el reconocimiento de la zona se diseñó el muestreo, se procedió *in situ* al análisis para conocer los niveles de oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), temperatura y turbiedad, y relacionarlos con las actividades que los pobladores llevan a cabo, y que se observaron durante el muestreo. Cabe señalar que el río de San Jerónimo Amanalco no cuenta con datos históricos de estudios de caracterización fisicoquímica.

Figure 1. Sampling points (1-9) established in the Amanalco river.
Figura 1. Puntos de muestreo (1-9) establecidos en el río de Amanalco



Source: Compiled by the authors.

Fuente: Elaboración propia.

sample collection, with nine 500 mL samples taken in total. Each sample was labeled with temperature data, sampling point location, date, and time, and preserved at 4°C for transport. The collected samples were then combined to form a composite sample for subsequent analysis.

For the physicochemical analysis, Mexican standards were used as a reference to determine each parameter (Table 1) and in each *in situ* station, pH was measured with a HI1230B potentiometer, temperature was recorded with a mercury thermometer and turbidity with a nephelometer.

The jar test was conducted following the method outlined in ASTM D2035:08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test Water. Two tests were performed: one with ferric chloride (FeCl_3) and another with aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) to determine the optimal coagulant concentration and dose for water clarification and organic matter removal, and to identify the best coagulant for BOD, turbidity, and water clarification (Sette, 1996) from the San Jerónimo Amanalco river. The behavior of the water sample was observed upon the addition of the coagulant, and the test was concluded after 20 minutes.

Calculation of the AQI value: Brown's methodology was used, in which specific weights were assigned to each parameter, the result was the linear sum of the sub-indices, which was expressed mathematically as follows:

Plan de muestreo

Se seleccionaron nueve puntos de muestreo separados, cada uno por intervalos de 15 m de distancia, a fin de obtener muestras representativas (Figura 1). Para la recolección de muestras se usaron recipientes de vidrio, y se tomaron nueve muestras de 500 mL cada una, se etiquetaron con datos de temperatura, ubicación del punto de muestreo, fecha y hora y se preservaron a 4 °C, para su traslado. Con las muestras obtenidas se formó una muestra compuesta para su posterior análisis.

Para el análisis fisicoquímico se usaron como referencia las normas mexicanas para determinar cada parámetro (Cuadro 1) y en cada estación *in situ*, se midió el pH con un potenciómetro HI1230B, la temperatura se registró con un termómetro de mercurio y la turbidez con un nefelómetro.

La prueba de jarras se realizó con base al método establecido en la norma ASTM D2035:08 Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test Water. Se realizaron dos pruebas, una con cloruro férrico (FeCl_3) y otra con sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) con la finalidad de determinar la concentración de coagulante y la dosis óptima, para el tratamiento de clarificación y eliminación de materia orgánica y determinar el mejor coagulante de la DBO, la turbidez y clarificación del agua (Sette,1996), colectada del río de San Jerónimo Amanalco. Se observó el comportamiento de la mues-

Table 1. Applicable methods used to determine physicochemical parameters.
Cuadro 1. Métodos aplicables para la determinación de parámetros fisicoquímicos.

Parameter / Parámetro	Standard for the method used / Norma del método empleado
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
Conductivity / Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000
Turbidity / Turbidez	NMX-AA-038-SCFI-2001
Total solids (TS) / Sólidos totales (ST)	
Total volatile solids (TVS) / Sólidos totales volátiles (STV)	NMX-AA-034-SCFI-2015
Total dissolved solids (TDS) / Sólidos totales disueltos (STD)	
Total suspended solids (TSS) / Sólidos totales suspendidos (STS)	
Hardness / Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001
Total acidity/ Acidez total	NMX-AA-036-SCFI-2001
Chlorides / Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001
Nitrates / Nitratos	Colorimetric method of cadmium reduction for nitrate-nitrogen
BOD ₅ / DBO ₅	NMX-AA-028-SCFI-2001
COD / DQO	NMX-AA-030/1-SCFI-2012

$$ICA_a = \frac{\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)}{\sum_{i=1}^n (w_i)} \quad (1)$$

Where:

w_i ; Relative weights assigned to each parameter

Sub_i ; Subindex of parameter i

The relative weights of the parameters determined by Corrales & Fung (2017) were used to calculate the WQI (Table 2).

Once the value of the subindex i was obtained for each parameter, it was multiplied by its corresponding relative weight and the sum was calculated, which is substituted in Equation 1.

Results and Discussion

The chain of custody shown in (Table 3) is a documented procedure that guarantees that water samples are handled properly, it records data such as: time, temperature, pH, turbidity and volume of the sampling carried out for the San Jeronimo river, Amanalco on August 25, 2020.

tra de agua al agregarse el coagulante, al concluir el tiempo de la prueba (20 min)

Cálculo del valor del ICA: Para esto se utilizó la metodología de Brown, en la cual se asignaron pesos específicos a cada parámetro, el resultado fue la suma lineal de los subíndices lo que se expresó matemáticamente de la manera siguiente:

$$ICA_a = \frac{\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)}{\sum_{i=1}^n (w_i)} \quad (1)$$

Donde:

w_i ; Pesos relativos asignados a cada parámetro

Sub_i ; Subíndice del parámetro i

Se utilizaron los pesos relativos de los parámetros determinados por Corrales & Fung (2017) para calcular el ICA (Cuadro 2).

Una vez obtenido el valor del subíndice i para cada parámetro se multiplicó por su peso relativo correspondiente y se realizó la sumatoria, la cual se sustituye en la Ecuación 1.

