



BUAP

Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química
Colegio de Ingeniería Química



**Estudio de parámetros de calidad de agua de
pozo en una zona del municipio de Juan C.
Bonilla, Puebla**

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de licenciatura en:

INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

Dulce María Toxtli Cortés

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Mtra. Mayté Juárez Meneses

Octubre 2024



Oficio No. FIQ/AC/199/2024
Asunto: Registro de Tema de Tesis.

C. DULCE MARÍA TOXTLI CORTÉS
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la **Licenciatura en Ingeniería Química** cuyo título es el siguiente:

"Estudio de parámetros de calidad de agua de pozo en una zona del municipio de Juan C. Bonilla, Puebla"

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez.
Co-Directora de Tesis: M.I.A. Mayté Juárez Meneses.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 19 de Septiembre de 2024

Dra. Valeria Jordana González Coronel
Secretaría Académica

C.c.p. Directora de Tesis: Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez.
C.c.p. Co-Directora de Tesis: M.I.A. Mayté Juárez Meneses.
C.c.p. Archivo.

Facultad
de Ingeniería
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San
Manuel, Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72590
01 (222) 229 55 00
Exts. 7250 y 7251



BUAP

Oficio No. FIQ/DI/566/2024
Asunto: Modalidad de Titulación por Examen Profesional por Tesis.

Mtro. Ricardo Valderrama Valdez
Director de Administración Escolar de la BUAP
P r e s e n t e:

At'n: Psic. Marcela Juárez Zenteno
Jefa del Departamento de Titulación

Por este medio, me permito hacer de su conocimiento que la alumna:

Nombre completo de la alumna: **Dulce María Toxtli Cortés**
Matrícula: **201848884**
Sustentante de la Carrera en: **Ingeniería Química**
Fecha de Examen Profesional: **Viernes 15 de noviembre 2024 11:00 horas. Presencial.**

JURADO:

NOMBRE	CARGO
Dr. José Carlos Mendoza Hernández	Presidente
Dr. Guillermo Santamaría Juárez	Secretario
Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez	Vocal

NOTA: ESTE DOCUMENTO TIENE VIGENCIA POR 6 MESES A PARTIR DE LA FECHA DE SU EXPEDICIÓN.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi Buena y distinguida consideración.

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 21 de Octubre de 2024


M.I.C. Ma. Gpe. Tita Vázquez Espinosa de los Monteros
Directora



C.c.p. Archivo

Facultad de Ingeniería Química
Av. San Claudio s/n, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72590
01 (222) 229 55 00
Exts. 7250 y 7251

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que me permite continuar cada día con esperanza y salud.

A mis padres, por siempre apoyarme en cada paso de mi vida, por quererme y confiar en mí, son mi mas grande motivación en la vida, los amo.

A mis hermanas, mis más grandes cómplices, cada día me esfuerzo por ser un gran ejemplo para ustedes.

A mis abuelitas, porque reconozco todo el esfuerzo que han hecho para apoyarme, por darme valor y motivación.

A mis abuelos que desde el cielo me acompañan en este camino, que mi esfuerzo ha sido para hacerlos sentir orgullosos.

A mis tíos, por apoyarme desde niña, han estado presentes con su cariño y apoyo, gracias por sus consejos.

A mi gato Balú, me salvaste la vida hace casi 10 años, me acompañaste cada noche en que redacte este trabajo, una de mis grandes motivaciones.

A SEVENTEEN, su música siempre fue inspiración para mí.

ÍNDICE GENERAL

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	14
Objetivo general:	14
Objetivos específicos	14
HIPÓTESIS	15
ZONA DE ESTUDIO	16
CAPÍTULO I	17
ANTECEDENTES	17
1.1 Demografía de la zona	17
1.2 Clima	19
1.3 Suelos	19
1.4 Medio Ambiente.....	20
1.5 Recursos hídricos	21
1.5.1 Agua subterránea	21
1.5.2 Pozos para suministro de agua de consumo humano.....	23
1.5.3 Calidad del agua subterránea en la región.....	24
1.6 Red de agua potable y suministro	26
1.7 Especificaciones sanitarias.....	26
1.8 Contaminantes.....	32
1.8.1 Contaminación por residuos sólidos urbanos.....	32
1.8.2 Materia orgánica.....	34
1.8.3 Contaminación del agua por actividad Volcánica	34
1.8.4 Contaminación por metales.....	36
1.9 Problemas de salud debido a metales	37
1.10 Parámetros de estudio	40
1.10.1 Conductividad	40
1.10.2 pH del agua.....	41
1.10.3 Técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica	41
CAPÍTULO II	43

METODOLOGÍA.....	43
2.1 Muestreo	43
2.2 Toma de pH	44
2.3 Toma de conductividad	44
2.4 Obtención de la curva de calibración multi elemental	45
2.5 Obtención de la curva de calibración para Arsénico	46
2.6 Presencia de metales en muestras de agua de pozo	46
CAPÍTULO III	47
RESULTADOS.....	47
3.1 Valores obtenidos de pH.....	47
3.2 Valores obtenidos de conductividad.....	48
3.3 Curva de calibración multielemental	50
3.4 Curva de calibración de Arsénico.....	55
3.5 Resultados de las concentraciones presentes de los distintos metales analizados	56
CONCLUSIONES	62
Recomendaciones.....	63
Anexo A	70

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 1. Zona de puntos de muestreo (Microsoft, 2024)	16
Figura 2. Mapa de la Región (INEGI, Marco Geoestadístico, 2023).	17
Figura 3. Mapa de cercanía al volcán Popocatepetl. (Distancia, 2024).....	18
Figura 4. Mapa de Correlación espacial de mortalidad de leucemias agudas contra metales y arsénico (CONAHCYT, 2023).....	39
Gráfico 1. Comparación de los valores obtenidos de pH con los rangos permisibles por la NOM-127-SSA1-2021.	48
Gráfico 2. Comparación de los valores obtenidos de conductividad con los rangos permisibles por la OMS.....	49
Los valores de conductividad de las cinco muestras se presentan en un rango entre 225 y 264 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto señala que todas las muestras están en un rango similar, lo que podría reflejar una composición mineral homogénea en la zona de estudio.....	
La conductividad de las muestras está en un rango aceptable para el uso y consumo de agua proveniente de pozo, lo que sugiere que no hay una alta concentración de sales disueltas o contaminantes que afectan la calidad del agua.	50
Gráfico 3. Curva de calibración de Cobre.....	51
Gráfico 4. Curva de calibración de Cadmio.....	52
Gráfico 5. Curva de calibración de Cromo	52
Gráfico 6. Curva de calibración de Plomo.....	53
Gráfico 7. Curva de calibración de Hierro.....	53
Gráfico 8. Curva de calibración de Manganeso	54
Gráfico 9. Curva de calibración de Arsénico.....	56
Gráfica 10. Comparativa de la presencia de Manganeso en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.	58
Gráfica 11. Comparativa de la presencia de Cobre en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.	59
Gráfica 12. Comparativa de la presencia de Arsénico en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recarga Media Anual y Disponibilidad de los acuíferos del estado de Puebla	22
Tabla 2. Especificaciones sanitarias físicas.....	27
Tabla 3. Especificaciones sanitarias químicas	27
Tabla 4. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides.....	27
Tabla 5. Especificaciones sanitarias microbiológicas	28
Tabla 6. Cumplimiento gradual para fluoruro.....	28
Tabla 7. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio	28
Tabla 8. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas	29
Tabla 9. Especificaciones sanitarias de radiactividad	29
Tabla 10. Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección.....	29
Tabla 11. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos.....	29
Tabla 12. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos...30	
Tabla 13. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - aniones	30
Tabla 13. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos	30
Tabla 15. Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos	31
Tabla 16. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides.....	31
Tabla 17. Coordenadas de la zona de muestreo	43
Tabla 18. Puntos de la curva de calibración.....	45
Tabla 19. Preparación de los estándares de la Curva de calibración de Arsénico	46
Tabla 19. Resultados para los parámetros de pH	47
Tabla 20. Resultados para los parámetros de Conductividad.....	49
Tabla 21. Promedio de parámetros de estudio	50
Tabla 22. Resultados de intensidad de absorbancia de la curva de calibración multielemental	51
Los gráficos de las curvas de calibración para los metales Mn, Cu, Fe, Cr, Cd y Pb exponen que la relación entre la concentración y la absorbancia sigue una tendencia lineal. Esta linealidad es decisiva para asegurar la precisión y exactitud de los resultados que queremos obtener, validando así la confiabilidad del método analítico empleado.	54
Tabla 23. Datos de las ecuaciones obtenidas en las curvas de calibración.....	54
Tabla 24. Valores de absorbancia para la curva de calibración de arsénico.....	55
Tabla 25. Datos de la ecuación obtenida en la curva de calibración	55
Tabla 26. Resultados de la concentración de los metales.....	56
Tabla 27. Promedio de la presencia de los metales en la zona de estudio.....	61

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible para la vida de los seres humanos, declarada oficialmente como un derecho humano por parte de las Naciones Unidas desde 1948 (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010). En México, el agua subterránea es la central fuente de suministro para numerosos usos en las zonas rurales del país, esto se debe principalmente a la carencia de acceso a la red de agua potable que existe en las zonas urbanizadas. Un ejemplo son los habitantes de la zona del municipio de Juan C. Bonilla, Puebla, donde la colectividad de ellos consume y suministran sus necesidades básicas de agua mediante el uso de pozos, que extraen agua de los mantos subterráneos que conectan con una parte del río Metlapanapa, esto debido a que no disponen con el servicio de red de agua potable. No obstante, la calidad del agua subterránea puede verse afectada por una diversidad de factores como son las actividades humanas, la agricultura con uso de químicos, el incremento de la industrialización y la gestión incorrecta de residuos. La contaminación de los cuerpos de agua de la región se ha vuelto un tema de interés de los pobladores, debido a la presencia de agentes químicos que podrían comprometer a la salud de la población. La contaminación de cuerpos de agua se debe posiblemente generada por el uso de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas, el controversial tema de vertidos industriales (González, 2019) y el incremento en los últimos meses de la actividad volcánica del Popocatepetl, plantea interrogativas sobre la calidad del agua que se consume en la comunidad.

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar los parámetros de calidad del agua de pozo en una zona del municipio de Juan C. Bonilla, Puebla, como la presencia de metales, pH y conductividad, proporcionar información sobre las condiciones del agua para el consumo humano y las posibles repercusiones en la salud pública de la comunidad. Contribuyendo al entendimiento de la situación actual de la calidad del agua de pozo de la región y ofrecer recomendaciones para su mejora.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se sabe que la calidad del agua proveniente de pozos se ve influenciada por las temporadas climatológicas, así como de la naturaleza en donde se encuentra, ya que el agua subterránea se distingue por contener materiales sólidos en solución, de los cuales, depende su composición química.

La zona del municipio de Juan C. Bonilla se distingue por ser considerada una zona que practica activamente la agricultura, dicha labor también es un factor importante en la alteración de la calidad del agua, debido a la filtración de metales o compuestos tóxicos que pueden provenir de agroquímicos, tales como lo son fertilizantes, herbicidas y plaguicidas; estas actividades consiguen afectar la salud de los consumidores de aquellos pozos que se encuentran contaminados.

Otro factor que ha influenciado a la calidad de las aguas subterráneas es la creciente actividad volcánica, al ser Juan C. Bonilla una comunidad cercana a las faldas del volcán Popocatepetl, sus principales fuentes de nacimiento de agua descienden de esta montaña, por lo que la presencia de su actividad ha generado variaciones en la calidad del agua subterránea.

La industrialización también ha alcanzado a la región rural de Juan C. Bonilla, el creciente número de empresas que se comienzan a instalar en los territorios del municipio, así como su cercanía con varios parques industriales de los municipios colindantes, los cuales emiten fuentes fijas a la atmósfera, así como el vertido de sus aguas residuales a los cuerpos de agua, las cuales van llenas de contaminantes de diversos metales pesados como son cromo, cobre, arsénico, plomo, hierro, por solo mencionar algunos de ellos, generando niveles de toxicidad elevados para la salud de la población en general.

La presencia de metales pesados no solo perjudica a la calidad del agua subterránea, al ser esta una de las principales fuentes de consumo para los pobladores de la zona de Juan C. Bonilla, ocasiona problemas a la salud de los habitantes, esto debido a que los metales pesados tienden a bioacumularse y disolverse en el agua del subsuelo, lo cual supone una preocupación para el sector de Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica.

Con el incremento de las emisiones y desechos de metales pesados en las aguas residuales que terminan contaminando los cuerpos de agua subterráneos, en los últimos años ha causado padecimientos severos principalmente a la población infantil, las sales solubles en agua de metales tales como plomo, mercurio y cadmio resultan ser altamente tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales al ser ingeridos ya sea a través del agua o por alimentos contaminados, causa problemas a la salud como ceguera, amnesia, raquitismo y en algunos casos incluso la muerte. (Díaz , 2014).

JUSTIFICACIÓN

México es un país que posee varias fuentes de agua subterránea, de acuerdo a datos previstos por la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT), se reconocen 653 acuíferos a lo largo de la extensión de la república, en el caso de Puebla se destaca el acuífero del Valle de Puebla, el cual se localiza en varios municipios del estado, entre estos municipios se encuentra el de Juan C. Bonilla, una localidad que carece del servicio de agua potable por lo que la generalidad de su población se ve en la necesidad de recurrir al agua de pozos como medio de consumo y principal fuente para sus actividades.

En el 2010 se llevó a cabo la recolección y análisis de 20 muestras de agua subterránea en pozos de uso público urbano pertenecientes al acuífero del Valle de Puebla, en donde los resultados demostraron que solo 2 de las 20 muestras, presentaban una dureza con índices mayores a los permitidos por la NOM-127-SSA1-1994, lo que indica que el agua es apta dentro de los parámetros analizados para uso y consumo humano (DOF, 2016).

De acuerdo con el boletín ambiental #5 de la SEMARNAT, el acuífero del Valle de Puebla se cataloga como no sobreexplotado, más sin embargo en los últimos años, la población demográfica ha ido en un constante aumento, lo que provoca una exigencia mayor a la extracción de agua del subsuelo que puede formar una sobre explotación del recurso, además de manera paralela el incremento de la población genera una mayor cantidad de contaminantes que son producto de las actividades humanas.

En años más recientes no se han actualizado los datos acerca de la calidad del agua subterránea, en especial si hablamos del agua de los pozos de la región del municipio de Juan C. Bonilla, el cual a pesar de aun ser considerado como una zona rural, no se ha visto menos afectado por el crecimiento de la población, la demanda de agua para los sectores industriales y la modificación de las técnicas de agricultura al implementar nuevos herbicidas, estas son variables que se encuentran altamente relacionadas a las condiciones fisicoquímicas del agua, sin olvidar mencionar que la comunidad no tiene acceso a la red pública de agua potable.

Además de que se tiene poca información que se encuentre conectada con la calidad y la presencia de metales pesados en las aguas subterráneas de la comunidad de Juan C.

Bonilla, donde su principal fuente de agua para consumo humano son sus pozos que se proveen de veneros o “ojos de agua” que no han sido estudiados para establecer si sus parámetros se encuentran dentro de los establecidos por las normas mexicanas, que puedan asegurar que su consumo regular no representa un peligro para la salud de sus consumidores.