Table 2. Relative weights for each parameter of water quality index (WQI).**Cuadro 2. Pesos relativos para cada parámetro del índice de calidad del agua (ICA).**

I	Parameter / Parámetro	w_i
1	pH	0.12
2	BOD ₅ /DBO ₅	0.10
3	Nitrates / Nitratos	0.10
4	Phosphates / Fosfatos	0.10
5	Temperature / Temperatura	0.10
6	Turbidity / Turbidez	0.08
7	Total dissolved solids / Sólidos disueltos totales	0.08
	$\sum_{i=1}^n (w_i)$	0.68

Source: Corrales & Fung (2017) / Fuente: Corrales & Fung (2017)

Table 3. Sampling results and chain of custody for the San Jerónimo Amanalco river water.**Cuadro 3. Resultados del muestreo y cadena de custodia del agua del río de San Jerónimo, Amanalco.**

Sampling point / Punto de muestreo	Time / Hora	Temperature (°C)/ Temperatura (°C)	pH	Turbidity / Turbidez	Sampling volume (mL) / Volumen de muestra (mL)
1	10:38	13	5.45	12.1	500
2	10:43	15	5.45	10.2	500
3	10:48	16	5.65	10.2	500
4	10:53	13	6.12	11.5	500
5	10:58	16	6.32	9.9	500
6	11:03	14	5.94	10.4	500
7	11:08	13	5.86	11.8	500
8	11:13	16	6.40	10.5	500
9	11:20	16	6.35	12.4	500

The results of the experimental analysis for the determined parameters are shown in Table 4, which presents the chemical characterization of the composite sample. These results are compared with the NOM-127-SSA1-1994 standards in (Table 5).

The results of the jar test indicate that ferric chloride was the most effective coagulant. Figures 2-4 show the behavior of the sample upon the addition of the coagulant, following the 20-minute test period.

According to (Figure 2), the pH showed a concentration-dependent behavior, with a reduction of 3.7 %

Resultados y discusión

La cadena de custodia que se muestra en el (Cuadro 3) se trata de un procedimiento documentado que garantiza que las muestras de agua se manejan de manera adecuada, en ella se registran datos como: hora, temperatura, pH, turbidez y volumen del muestreo realizado para el río de San Jerónimo, Amanalco el 25/08/2020.

Los resultados del análisis experimental para los parámetros determinados se muestran en el Cuadro 4, es decir, se presenta la caracterización química de la

Table 4. Experimental results of the physicochemical parameters determined for the San Jerónimo Amanalco river.
Cuadro 4. Resultados experimentales de los parámetros fisicoquímicos determinados para el río de San Jerónimo Amanalco.

Parameter / Parámetro	Result / Resultado	Units / Unidades
pH	5.96	-
Electrical conductivity / Conductividad eléctrica	105	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Turbidity / Turbidez	11.7	NTU
Dissolved solids (TDS) / Sólidos disueltos (SDT)	350	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Total suspended solids (TSS)/ Sólidos suspendidos (SST)	120	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Total solids (TS) / Sólidos totales (ST)	470	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Volatile solids (VS) / Sólidos volátiles (SV)	235	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Settleable solids (SS) / Sólidos sedimentables (SS)	0.2	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Total hardness / Dureza total	44	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Total acidity / Acidez total	163.33	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Chlorides / Cloruros	8.9	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Nitrates / Nitratos	44.3	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Phosphates / Fosfatos	2	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Initial dissolved oxygen / Oxígeno disuelto inicial	6.95	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
BOD ₅ / DBO ₅	23.4	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
COD / DQO	81.56	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

(from 7 to 6.74) using 40 ppm of FeCl_3 . Figure 3 shows that turbidity also decreased with increasing FeCl_3 concentration, reducing by 86.25% (from 12 NTU to 1.65 NTU). Finally, Figure 4 indicates that the volume of settleable solids removed increased linearly to 3 mL·L⁻¹.

Turbidity was 2.3 times higher than the maximum permissible limit (MPL), due to the presence of solids

muestra compuesta, los cuales son comparados con la NOM-127-SSA1-1994 en el Cuadro 5.

Los resultados de la prueba de Jarras indican que el mejor coagulante fue el cloruro férrico. En las Figuras 2-4 se presenta el comportamiento de la muestra al agregarse el coagulante, al concluir el tiempo de la prueba (20 min).

Figure 2. Ferric chloride concentration vs. pH
Figura 2. Concentración de cloruro férrico contra pH

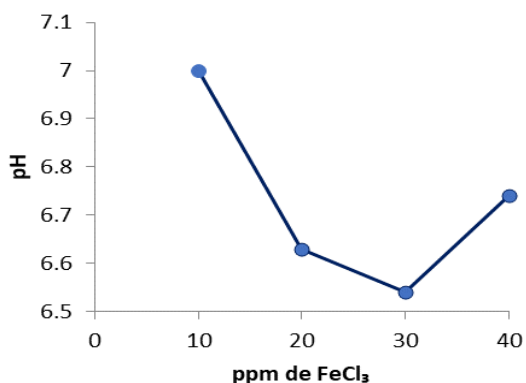


Figure 3. Ferric chloride concentration vs. turbidity
Figura 3. Concentración de cloruro férrico contra turbidez