Esto debido a que el control de la calidad del agua ha sido prioritario especialmente para las zonas urbanas, dejando a las zonas rurales sin un control regular de la calidad de agua de consumo proveniente de pozos, aun cuando ha habido reportes de comunidades con altas incidencias de enfermedades gastrointestinales y parasitarias, donde el origen se atribuye a la insuficiencia de la calidad del agua de pozo que utilizan para su consumo, un problema que atraviesa México debido a la falta de los sistemas de distribución de agua tratada para todas sus comunidades (Fuentes, Campas, Aguilar, & Meza, 2007).

Es por esto que se realizara un estudio para determinar los parámetros de calidad del agua de pozo de cinco diferentes ubicaciones del municipio de Juan C. Bonilla, mediante el análisis de sus características fisicoquímicas, relacionando si sus índices de calidad se ven afectados por las actividades de la zona como son agrícolas, ganaderas, domesticas e industriales, comparándolos con los valores permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, la cual establece los limites permisibles de la calidad de agua para uso y consumo humano, lo que nos permitirá argumentar si la población se verá afectada al continuar con el consumo regular de agua de pozo.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar los parámetros fisicoquímicos en el agua de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, con el propósito de evaluar su calidad en cinco puntos de la zona de la localidad de San Mateo Cuanala del municipio de Juan C. Bonilla, Puebla.

Objetivos específicos

- Realizar el muestreo de 5 puntos de la zona de Juan C. Bonilla, cercanos al río Metlapanapa
- Analizar las propiedades fisicoquímicas de las muestras. (pH, conductividad y metales)
- Determinar si existe la presencia de metales en las muestras por espectrofotometría de absorción atómica, Cu, Cd, Cr, Mn, Fe, As y Pb.
- Determinar si las actividades de la zona a estudiar afectan a los índices de calidad del agua de pozo para consumo humano, en base a una revisión bibliográfica.

HIPÓTESIS

La calidad del agua de pozo de la comunidad de Juan C. Bonilla no cumple con los parámetros fisicoquímicos y concentración de metales, de acuerdo con lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio donde se tomaron las cinco muestras a analizar se encuentra localizada en la cabecera del municipio de Juan C. Bonilla, en la comunidad de San Mateo Cuanala, la cual se localiza entre los paralelos $19^{\circ}06'32''$ de latitud norte y $98^{\circ}20'05''$ de longitud oeste a 2180 metros de altitud. Colindando al norte con Coronango, al sur con San Juan Tlautla, al este con San Lucas Nextetelco y al oeste con San Gabriel. Además de contar con una población de 4 399 habitantes (INEGI, Panorama Sociodemográfico de México, 2020).

La zona donde se tomaron los puntos de muestreo se encuentra a una distancia cercana del Río Metlapanapa, un arroyo con una altitud de 2,182 metros, que atraviesa la comunidad de Cuanala, la colonia de José Ángeles y San Lucas Nextetelco. El uso del suelo es principalmente manejado para actividades de agricultura y ganadería (Alameda, 2019).

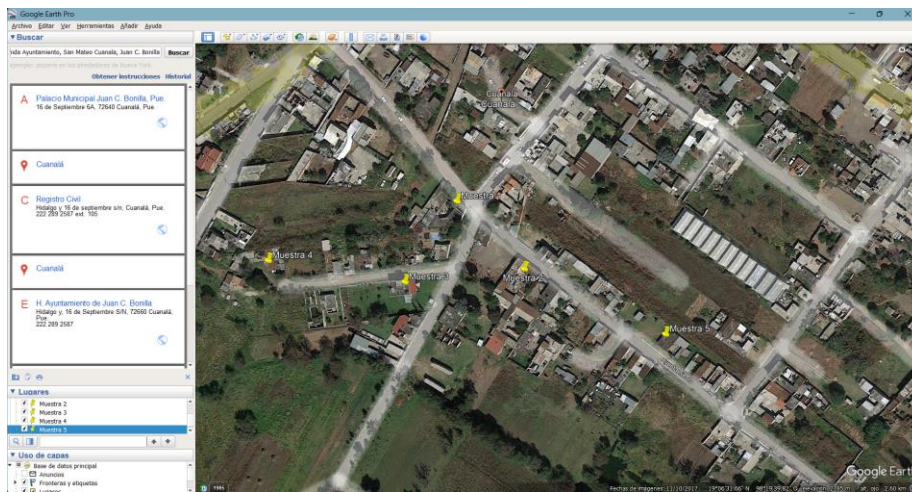


Figura 1. Zona de puntos de muestreo (Microsoft, 2024)

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Demografía de la zona

El municipio de Juan C. Bonilla es uno de los 217 municipios que forman parte del estado de Puebla, ubicado en la zona centro – oeste del estado, con las coordenadas geográficas 19° 05' 30" y 19 ° 08' 36" de latitud norte y los meridianos 98° 18' 24" y 98° 25' 36" de longitud occidental, a una altitud entre 2300 y 2100 metros sobre el nivel del mar. (Bonilla, 2024) Un municipio que cuenta con 5 localidades:

- San Mateo Cuanala
- Santa María Zacatepec
- San Gabriel Ometoxtla
- San Lucas Nextetelco
- Colonia José Ángel

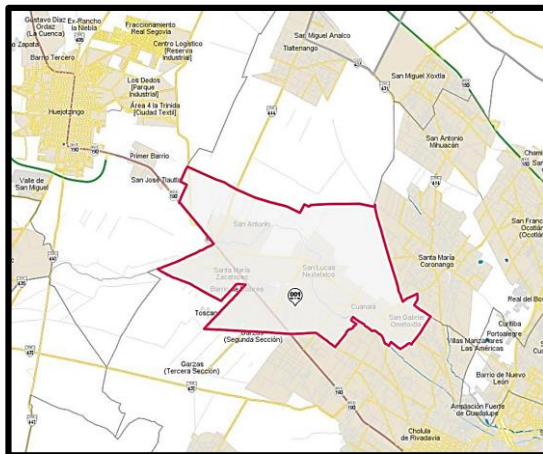


Figura 2. Mapa de la Región (INEGI, Marco Geoestadístico, 2023).

Colindando al norte con los municipios de Tlaltenango, Coronango y Huejotzingo, al este con los municipios de Coronango y San Pedro Cholula, la oeste con los municipios de San Pedro Cholula y Huejotzingo y al sur con el municipio de San Pedro Cholula. De acuerdo a datos oficiales del INEGI, en 2020 la población del municipio ascendió a la cantidad de 23,783 habitantes en una mayoría conformada por mujeres en un 51.8% y un 48.2% correspondiente a hombres. (INEGI, Compendio de información geográfica municipal 2020, 2020)

A partir de datos obtenidos del sitio web “Distancia”, el municipio de Juan C. Bonilla se encuentra a 67.4 km de distancia (Distancia, 2024).

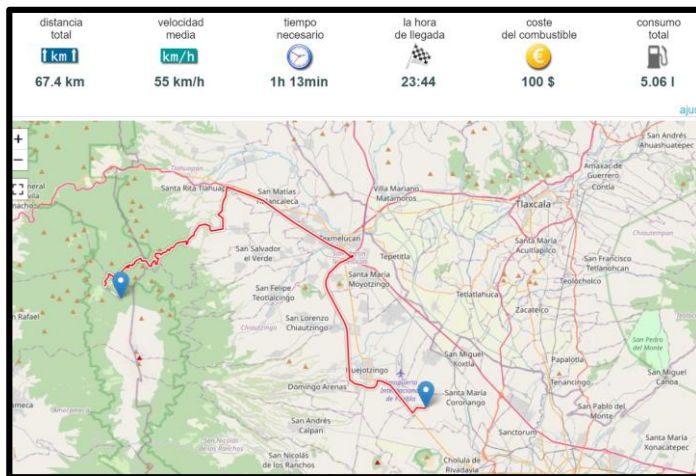


Figura 3. Mapa de cercanía al volcán Popocatepetl. (Distancia, 2024)

Además mediante datos recolectados de un análisis realizado por el CENAPRED (en colaboración con la UNAM, en mapas que detallan las posibles consecuencias a las zonas aledañas al volcán Popocatepetl en caso de una posible erupción volcánica), la región del municipio de Juan C. Bonilla se ve impactada por la caída de ceniza, la cual afecta a las vías

respiratorias. Por otro lado provocan un problema de acumulación que puede provocar obstrucción de sistemas de alcantarillado y drenaje, contamina fuentes de agua y daños a los cultivos agrícolas y ganaderos, tales como pérdida del producto agrícola, debido a cambios importantes en las características fisicoquímicas del suelo. En caso de balística, flujos y oleadas piroclásticas la zona no se ve afectada, no así respecto a los lahares, que son corrientes de lodo y escombros volcánicos, con los cuales las comunidades de Juan C. Bonilla se pueden ver afectadas, debido a que estos, fluyen por los cauces de los arroyos generando una contaminación considerable a los cuerpos de agua debido a la presencia de metales. (CENAPRED, 2023)

1.2 Clima

Al pertenecer al Valle de Puebla, el municipio de Juan C. Bonilla se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo, con temperaturas de media anual de 17.5°C, con temperatura máxima promedio de 28.5°C, la cual tiene una mayor presencia en los meses de abril y mayo, a diferencia de su temperatura mínima promedio de 6.5°C durante el mes de enero. (INEGI, Información por entidad, s.f.)

Se cuenta con una precipitación media de 1270 mm anuales, con meses de lluvia particularmente durante verano, que abarca los meses de junio a octubre.

El clima de la región permite que se puedan desarrollar las actividades agrícolas, con los principales cultivos de maíz, cacahuete, papa, ajo, frijol, trigo, aguacate, manzana, perón y naranja.

1.3 Suelos

El suelo en el municipio de Juan C. Bonilla se compone principalmente de dos grupos, Regosol (el más predominante de la zona, ocupando un área de oriente, norte y noreste) y del tipo Feozem (el cual ocupa la gran proporción del centro y sureste de la región). (Alameda, 2019)

Los suelos de tipo Regosoles son aquellos que no consiguen ser clasificados dentro de los grupos registrados por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, 2007). Conocidos por ser suelos jóvenes, desarrollados en material no consolidado, con la característica de poseer colores claros y carecer de materia orgánica, además de tener un mínimo desarrollo. También se caracterizan por ser escasos en materia orgánica, pero con una amplia distribución a nivel internacional además de ser de los más utilizados para el desarrollo de actividades agropecuarias.

La distribución de este tipo de suelos está vinculada con el establecimiento de cenizas volcánicas y efusiones recientes producto de material volcánico, además de distinguirse por ser suelos someros de grueso material, con un alto índice de ser susceptibles a la erosión pero que a su vez se distinguen por permitir un alto nivel de infiltración, coincidiendo con zonas donde se presenta una recarga de acuíferos. (Velázquez , Torres, & Bocco, 2003)

El suelo tipo Feozem se distinguen por ser suelos de tipo porosos, oscuros y ricos en materia orgánico, usados preferentemente en temas de agricultura, ya que por sus características favorece la producción de granos como son la soya, trigo y cebada, así como también de las hortalizas. (SEMARNAT, Unidades principales de suelo en México, s.f.) . Estos suelos son más evolucionados que los suelos tipo Regosoles, esto debido a su contenido alto en materia orgánica, desarrollándose normalmente por un proceso de acumulación del humus, contienen un pH normal entre 6 a 6.1, distinguiéndose por su alta concentración en minerales como son calcio y magnesio. (Vivanco, y otros, 2010)

1.4 Medio Ambiente

El municipio se encuentra ubicado en el llano de Huejotzingo, que a su vez pertenece al valle de Puebla, el cual forma parte del principal sector de la altiplanicie poblana, que limite al sur con la depresión de Valsequillo, al este con el valle de Tepeaca y al oeste con la Sierra Nevada.

En cuanto al relieve, este es plano con un leve ascenso en dirección este a oeste, con una altura media de 2200 metros sobre el nivel del mar. (INAFED, 2010)

Al ser una zona dedicada principalmente a la agricultura, los campos de cultivo predominan por toda la región, junto con canales de riego a lo largo del río Metlapanapa.

1.5 Recursos hídricos

A través del municipio de Juan C. Bonilla se encuentran los ríos Actiopa y Metlapanapa, ambas partes centrales de la cuenca alta del río Atoyac. El municipio es atravesado de oeste a este por el río Actiopa, el cual tiene un fin al llegar a la localidad de Santa María Zacatepec, el río Metlapanapa recorre todo el oriente del municipio hasta lograr unirse con el río Atoyac.

1.5.1 Agua subterránea

El agua subterránea es aquella que se encuentra bajo tierra, resguardada en acuíferos que se puede extraer por medio de pozos o que su descarga llega a lagos o arroyos, además de contar con la capacidad de recargarse de manera natural mediante la filtración de agua de lluvia al suelo o por derretimientos de nieve. En nuestro país el agua subterránea es primordial, ya que representa un 70% del abastecimiento de agua para la población y para uso de las industrias (CNA, 2005).

El agua subterránea se utiliza para diferentes propósitos, incluyendo el uso industrial, agrícola y doméstico, los cuales representan más de la mitad del consumo anual de agua para muchos países. (Shrestha , Bach, & Pandey, 2016)

Establece una de las principales fuentes de provisión, en diferentes épocas del año, por lo que la precipitación pluvial perturba a los mantos freáticos con el movimiento de contaminantes a través del suelo. En cuanto a la contaminación incluye tanto a la microbiana como a la provocada por sustancias químicas, ya que estos se disipan a través del acuífero por medio del movimiento natural del fluido. (Orozco , Ramírez Aguilar, & Cruz López , 2008)

Aunque es de vital importancia para el abasto de las necesidades de la población, el agua subterránea presenta grandes problemas, principalmente al tener una falta de visibilidad, se permite que la sobre explotación sea continua y no regulada correctamente, provocando

desabasto como también alteraciones a su calidad debido a la intrusión salina, hundimiento del terreno y bombeo a profundidades no aptas.

La sobreexplotación de acuíferos en muchas zonas del país así como el incremento de las actividades antropogénicas, ocasiona el deterioro de la calidad en diversos sitios, incluso en alguno provoca condiciones graves de decremento del nivel de los acuíferos, que además se relaciona con la disminución de la recarga natural de estos cuerpos de agua, debido a la elevada urbanización que es un factor significativo en la calidad del agua de recarga. (Iturbe & Silva, 1992)

En México, la sobreexplotación de los acuíferos ha ido aumentando desde la década de los setenta; periodo en el que 32 acuíferos, de los 653 del país, se declararon sobreexplotados. En la década de los ochenta, dicha cifra incrementó a 80, mientras que en 2001 llegó a 97, en 2005 a 104 y para 2016 ya eran 105, de estos últimos se extraía casi el 60 % del agua subterránea (CONAGUA, Calidad del agua en México, 2022).

Aunque en México más del 50% del agua utilizada para consumo humano, industrial y en la agricultura provenga de aguas subterráneas, existe un gran desconocimiento acerca de estos cuerpos de agua, sin conocer su verdadera geometría, los volúmenes disponibles que se tengan de estos y, por consiguiente, acerca de la calidad del agua de muchos de estos, en especial en temas de análisis microbiológicos como fisicoquímicos. (Arriaga, Aguilar, & Alcocer, 2000)

En el estado de Puebla se cuenta con seis mantos acuíferos de los cuales dos muestran un nivel de sobreexplotación considerable de acuerdo con datos de CONAGUA del año 2023.