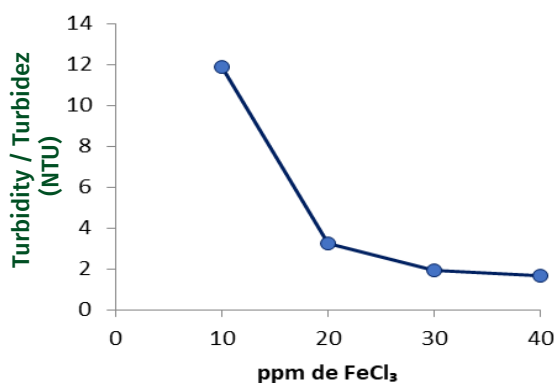
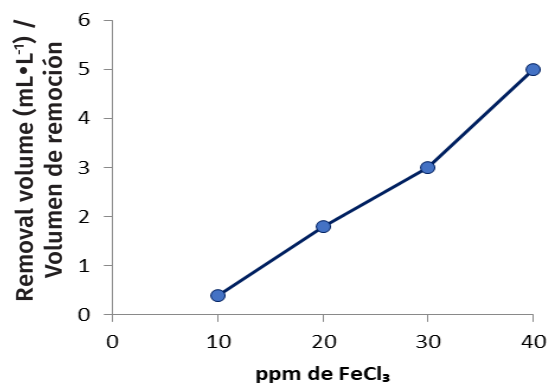


Figure 4. Concentration of ferric chloride versus settleable solids removed**Figura 4.** Concentración de cloruro férrico contra sólidos sedimentables removidos**Table 5.** Comparison of standard physicochemical parameters (NOM-127-SSA1-1994) and those obtained for the water of the San Jerónimo Amanalco river.**Cuadro 5.** Comparación de los parámetros fisicoquímicos normados (NOM-127-SSA1-1994) y los obtenidos para el agua del río de San Jerónimo Amanalco.

Parameter/ Parámetro	NOM-127-SSA1-1994	Experimental result / Resultado experimental	Units / Unidades	Meets maximum permissible limit (MPL) / Cumple con el límite máximo permisible (LPM)
Turbidity / Turbidez	5	11.7	NTU	No
pH	6.5-8.5	5.96	-	No
Total dissolved solids (TDS) / Solidos totales disueltos	1000	350	mg·L ⁻¹	Yes / Sí
Total harness / Dureza total	500	44	mg·L ⁻¹	Yes / Sí
Nitrates / Nitratos	10	44.3	mg·L ⁻¹	No
Chlorides / Cloruros	250	8.9	mg·L ⁻¹	Yes / Sí

in the water. Moreno (2016) mentions that the main cause of high turbidity is the dispersion of clay, which is a consequence of the dragging of small fragments of soil by the river flow that are suspended in the body of water. Sigler & Bauder, (2012), indicate that total dissolved solids are the sum of dissolved minerals, metals and salts in the water and are a good indicator of water quality. The pH indicates that the river water is relatively acidic water, as a result of atmospheric sedimentation, dissolution of CO₂ from pollution near the river, such as that of nearby cities, which are home to industries and high influx of transportation, consumer of a large amount of fossil fuels that cause the release of carbon dioxide, sulfur oxide and nitrogen into the atmosphere giving way to acid rain (Garcés & Hernández, 2004).

The quantity of nitrates (44.3 mg·L⁻¹) exceeded 4.43 times the MPL, the high presence of nitrates is at-

De acuerdo con la Figura 2, el pH mostró un comportamiento dependiente de la concentración y con 40 ppm de FeCl₃ el pH se redujo un 3.7 % (de 7 a 6.74). En la Figura 3, se muestra que también la turbidez disminuyó con el incremento de FeCl₃ en un 86.25 % (de 12 NTU a 1.65 NTU), y finalmente se observa en la Figura 4 que el volumen de sólidos sedimentables removidos aumentó de manera lineal a 3 mL·L⁻¹.

La turbidez fue 2.3 veces mayor al límite máximo permisible (LMP), esto debido a que en el agua existió la presencia de sólidos, Moreno (2016), menciona que la causa principal de una turbidez alta es la dispersión de arcilla, lo anterior es consecuencia del arrastre de pequeños fragmentos del suelo por parte del caudal del río que se suspenden en el cuerpo de agua. Sigler & Bauder, (2012), indican que los sólidos disueltos totales son la suma de los minerales, metales y sales

tributed to the different agricultural activities of the community near the river where fertilizers are used. According to Gonzales (2019), the use of fertilizers causes nitrate leaching in surface and groundwater. On the other hand, the level of chlorides does not exceed the MPL, according to Hong et al. (2023), the presence of chlorides in a river may be mainly due to the discharge of wastewater, product of the domestic activities of the inhabitants of Amanalco.

Water hardness is produced by calcium and magnesium salts (Julián-Soto, 2010). Total hardness determined is within the MPL, which indicates that the water can be used for domestic activities without the risk of clogging the pipes. Jiménez (2001) mentions that hardness of 80-100 mg·L⁻¹ is acceptable for drinking water, total hardness of the water sample was 44 mg·L⁻¹ below the 80 mg·L⁻¹ referred to in the MPL.

For dissolved oxygen (DO) the levels of this gas in the water result from air diffusion in the environment and photosynthesis of aquatic organisms (Carrillo, 2012), the valuation obtained for the river in Amanalco (6.95 mg·L⁻¹) is above the 5 mg·L⁻¹ criterion established by the Environmental Protection Agency (EPA) as a minimum for wastewater, which indicates that there is enough dissolved oxygen in the water to maintain aquatic fauna and to preserve its self-regenerating capacity, so it is extremely important to design a management plan to stop pollution and maintain the minimum conservation condition of the flow.