Tabla 1. Recarga Media Anual y Disponibilidad de los acuíferos del estado de Puebla

Acuífero	Recarga Media Anual (RMA) (millones de metros anuales)	Disponibilidad (Cifras en hectómetros cúbicos anuales)
Valle de Tecamachalco	157.1	-60.656614
Libres-Oriental	137.4	-22.371638

Atlixco-Izúcar de Matamoros	244.3	36.495821
Valle de Puebla	360.7	18.017454
Valle de Tehuacán	246.9	25.324552
Ixcaquixtla	110.3	34.070832

Datos obtenidos de CONAGUA (CONAGUA, Aguas Subterráneas / Acuíferos , s.f.)

1.5.2 Pozos para suministro de agua de consumo humano

Un pozo es una obra de ingeniería en la que se emplean maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción, además de que permiten la extracción de agua del subsuelo, con fines de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, ya sea en sistemas públicos y privados. (Secretaría de Salud, 2005)

Los pozos en las comunidades consisten en pozos que cuentan con un sistema de bombeo que concede se realice la extracción de agua proveniente de los cuerpos de agua subterránea, posteriormente el agua suele ser clorada y vertida en tanques para la distribución en los diversos servicios de las casas de los habitantes. (Isaac Márquez , Lezama Dávila, Ku-Pech, & Tamayo Segovia , 1994)

El consumo de agua subterránea mediante pozos es considerado de calidad, principalmente porque el agua subterránea es una de las menos estudiadas debido a que se tiene la convicción de que este tipo de agua es básicamente limpia porque pasa por la acción filtrante del medio poroso del suelo por el que pasa el agua, lo que deriva en que la verificación del número de bacterias en el agua subterránea no sea considerada necesaria.

De acuerdo con la base de datos consultada de CONAGUA, para el Registro Público de Derechos de Agua, en el municipio de Juan C. Bonilla se tiene un reconocimiento de 28 pozos destinados a distintos usos, tanto agrícolas, como industriales y de servicios, autorizados directamente por la dirección local de Puebla. De estos 28 pozos registrados, 18 de ellos están reconocidos para su uso en actividades agrícolas, 4 tienen funciones industriales, 2 están contemplados para actividades pecuarias y 4 más destinados a servicios

de escuelas y unidades habitacionales. (CONAGUA, Registro Público de Derechos de Agua, 2024)

1.5.3 Calidad del agua subterránea en la región

La calidad del agua depende del uso al que es destinado el líquido, además de verse afectado por factores como son los usos del suelo, la cantidad utilizada por las poblaciones, las industrias asentadas en la zona y los sólidos disueltos. En el país se cuenta con 775 sitios de monitoreo de calidad del agua subterránea operados por Conagua (Comisión Nacional del Agua, 2022), en donde se consideran 14 parámetros como indicadores fisicoquímicos y microbiológicos:

- Fluoruros (Flúor)
- Coliformes fecales (CF)
- Nitrógeno de Nitratos (NO_3^-)
- Arsénico Total (As)
- Cadmio Total (Cd)
- Cromo Total (Cr)
- Mercurio Total (Hg)
- Plomo Total (Pb)
- Alcalinidad
- Conductividad eléctrica
- Dureza Total
- Sólidos Disueltos Totales
- Hierro Total (Fe)
- Manganeseo Total (Mn)

Aunque se tienen todos estos parámetros para determinar su calidad del agua subterránea, la información sobre ella es escasa o no cuentan con la actualización adecuada de acuerdo con el crecimiento demográfico de las zonas que exigen una mayor extracción del agua subterránea. (CONAGUA, Calidad del agua en México, 2022)

Los cuerpos de agua ubicados en el municipio de Juan C. Bonilla pertenecen a la cuenca del acuífero del Valle de Puebla, al cual se le realizó un estudio de campo en el año del 2010, en donde se tomaron 20 muestras de agua subterránea, donde se determinaron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de hidrógeno, potencial redox, dureza total, dureza al calcio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso.

Los resultados señalaron que para el caso de la concentración de sólidos totales disueltos, se reconocen valores que varían de 49 a 770 ppm, que no exceden el límite máximo permisible (LMP) de 1000 mg/l señalado en la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el agua destinada al consumo humano. Con respecto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica, de manera general, como dulce, de acuerdo con el criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 171 a 1544 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los mayores valores de STD y conductividad eléctrica se reconocen al sur del acuífero, confirmando la dirección preferencial del flujo subterráneo de norte a sur. Los valores de temperatura varían de 18.0 a 28.4 °C y para el pH de 5.1 a 8.5. Por lo que en general el agua subterránea del acuífero del Valle de Puebla es apropiada para su uso. (CONAGUA, Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Puebla, Estado de Puebla, 2014)

1.5.4 Contaminación en Río Metlapanapa

En los últimos años pobladores, como activistas del municipio de Juan C. Bonilla han denunciado abiertamente el incremento en la contaminación de sus cuerpos de agua, denunciando la presencia de tubos de desechos clandestinos como parte de un proyecto integral para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario en la zona industrial de Huejotzingo, en el estado de Puebla, de acuerdo a informes periodísticos se denuncia el vertido de aguas residuales, con presencia de metales como arsénico, plomo, mercurio, níquel, entre otros desechos, al río Metlapanapa, lo que ha provocado el descenso de su nivel de agua, así como olores y colores desagradables en el agua del río. (Oropeza, 2019)

1.6 Red de agua potable y suministro

Un abastecimiento de agua de buena calidad es preciso para asegurar la salud e higiene de la población, es por ello por lo que se cuenta con una red de distribución de agua potable, que permite el transporte de agua, desde un punto de captación hasta las viviendas o edificaciones donde sea requerido, asegurando que llegue en las condiciones correcta, tanto en su calidad como en cantidad.

De acuerdo con datos de parte de estadísticas del Agua en México (CNA,2005), a nivel nacional se suministra un total de 320 mil litros de agua por segundo destinada al consumo humano, de los cuales el 95% está asegurado que pase por los filtros necesarios para llegar a la red de agua potable de las comunidades, se tiene un promedio de suministro de 264 litros diarios por habitante. Aun cuando el agua es considerada un derecho universal, es conocido que no toda la población tiene acceso a este suministro, en el estado de Puebla, se considera que sólo se suministran 150 litros diarios por habitante.

En el estado de Puebla, la red de agua potable es insuficiente en 16 municipios, dentro de los cuales se encuentra el municipio de Juan C. Bonilla, en donde hasta el 83% de su población no tiene acceso directo al agua potable en sus municipios, esto se debe al no estar conectados dentro de la infraestructura de agua potable. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. C., 2014). Juan C. Bonilla es un municipio que no tiene acceso a la red de agua potable del estado, por lo que sus pobladores recurren al uso de extracción de agua mediante pozos.

1.7 Especificaciones sanitarias

De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades relacionadas con el agua, para lo cual se requiere establecer y mantener actualizados los límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas, microbiológicas, y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del

agua que se entrega al consumidor por los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.

Tabla 2. Especificaciones sanitarias físicas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Turbiedad	4	UNT
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH
Color verdadero	15	UC

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 3. Especificaciones sanitarias químicas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Cianuros totales	0.07	mg/L
Dureza total como CaCO ₃	500	mg/L
Fluoruros como F	1.5	mg/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃)	0.5	mg/L
Nitrógeno de nitratos	11	mg/L
Nitrógeno de nitritos	0.9	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000	mg/L
Sulfatos SO ₄	400	mg/L
Sustancias activas al azul metileno	0.50	mg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 4. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Aluminio	0.20	mg/L
Arsénico	0.025	mg/L
Bario	1.3	mg/L
Cadmio	0.005	mg/L
Cobre	2.0	mg/L
Cromo total	0.05	mg/L
Hierro	0.30	mg/L
Manganeso	0.15	mg/L

Mercurio	0.006	mg/L
Níquel	0.07	mg/L
Plomo	0.01	mg/L
Selenio	0.04	mg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 5. Especificaciones sanitarias microbiológicas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Coli o Coliformes termo tolerantes	<1.1 ó No detectable	NMP/100 mL
	<1	UFC/100 mL
	Ausencia	Ausencia o Presencia/100 mL
Giardia lamblia	Ausencia	Quistes/20L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 6. Cumplimiento gradual para fluoruro

Localidad	Año	Límite permisible	Unidades
Mayor de 500,000 habitantes	Un año posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	1.0	mg/L
Entre 50,000 y 499,999 habitantes	Tres años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	1.0	mg/L
Menor de 50,000 habitantes	Seis años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	1.0	mg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 7. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio

Localidad	Año	Límite permisible de arsénico	Límite permisible de cadmio	Unidades para arsénico y cadmio
------------------	------------	--------------------------------------	------------------------------------	--

Mayor de 500,000 habitantes	Un año posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L
Entre 50,000 y 499,999 habitantes	Tres años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L
Menor de 50,000 habitantes	Seis años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 8. Especificaciones sanitarias de fitotoxinas

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Microcistina-LR	1.0	µg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 9. Especificaciones sanitarias de radiactividad

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Radiactividad alfa total	0.5	Bq/L
Radiactividad beta total	1.0	Bq/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 10. Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Cloro residual libre	0.2 a 1.5	mg/L
Yodo residual libre	0.2 a 1.5	mg/L
Plata total	0.05 a 0.1	mg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 11. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Bromodichlorometano	60	µg/L
Bromoformo	100	µg/L
Cloroformo	300	µg/L
Dibromoclorometano	100	µg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 12. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Ácido cloroacético	20	µg/L
Ácido dicloroacético	50	µg/L
Ácido tricloroacético	200	µg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 13. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - aniones

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Bromatos	10	µg/L
Cloratos	700	µg/L
Cloritos	700	µg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 13. Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos

Parámetros	Limite permisible	Unidades
Formaldehído	900	µg/L

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

Tabla 15. Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos	0.01	mg/L
Compuestos orgánicos no halogenados	0.025	mg/L
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables	0.005	mg/L
Compuestos orgánicos volátiles no halogenados	Benceno	10
	Estireno	20
	Etilbenceno	300
	Tolueno	700
	Xilenos	500

(Datos obtenidos de la NOM-127-SSA1-2021)

A nivel internacional, la OMS (Organización Mundial de la Salud) se ha encargado de documentar guías para la calidad del agua de consumo humano, con el fin de proponer una conjunción de las políticas de los distintos países acerca de las regulaciones que debe de contener el agua que se consume. Estas guías se publican con una periodicidad de 12 años, actualizando sus guías de acuerdo con los cambios legislativos de los países participantes, la más actual es la guía publicada en 2011 conforme a los acuerdos pactados en Ginebra. (Truque, s.f.)

Tabla 16. Especificaciones sanitarias de metales y metaloides

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Aluminio	0.2	mg/L
Arsénico	0.01	mg/L
Bario	0.7	mg/L
Cadmio	0.003	mg/L
Cobre	2.0	mg/L

Cromo total	0.05	mg/L
Hierro	0.3	mg/L
Manganeso	0.1	mg/L
Mercurio	0.001	mg/L
Níquel	0.02	mg/L
Plomo	0.01	mg/L
Selenio	0.01	mg/L

(Organización Mundial de la Salud, 2018)

1. 8 Contaminantes

Dentro de los contaminantes más importantes que podemos encontrar en el agua de fuentes de pozos son la materia orgánica, los componentes orgánicos sintéticos, microbios, nutrientes, grasas y metales pesados. La presencia de estos contaminantes varía de acuerdo con la zona de estudio dependiendo del uso que se le otorga al suelo, la cantidad de agua utilizada por las poblaciones cercanas a la fuente, las industrias que se encuentren asentadas, el tratamiento que se le da a las aguas residuales antes de ser vertidas en los cuerpos de agua.

1.8.1 Contaminación por residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos son aquellos que se forman en las casas habitación, son el efecto de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques, los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos. (SEMARNAT, NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, 2004)

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en el apartado del artículo 18, se establece que los residuos sólidos urbanos se catalogan en

orgánicos (desechos de origen biológico) e inorgánicos (desechos de origen no biológico, pueden ser de origen industrial o de algún proceso no natural) con el objetivo de posibilitar la separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales. (DOF, 2023)

Aun cuando se cuentan con programas para la gestión de estos residuos, existe un problema de contaminación debido principalmente a la infiltración de sustancias depositadas en la superficie, originadas por basureros al aire libre, los cuales generan una acumulación de estos contaminantes que termina en la infiltración al subsuelo, debido a la lluvia. (Girón, 2009)

La contaminación por lixiviados de vertederos de residuos urbanos se encuentra dentro de las actividades que mayor contaminación generan al subsuelo, junto con las fugas de aguas residuales que se infiltran en los terrenos, los lixiviados de vertederos industriales, pozos sépticos y la acumulación de excrementos que provengan de granjas. (Penagos , 2003)

De acuerdo con datos de la SEMARNAT, publicados en 2020, en México se generan residuos sólidos urbanos en un per cápita calculado de 0.944 kg/habitante/día, con una generación total de residuos en el país que se estima en 120,128 toneladas/día. Para el caso del estado de Puebla, se considera que se generan 5,991 toneladas de residuos sólidos urbanos por día, con una recolección promedio de 4,218 toneladas/día, lo que nos indica que se cumple con un promedio de cobertura del 70.41%. (SEMARNAT, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos , 2020)

Con base a un estudio realizado al relleno sanitario intermunicipal del municipio de Huejotzingo, el cual dejó de operar en el mes de mayo de 2015, se estimó que la recolección de residuos sólidos urbanos en este sitio contaminó los mantos acuíferos que influyen de manera subterránea por los municipios de Huejotzingo, Calpan, Juan C. Bonilla, San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y Puebla, lo cual representó un riesgo a la salud de la población que se abastece de los cuerpos de agua contaminados por la presencia de estos residuos. (Observatorios, 2023)

1.8.2 Materia orgánica

La materia orgánica disuelta en agua puede ser originada por la descomposición de material biológico presente de animales, plantas o microorganismos (Spence et al., 2011), así como por el vertido de residuos urbanos, las actividades ganaderas, agrícolas e industriales. La materia orgánica presente en el agua que tiene un origen de alimentos, aguas negras domésticas y de fábricas, es descompuesta principalmente por bacterias, protozoarios y organismos mayores, el proceso de descomposición se lleva a cabo principalmente por reacciones químicas en donde interviene el oxígeno, para transformar las sustancias ricas en energía, en sustancias pobres en energía. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2007)

La materia orgánica conformada por millares de componentes, como partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas que pueden causar color, olor, sabor, el desarrollo de microorganismos patógenos o implicar la presencia de materia no biodegradable. (USEPA, 2004)

Para determinar la concentración de materia orgánica en el agua, se evalúa por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el cual es un índice para decretar la cantidad de gas necesario para llevar a cabo la descomposición de los desechos. El agua potable tiene una DBO de 0.75 a 1.5 ppm de oxígeno y se considera que el agua está contaminada si la DBO es mayor de 5 ppm. Las aguas negras municipales contienen entre 100 y 400 ppm pero los desechos industriales y los agrícolas contienen niveles de DBO del orden de miles de ppm. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2007)

1.8.3 Contaminación del agua por actividad Volcánica

En los últimos años el volcán Popocatepetl, ubicado principalmente en los estados de Puebla, Morelos y Estado de México, ha tenido un incremento en sus actividades, especialmente en la emisión de fumarolas y la expulsión de ceniza como de material volcánico.

La actividad volcánica es una de las causas de contaminación del agua que alteran los parámetros de calidad, principalmente a la turbidez, el pH y la concentración de elementos que resultan tóxicos.