According to that published by the Water Quality Management (2019) the main surface water quality parameters and recommended values, among other variables stand out: BOD₅, COD and total suspended solids (TSS). For the San Jeronimo Amanalco river, the BOD₅ level obtained is 23.4 mg·L⁻¹ which is within the acceptable range (6 mg·L⁻¹<BOD₅<30 mg·L⁻¹); and according to the Water Quality Management (2019) shows signs of pollution, as for the COD of 81.56 mg·L⁻¹ obtained, it is indicative of polluted water with intermediate condition (40 mg·L⁻¹<COD<200 mg·L⁻¹). However, as a consequence of certain municipal wastewater discharges, the San Jerónimo Amanalco river has an initial stage of pollution, as stated by other studies carried out in water systems that make up the hydrological basin to which it belongs, Table 6, such as the Texcoco river (Guzmán-Quintero et al., 2007), Temoaya river (Trejo-De la Mora, 2015), and Tula river (Montelongo et al. 2007) where they conducted studies on surface water pollution by wastewater discharges, results that compare with those obtained for the San Jerónimo Amanalco river.

From the studies that have already been conducted on water quality in both aquatic systems (San Jerónimo

disueltos en el agua y son un buen indicador de la calidad del agua. El pH indica que el agua del río es agua relativamente ácida, esto como resultado de la sedimentación atmosférica, la disolución del CO₂ de la contaminación cercana al río, como es la de las ciudades cercanas, que albergan industrias y alta afluencia de transporte, consumidor de una gran cantidad de combustibles fósiles que provocan la liberación de bióxido de carbono, óxido de azufre y de nitrógeno a la atmósfera dando paso a la lluvia ácida (Garcés & Hernández, 2004).

La cantidad de nitratos (44.3 mg·L⁻¹) rebasó 4.43 veces el LMP, la alta presencia de nitratos es atribuida a las diferentes actividades agrícolas de la comunidad cercana al río donde se emplean fertilizantes. Según Gonzáles (2019), el uso de fertilizantes provoca la lixiviación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas. Por otro lado, la cantidad de cloruros no rebasa el LMP, según Hong et al. (2023), la presencia de cloruros en un río puede deberse principalmente al vertido de aguas residuales, producto de las actividades domésticas de los pobladores de Amanalco.

En cuanto a la dureza del agua, esta es producida por las sales de calcio y magnesio (Julián-Soto, 2010). La dureza total determinada se encuentra dentro de LMP, lo cual indica que el agua puede ser utilizada en actividades domésticas, sin riesgo a que existan taponamientos en las tuberías. Jiménez (2001), menciona que una dureza de 80-100 mg·L⁻¹ es aceptable para agua potable, la dureza total de la muestra de agua fue de 44 mg·L⁻¹ por debajo de los 80 mg·L⁻¹ a los que se hace referencia en el LMP.

Para el oxígeno disuelto (OD) los niveles de este gas en el agua resultan de la difusión del aire en el entorno y la fotosíntesis de los organismos acuáticos (Carrillo, 2012), la valoración obtenida para el río en Amanalco (6.95 mg·L⁻¹) está por arriba del criterio de 5 mg·L⁻¹ establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como mínimo para aguas residuales, esto indica que existe suficiente oxígeno disuelto en el agua para mantener fauna acuática y para conservar su capacidad de autoregeneración, por lo que es de suma importancia diseñar un plan de manejo que detenga la contaminación y permita mantener la condición mínima de conservación al caudal.

De acuerdo con lo publicado por la Gerencia de Calidad del Agua (2019) los principales parámetros de calidad del agua superficial y valores recomendados, entre otras variables destacan: DBO₅, DQO y los sólidos suspendidos totales (SST). Para el río San Jerónimo Amanalco el nivel obtenido de DBO₅ es de 23.4 mg·L⁻¹ que se encuentra dentro del rango aceptable (6 mg·L⁻¹<DBO₅

Table 6. Physicochemical parameters of different bodies of water and those obtained in the present study. Cuadro 6. Parámetros fisicoquímicos de distintos cuerpos de agua y los obtenidos en el presente estudio.

Physicochemical parameter / Parámetro fisicoquímico	Texcoco river* / Río Texcoco	Temoaya river** / Río Temoaya	Tula river / Río Tula	San Jerónimo Amanalco river / Río San Jerónimo Amanalco	Units / Unidades
Temperature / Temperatura	20.5-22.4	10.9-15.7	-	13-16	°C
pH	6.4-8	6.3-7.1	7.45-8.34	5.96	
Total dissolved solids (TDS) / Sólidos disueltos totales (SDT)	356-595	128-149.3	632	350	mg·L ⁻¹
Nitrates / Nitratos	21-60	-	6.24	44.3	mg·L ⁻¹
BOD ₅ / DBO ₅	24.3-753.5	-	1.16-486.81	23.4	mg·L ⁻¹
Electrical conductivity / Conductividad eléctrica	712.7-1193.3	90-158.2	211-1425	105	µS·cm ⁻¹

*Interval for 14 points with discharge. **Interval for 4 points with discharge. / *Intervalo para 14 puntos con descarga. **Intervalo para 4 puntos con descarga

Source: Compiled by the authors with information from Guzmán-Quintero (2007), Trejo-De la Mora (2015), and Montelongo et al. (2007).

Fuente: Elaboración propia con información de Guzmán-Quintero (2007), Trejo-De la Mora (2015), y Montelongo et al. (2007).

and Texcoco rivers) it is possible to observe that for all the parameters determined except nitrates, the levels of the San Jerónimo Amanalco river are below the lower end reported for the Texcoco water system, this indicates that the aquatic system of the community of San Jerónimo Amanalco is in an initial process of depletion and risk for flora and fauna compared to that reported from the Texcoco river. For the Temoaya river Trejo-de la Mora et al. (2015), concluded, that it is a high-quality water body, in the case of the Amanalco river, similar values were observed for temperature, pH and electrical conductivity except for total dissolved solids, which compared to the Temoaya river, doubled. Montelongo et al. (2007), mentioned that, for the Tula River, the results show a deterioration in water quality due to wastewater discharge, and that water can only be used for agricultural activities, in relation to the results obtained in this study for BOD₅, pH, solids and electrical conductivity, they show a similar interval which allows us to have an idea of the possible uses for this body of water.

As a tool in the estimation of water quality, it is essential to determine the value of "AQI", assign their respective relative weights (w_i) and perform the valuation of the sub-index (i), which was calculated from the interpolation of the experimentally determined results to obtain the sub-index value (i) corresponding to each parameter (Figure 5 to 11).

<30 mg·L⁻¹); y según la Gerencia de Calidad del Agua (2019) presenta indicio de contaminación, en cuanto a la DQO de 81.56 mg·L⁻¹ obtenida, es indicio de un agua contaminada con condición intermedia (40 mg·L⁻¹ <DQO < 200 mg·L⁻¹). Sin embargo, como consecuencia de algunas descargas de aguas residuales municipales, el río de San Jerónimo Amanalco se encuentra en una etapa inicial de contaminación, esto declarado por otros estudios realizados en sistemas hídricos que integran la cuenca hidrológica a la que pertenece, Cuadro 6, como es el Río Texcoco (Guzmán-Quintero et al., 2007), el Río Temoaya (Trejo-De la Mora, 2015), y Río Tula (Montelongo et al. 2007) donde realizaron estudios sobre la contaminación del agua superficial por vertidos de aguas residuales, resultados que se comparan con los obtenidos para el río de San Jerónimo Amanalco.

De los estudios que ya se han realizado sobre la calidad del agua en ambos sistemas acuáticos (Ríos San Jerónimo y Texcoco) es posible observar que para todos los parámetros determinados excepto los nitratos, los niveles del río de San Jerónimo Amanalco se encuentra por debajo del extremo inferior reportado para el sistema hídrico de Texcoco, esto permite señalar que el sistema acuático de la comunidad de San Jerónimo Amanalco se encuentra en un proceso inicial de agotamiento y riesgo para la flora y fauna con respecto a lo que está expuesto del Río Texcoco. Para el Río Temoaya Trejo-de la Mora et al. (2015), concluyó,

Figure 5. Sub-index (i) assessment in relation to pH
Figura 5. Valoración subíndice (i) en función del pH

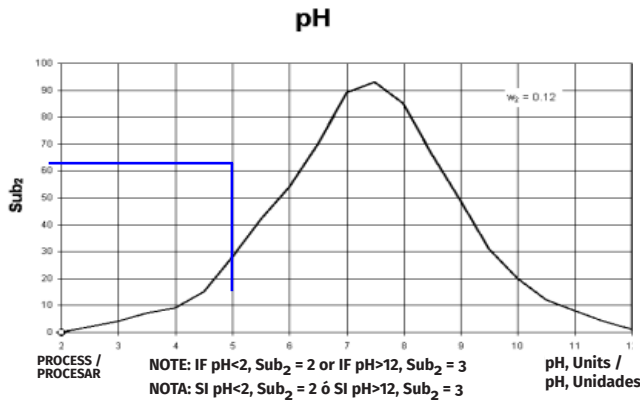


Figure 7. Sub-index (i) assessment in relation to Nitrogen
Figura 7. Valoración subíndice (i) en función del Nitrógeno

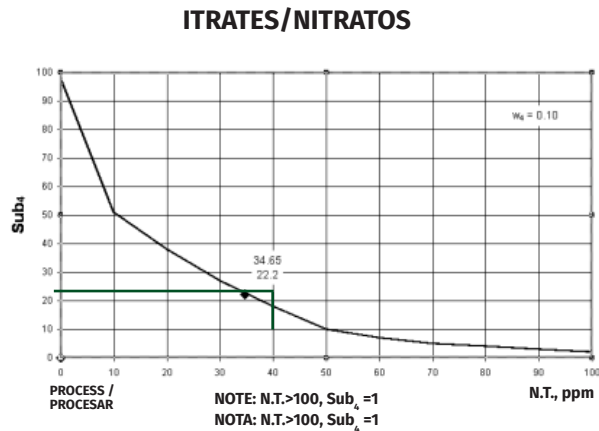


Figure 9. Sub-index (i) assessment in relation to Temperature.
Figura 9. Valoración de la calidad de agua subíndice (i) en función de la Temperatura.