La recurrente emisión de ceniza volcánica hacia la atmosfera y su desplazamiento a las zonas rurales como urbanas, genera problemas nocivos para la salud de la población expuesta, en específico los riesgos son mayores cuando la ceniza contiene minerales y compuestos tóxicos lixiviables a valores de pH moderados. (Cruz Sánchez, Cruz Santos, Ángeles García, & Girón García, 2021)

Los metales presentes en las cenizas volcánicas son capaces de lixiviarse debido a su capacidad de solubilidad en el agua, lo que incrementa las posibilidades de su bioacumulación que terminan por filtrarse a las aguas subterráneas de las zonas aledañas al volcán. Esta presencia en suelos y acuíferos es natural, más sin embargo al recibir concentraciones extra por los lixiviados, puede llegar a ocasionar problemas de envenenamiento e intoxicación a la salud humana, esta peligrosidad se debe a que los metales no son química ni biológicamente degradables. (Santamaría Juárez, y otros, 2022)

La presencia de metales en las aguas subterráneas puede deberse a las aguas geotérmicas asociadas con las rocas volcánicas, donde se han localizado altas concentraciones de algunos metales, como es el caso de arsénico. (Smedley, Arreguín , Arreguín Cortés , & Chávez Guillén , 2009)

El estado de Puebla ha sido zona de estudio para determinar el impacto de la ceniza volcánica en los cuerpos de agua, en específico de la composición química de lixiviados, los cuales han presentado valores de pH cercanos a la neutralidad, entre 5.98 y 7.30, con una conductividad eléctrica en el rango de 115 a 226 $\mu S/cm^2$, con elementos traza lixiviados como Aluminio, Hierro y Arsénico distinguiéndose por presentar valores elevados a los permitidos para agua de consumo humano. (Cruz Sánchez, Cruz Santos, Ángeles García, & Girón García, 2021)

1.8.4 Contaminación por metales

La presencia de metales en los cuerpos de agua se debe principalmente a las actividades antropogénicas desarrolladas por el hombre, lo cual presenta un serio problema para la salud de animales, ecosistemas y los seres humanos, esto debido a que los metales se bioacumulan, no son biodegradables y tienen una gran toxicidad incluso a bajas concentraciones.

El problema de la contaminación del agua por metales es una dificultad que sigue en constante aumento debido a las actividades de las industrias, donde el manejo de metales pesados persiste ampliamente, es por ello por lo que las instituciones gubernamentales determinan los parámetros límites en toxicidad y presencia permisible en los diversos cuerpos de agua.

El vertido de aguas residuales procedentes de las industrias que contienen la presencia de metales tóxicos o peligrosos generan efectos negativos en diversos aspectos, a nivel humano algunos metales pesados como son el cobalto o manganeso generan graves problemas de salud como son trastornos del sistema nervioso, intoxicación crónica o pérdida de funciones orgánicas debido a los efectos colaterales por el gran nivel de toxicidad. (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2021)

Algunas plantas necesitan de la presencia de ciertos metales ya que son componentes y/o catalizadores para las proteínas y enzimas necesarias para su crecimiento, como son el manganeso, hierro, zinc y cobre, incluso algunos metales que no son esenciales para su desarrollo, si son beneficiosos para las plantas, como son el cromo, vanadio, titanio, cobalto o selenio. (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2021). La manifestación de los metales en el suelo se debe principalmente a la liberación de aguas residuales contaminadas, que a su vez provoca el efecto de que estas se infiltren en el suelo hasta llegar a los cuerpos de agua subterráneos, generando a su vez su contaminación.

Los metales pesados pueden acumularse inicialmente por arriba de los niveles naturales de los suelos agrícolas, si se persiste en la acumulación de estos al agua, además de que, si en la zona se cuenta con presencia de agroquímicos comerciales, los cuales presenten

contenido en metales pesados potencialmente tóxicos, abre la posibilidad de ser lixiviados, lo cual se determinara por los factores como son el pH del agua, el potencial redox, el tipo y calidad del suelo. (Robles, Chávez, González, & Júnez , 2016)

1.9 Problemas de salud debido a metales

Una de las problemáticas más serias que complican la salud pública a un nivel global es la presencia de metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos e incluso aire, esto debido a la contaminación ambiental que perturba a la sociedad.

De acuerdo con el tipo de metal o metaloide se pueden presentar problemas de salud que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollo de enfermedades cancerígena, algunas de las consecuencias de la exposición constante con metales son las siguientes:

- **Cadmio:** Este metal forma parte de la composición natural de rocas y suelos, lo que provoca que se tenga una exposición constante con el medio ambiente, este puede ingresar al cuerpo por vía respiratoria o vía oral, transportándose principalmente por la sangre, con la capacidad de acumularse en órganos vitales como son el hígado o los riñones, provocando daños severos e irreversibles, aun cuando las concentraciones presentes sean mínimas. De acuerdo con investigaciones, el cadmio puede permanecer en estos órganos por un tiempo elevado, un aproximado de su permanencia es que en el caso de los riñones, puede alcanzar los 30 años de tiempo de vida. (Reyes, Vergara , Torres, Díaz , & González , 2016)
- **Plomo:** Utilizado principalmente por el atractivo de sus características fisicoquímicas, el plomo es un metal pesado que puede ser absorbido por inhalación, ingesta e incluso a través de la piel. El daño depende de la cantidad a la que se esté expuesto, pero principalmente afecta al sistema renal, el sistema cardiovascular, el sistema sanguíneo y el aparato gastrointestinal. Las enfermedades que mayormente se presentan como causa de la exposición al plomo son problemas de alteración de la función tubular proximal, nefropatía crónica, disminución de la función renal y excreción de ácido úrico, así como anemia e hipertensión. (Salas Marcial, y otros, 2019)

- **Hierro:** Aunque es un metal esencial para varias funciones del cuerpo humano, existen efectos significativos a la salud por el exceso de hierro, los cuales van desde una hemo siderosis o una hemocromatosis, que pueden ocasionar el deceso de una persona. (Amatriain Elcinto, 2000)
- **Cromo:** Este es un metal que ingresar al organismo principalmente por exposición, inhalación y absorción de la piel, distribuido a la medula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón e hígado. Provocando problemas a la salud como son erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético y cáncer de pulmones. (Olmos Palma & Octavio Aguilar , 2022)
- **Cobre:** Distinguido por representar una importancia biológica vital en las células humanas, al ser un micronutriente esencial que además se encuentra en variados órganos con elevada actividad metabólica, como son el hígado, cerebro, riñones y corazón. Independientemente de ser indispensables para algunas funciones del cuerpo humano, el cobre es altamente toxico, la exposición aguda por ingesta puede producir necrosis hepática, intoxicación, anemia hipocrómica, disminución de la tasa de crecimiento, diarreas, infertilidad e insuficiencia cardíaca. (Londoño Franco , Londoño Muñoz , & Muñoz García , 2016)
- **Manganeso:** Considerado uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, necesario para la supervivencia humana pero a su vez es toxico en elevadas concentraciones. Se ha encontrado relación entre las concentraciones de manganeso en la sangre y sus efectos sobre el sistema nervioso central, así como de generar aumento en las enfermedades respiratorias agudas. (Herrera Portugal , Franco , Barrientos , & Rodriguez , 2015)
- **Arsénico:** Conocido principalmente por ser un metaloide inorgánico que produce toxicidad aguda y cuya ingesta en grandes cantidades, induce síntomas gastrointestinales, trastornos de las funciones de los sistemas cardiovascular y nervioso, riesgos de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón debido al proceso de biotransformación por medio de las reacciones reductivas, oxidativas y de metilación. (Olmos Palma & Octavio Aguilar , 2022)