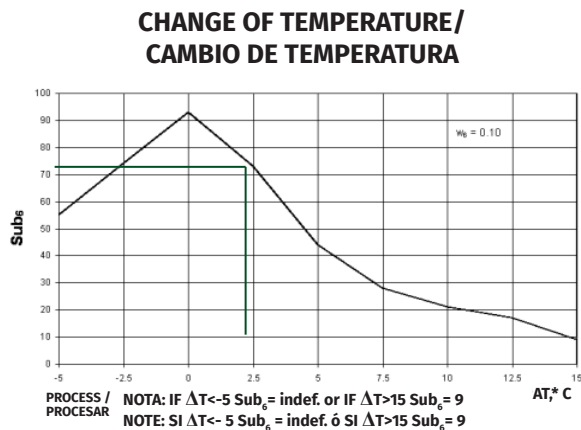


Figure 6. Sub-index (i) assessment in relation to BOD5
Figura 6. Valoración subíndice (i) en función de la DBO5

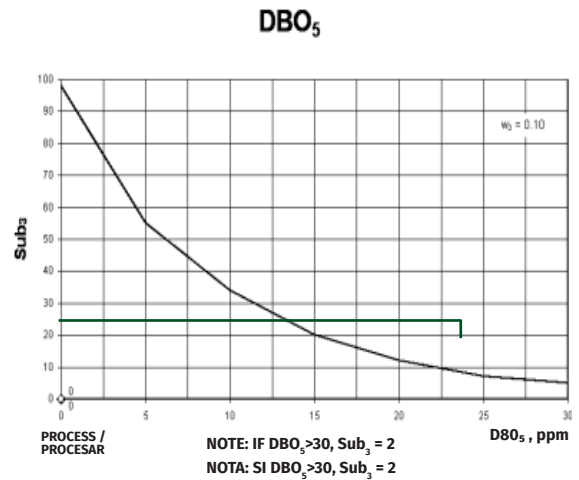


Figure 8. Sub-index (i) assessment in relation to Phosphorus
Figura 8. Valoración subíndice (i) en función del Fósforo

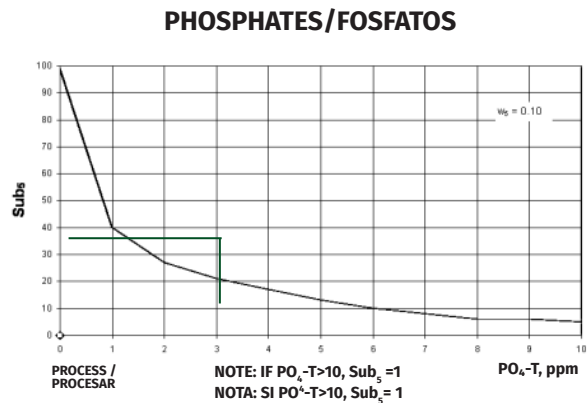


Figure 10. Sub-index (i) assessment in relation to Turbidity.
Figura 10. Valoración subíndice (i) en función de la Turbidez.

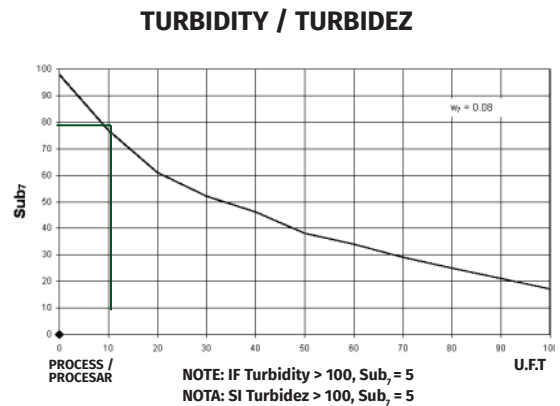


Figure 11. Sub-index (i) assessment in relation to total residue
Figura 11. Valoración subíndice (i) en función del residuo total

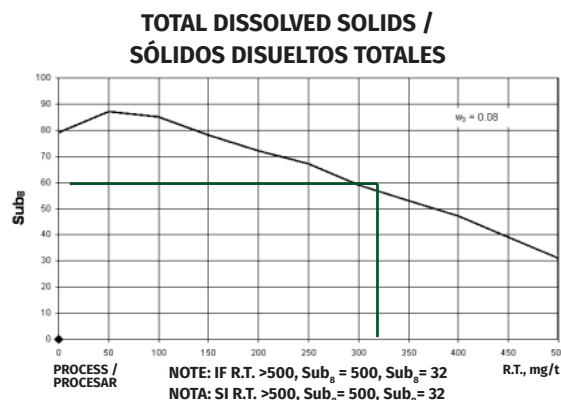


Table 7. Result of the of the subindex (i) assessment by interpolation (Figures 5 to 11).

Cuadro 7. Resultado de la valoración del subíndice (i) obtenido por interpolación (Figuras 5 a 11).

Parameter / Parámetro	Subindex i / Subíndice i	(Subindex i) (wi) / (Subíndice i) (wi)
pH	53	6.36
BOD ₅ / DBO ₅	9	0.9
Nitrates / Nitratos	14	1.4
Phosphates / Fosfatos	29	2.9
Temperature / Temperatura	69	6.9
Turbidity / Turbidez	74	5.92
Total dissolved solids / Sólidos disueltos totales	53	4.24
$\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)$		28.62

Water quality index (WQI) finally, is determined:

$$WQI_a^n = \frac{\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)}{\sum_{i=1}^n (w_i)} = \frac{28.62}{0.68}$$

$$WQI_a = 42.08$$

Where:

$\sum_{i=1}^n (w_i)$ are the relative weights assigne to each parameter (Cuadro 2).

$\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)$ is the subscript i of the parameter (Table 7).

Based on Brown’s proposal, the degree of water impairment is a direct function of the estimated water quality index, which categorizes or classifies the degree of pollution (Table 8) as follows:

que es un cuerpo de agua de buena calidad, en el caso del Río Amanalco, se observó una similitud con los valores de temperatura, pH y conductividad eléctrica con excepción de los sólidos disueltos totales que comparados con el Río Temoaya se duplicaron. Montelongo et al. (2007), mencionaron que, para el Río Tula, los resultados muestran un deterioro en la calidad del agua debido a la descarga de aguas residuales, y que el agua solo se puede utilizar para actividades agrícolas, en relación con los resultados obtenidos en este estudio para DBO₅, pH, sólidos y conductividad eléctrica, estos presentan un intervalo de similitud lo que nos permite tener una idea de los posibles usos para este cuerpo de agua.

Como herramienta en la estimación de la calidad del agua, determinar el valor del “ICA” es fundamental, asignar sus respectivos pesos relativos (w_i) y efectuar la valoración del subíndice (i) el cual se calculó a par-

Table 8. WQI classification proposed by Brown.

Cuadro 8. Clasificación del ICA propuesto por Brown.

QUALITY OF WATER / CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALUE / VALOR
Excellent/ Excelente		91 to 100 / 91 a 100
Good / Buena		71 to 90 / 71 a 90
Average / Regular		51 to 70 / 51 a 70
Poor / Mala		26 to 50 / 26 a 50
Very poor / Pésima		0 to 25 / 0 a 25

Source: Lobos, 2002. Fuente: Lobos, 2002

For this study, based on the average of the seven parameters, a WQI of 42.08 was obtained, which falls within the “poor water quality” range. A body of water in this category, according to Corrales & Fung (2017), can support a low diversity of aquatic life and indicates pollution problems.

The water quality index is between 30-49, meaning that according to Amado et al. (2006), water within this range may be suitable for industrial or agricultural use. In relation to these aquatic systems, the Amanalco river ranks third and could be considered among the group of rivers listed in Table 9. Its WQI reflects an intermediate condition, as it falls below the level of the Venados and Amajac rivers.

Conclusions

The characterization of the water flowing from the Amanalco spring allowed, based on the results obtained, to interpret that the population’s use of the water body is not appropriate. Nitrate levels, pH, and turbidity do not meet the maximum permissible limits (MPL) set by NOM-127-SSA1-1994, and it is ruled out as suitable for consumption. It is possible to conclude that drinking water from the Amanalco river could cause cyanosis in infants and health issues in the elderly.

The physicochemical characteristics of the aquatic system in the community of San Jerónimo Amanalco indicate that it is in an initial stage of depletion and poses a risk to the flora and fauna, compared to the condition sustained by the Texcoco water system.

It was determined that the condition of the stream is dominated by a higher load of non-biodegradable organic matter, which is the main cause of pollution. The identified potential sources of contamination include fertilizers, cleaning products used by residents

tir de la interpolación de los resultados determinados experimentalmente para obtener el valor de subíndice (i) correspondiente a cada parámetro (Figura 5 a 11).

El índice de calidad del agua (ICA) finalmente, se determina:

$$ICA_a = \frac{\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)}{\sum_{i=1}^n (w_i)} = \frac{28.62}{0.68}$$

$$ICA_a = 42.08$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n (w_i)$ son los pesos relativos asignados a cada parámetro (Cuadro 2).

$\sum_{i=1}^n (Sub_i * w_i)$ es el subíndice i del parámetro (Cuadro 7).

Con base a la propuesta de Brown, el grado de afectación del agua va en función directa de la estimación del índice de calidad, el cual categoriza o clasifica el grado de contaminación (Cuadro 8) de la forma siguiente:

Para este estudio en función del promedio para los siete parámetros se obtuvo un ICA de 42.08 el cual cae en el intervalo de “mala calidad de agua”, un cuerpo de agua de esta categoría según Corrales & Fung (2017) puede soportar una diversidad baja de vida acuática e indica que se tienen problemas de contaminación.

El índice de calidad del agua se encuentra entre 30-49, por lo que según Amado et al. (2006) el agua que se encuentra en este rango puede tener uso industrial o agrícola. Con respecto a estos sistemas acuáticos, el Amanalco se posiciona en el tercer lugar y podría considerarse entre el grupo de ríos del Cuadro 9, su ICA es de condición intermedia dado que se encuentra por debajo del nivel de los ríos Venados y Amajac.

Table 9. Comparison of WQI of the river under study in relation to other bodies of water.**Cuadro 9.** Comparación del ICA del río en estudio con respecto a otros cuerpos de agua

Body of water / Cuerpo de agua	Water Quality Index / Índice de Calidad del Agua
San Jerónimo Amanalco river / Río de San Jerónimo Amanalco	42.08
Tulancingo river (outlet) / Río Tulancingo (salida)	28
Venados river / Río Venados	51
Amajac river / Río Amajac	48
San Pedro river / Río San Pedro	20-30

Source: Compiled by the authors with information from Guzmán-Colis et al. (2011) and Amado et al. (2006).

Fuente: Elaboración propia con información de Guzmán-Colis et al. (2011) y Amado et al. (2006).

around the stream, as well as wastewater discharges and atmospheric emissions (NOX) from hydrocarbon use. If treatment is to be applied, the best coagulant for water clarification in the San Jerónimo Amanalco river, based on the obtained results, is ferric chloride. This coagulant reduced turbidity by 60%. The optimal dose was found to be 40 ppm of ferric chloride per 500 mL of water.

Finally, it is concluded that the water from the Amanalco river does not meet enough standards (only meeting 50 %), so it is recommended that the residents of San Jerónimo Amanalco avoid drinking it to prevent health risks unless it undergoes a purification process. On the other hand, although it cannot be consumed, its use for other activities and purposes in the field is not ruled out.

End of English version

References / Referencias

- Amado, J., Rubiños, E., Gavi, F., Alarcón, J. J., Hernández, E., Ramírez, C., Mejía, E., Pedrero, F., Nicolas, E., & Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Phyton* (Buenos Aires), 75, 71-83.
- Carrillo, P. (2012). *Comportamiento del oxígeno disuelto en dos estaciones costeras La Libertad y Manta, como aporte al conocimiento del fenómeno*. <http://hdl.handle.net/1834/4655>
- Comisión Nacional del Agua. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Texcoco (1507), Estado de México. CONAGUA, 1-41.
- Corrales, L., & Fung, E. (2017). Diseño de un Sistema de monitoreo de los co-beneficios generados por la iniciativa REDD+ MbA de El Salvador. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Conclusiones

La caracterización del agua que desprende el manantial de Amanalco, permitió con base en los resultados obtenidos interpretar que el uso que le da la población al cuerpo de agua no es el adecuado, dado que, los nitratos, pH y turbidez no cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) marcados en la NOM-127-SSA1-1994 y se descarta que sea factible consumirla, es posible señalar que ingerir el agua del río Amanalco puede provocar cuadros de cianosis en infantes y problemas de salud a personas mayores.

Las características fisicoquímicas del sistema acuático de la comunidad de San Jerónimo Amanalco permiten señalar que se encuentra en un proceso inicial de agotamiento y riesgo para la flora y fauna con respecto a la condición que soporta el sistema hídrico de Texcoco.

Se determinó que la condición del cauce está dominada por una mayor carga de materia orgánica no biodegradable, siendo la principal causante de la contaminación y las posibles fuentes identificadas serían, los fertilizantes, productos de limpieza usados por los pobladores asentados alrededor del cauce, así como vertimientos de aguas residuales y la precipitación de emisiones atmosféricas (NOX) provocadas por el uso de hidrocarburos. Si se pretende dar un tratamiento, el mejor coagulante para la clarificación del agua en el río de San Jerónimo Amanalco dados los resultados obtenidos, es el cloruro férrico que redujo la turbidez en un 60 %, se determinó que la dosis óptima es la aplicación de 40 ppm de cloruro férrico, por 500 mL de agua.

Finalmente se concluye que el agua del Río Amanalco no cumple con los estándares suficientes (solo cumple 50 %) por lo que se recomienda a los pobladores de San Jerónimo Amanalco no ingerirla para no poner en riesgo su salud a menos de que sea sometida a un proceso de

- Garcés, L. F., & Hernández, M. L. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67-72
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Asesoría Técnica Parlamentaria. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Gerencia de calidad del agua. (2019). Indicadores de calidad del agua. SEMARNAT. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBC_user=dgeia_mce&IBC_pass=dgeia_mce
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 89-102. ISSN 0188-4999
- Guzmán-Quintero, A., Palacios-Veléz, O. L., Carrillo-González, R., Chávez-Morales, J., & Nikolskii-Gavrilov, I. (2007). La contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Texcoco, México. *Agrociencia*, 385-393.
- Hong, Y., Zhu, Z., Liao, W., Yan, Z., Feng, C., & Xu, D. (2023). Freshwater Water-Quality Criteria for Chloride and Guidance for the Revision of the Water-Quality Standard in China. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 20(4), 2875. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042875>
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: UNAM y FEMISCA.
- Lobos, J., (2002). Evaluación de los Contaminantes del embalse del Cerrón Grande. s.l.:PAES.
- Montelongo, R., Gordillo, A. J., Otazo, E. M., Villagómez, J. R., Acevedo, O. A., & Prieto, F. (2008). Modelación de la calidad del agua del río Tula, Estado de Hidalgo, México. *Dyna*, 75(154), 5-18. ISSN 0012-7353.
- Moreno, S. C. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. [Tesis para título profesional Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo]. Repositorio de UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6854/moreno_ps.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Robles, E. S., Ramírez, E., Durán, Á., Martínez, M. E., & González, M. E. (2013). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Morelos, México. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 19-28.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1980). NMX-AA014-1980 Cuerpos receptores-muestreo. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166769/NMX-AA-014-1980.pdf>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua-determinación de la potabilización. Por otro lado, a pesar de que no puede ser ingerida no se descarta la posibilidad de emplearla para otras actividades y usos en el campo.
- conductividad electrolítica - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166800/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas - método de prueba. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166776/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166788/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>
- Secretaría de Economía. (2012). NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua - medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- método de prueba - parte 1 - método de reflujio abierto. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- Secretaría de Economía. (2016). NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua- medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
- Sette, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté
- Sigler, A. W., & Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. Universidad Estatal de Montana,

Fin de la versión en español

Programa de Extensión en Calidad del Agua, Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf

Soto J., (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas

sanitarias. Ingeniería, investigación y tecnología, **2010**

Trejo-De la Mora, E., Barceló-Quintar, I., Solís-Corre, H., García-Albortante, J. y Hernández-Moreno, A. (2015). Avances en la caracterización hidrológica del río Temoaya, Estado de México. 2° Congreso Nacional AMICA 2015. <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/161.pdf>