De acuerdo con expertos, el municipio de Juan C. Bonilla se encuentra dentro de los seis municipios del estado de Puebla con mayor índice de tasa de mortalidad por leucemias agudas en personas de 0 a 19 años. Lo reportado por el informe indica que la razón de la alta tasa de mortalidad, por enfermedades como la leucemia aguda o enfermedades renales crónicas, superior a los promedios nacionales, se debe a la evidencia científica de que estas altas tasas son causadas por la exposición a tóxicos y procesos contaminantes de arsénico de las actividades de industrias asentadas en la región. (CONAHCYT, 2023)

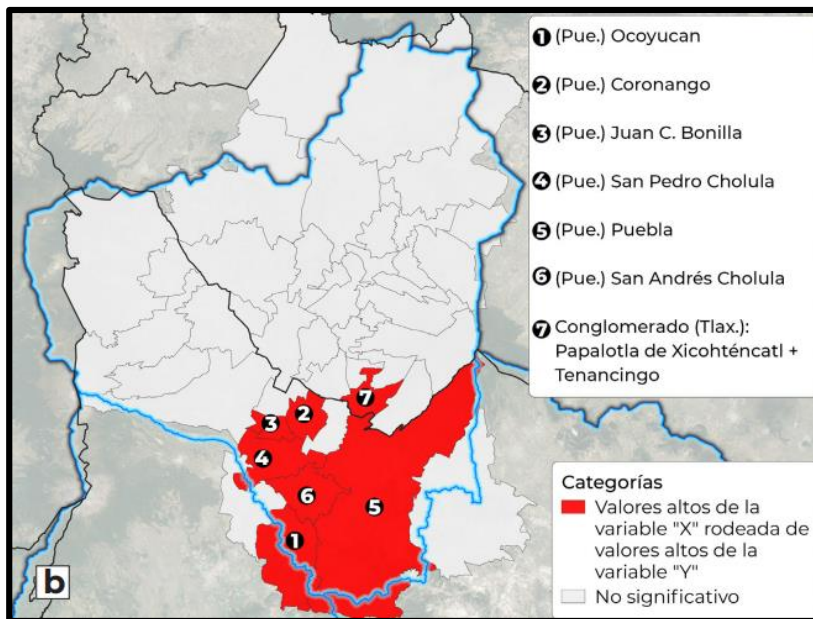


Figura 4. Mapa de Correlación espacial de mortalidad de leucemias agudas contra metales y arsénico (CONAHCYT, 2023)

1.10 Parámetros de estudio

Para el estudio de aguas subterráneas, como es el caso de pozos, se evalúan diversos parámetros fisicoquímicos, con el fin de determinar si el agua es apta para el consumo humano, así como identificar posibles fuentes de contaminación. Entre los parámetros más destacados se encuentran el pH, la conductividad y la presencia de metales pesados. Estos indicadores ayudan a identificar condiciones de acidez o alcalinidad, concentración de sales disueltas y la presencia de elementos tóxicos, algunos de los cuales significan un grave riesgo para la salud humana. El monitoreo de estos parámetros es primordial para garantizar el uso seguro del agua, prevenir enfermedades y mitigar impactos ambientales.

1.10.1 Conductividad

La mayoría de las aguas contienen sustancias procedentes de formaciones geológicas, que contienen sales minerales presentes en el agua de manera disociada como iones. La suma de todos los minerales disueltos se les conoce como sólidos disueltos, mientras más alto es el valor de los sólidos disueltos, el nivel de la conductividad eléctrica también aumenta. (Molina, 2002). Las sales disueltas en agua se disocian en iones cargados positiva y negativamente, por lo que la conductividad se explica como la propiedad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos, aunque también existen más factores que intervienen en la conductividad del agua, uno de estos factores es la temperatura, a mayor temperatura, se tendrá una mayor conductividad también. La tierra y las rocas presentes en la zona cercana a los cuerpos de agua también intervienen en las descargas de iones en las aguas que fluyen, la geología de la zona determina la conductividad del agua. (Board, s.f.)

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están conectadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas.

La conductividad en las aguas residuales es un parámetro esencial para evaluar la calidad y poder determinar el nivel de contaminación presente en los cuerpos de agua. De

acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera seguro que la conductividad se encuentre entre los parámetros de 50 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Boyd, 2017)

1.10.2 pH del agua

Se conoce como pH al potencial de hidrogeno, una medida para establecer el grado de alcalinidad o acidez presente en una disolución acuosa, su escala comprende valores desde 0 a 14, los valores más bajos nos indican una presencia más acida al contrario de si tenemos un valor elevado que señala una concentración más alcalina.

El pH es uno de los parámetros operativos más importantes para la designación de la calidad del agua, aquellas aguas con alto nivel de acidez disuelven los metales empleados en las tuberías (plomo, cobre, zinc), los cuales al ser ingeridos afectan negativamente la salud de la población. Para que un agua de consumo humano sea aceptable esta debe de contar con un pH que varíe entre 6.5 a 8.5. (Jiménez, 2001)

1.10.3 Técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica

Se conoce como espectrofotometría a la interacción entre la materia y la energía, dependiendo de la cantidad física medida entre esta interacción se definirá el tipo de espectrofotometría, midiendo la intensidad de la energía absorbida o producida. La energía que se utiliza varía entre las distintas regiones del espectro electromagnético. (Martínez Guijarro)

La espectrofotometría de absorción atómica (AAS) es una técnica analítica empleada para determinar la concentración de elementos concretos en una muestra. Se basa en la absorción de la luz por los átomos en estado gaseoso. AAS se emplea ampliamente en varios campos, incluido el análisis ambiental, productos farmacéuticos, alimentos y bebidas, metalurgia y ciencia forense.

Consiste en la transformación de la muestra en átomos en estado de vapor (atomización) y medir la radiación electromagnética absorbida o emitida por dichos átomos. (Skoog, Holler, & Crouch, 2008). Básicamente se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que calcula la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama, donde una solución de la muestra se nebuliza por medio un flujo de oxidante gaseoso mezclado con un combustible también gaseoso y se lleva hacia la llama donde acontece la atomización.

Los elementos esenciales de un espectrómetro de absorción atómica con llama y horno de grafito incluyen: una fuente de energía radiante que emita en la longitud de onda del elemento a analizar, un sistema de atomización que proporcione la energía térmica necesaria para disociar el analito y generar átomos libres, un monocromador para seleccionar las radiaciones en la longitud de onda a medir, y un detector que esté conectado a un sistema de registro de los datos obtenidos. (Martínez Guijarro)

El método de espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros actualmente es de los más utilizados debido a su eficacia y relativo bajo costo, el alcance que se puede lograr al aplicar esta técnica es ampliamente utilizado para estudios de calidad de agua, ya que la técnica de atomización se basa en las propiedades de elementos metálicos que son capaces de formar hidruros volátiles por reacción del metal con el agente reductor, que libera al analito de interés. (Alvarez, Vergara, Acevedo, & Severiche, 2014)

En el estado de Sonora se realizó un estudio similar donde se evaluaron 42 muestras de agua de pozos de la comunidad de Pótam, durante los primeros 6 meses del año de 2014, para la evaluación de los niveles de concentración de metales tales como manganeso, plomo, hierro, cadmio, cobre y zinc. (Mendoza, Meza, Balderas, Mondaca, & Corpus, 2017)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Muestreo

Se realizaron muestreos en la colonia de San Mateo Cuanala en cinco pozos comunes de agua destinados para uso y consumo humano. Se tomó una muestra por cada pozo en la temporada de diciembre de 2023. Las muestras se recolectaron en frascos de plástico de 500 mL, protegidos con papel, además de estar previamente etiquetados. Para la toma de muestra se siguió la metodología planteada en el numeral 7.3.1.1 de la NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo, la cual nos indica que la muestra se toma directamente del grifo proveniente del pozo, verificando que no existan fugas entre el tambor y el cuello, debido a que se puede correr el agua por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra, se dejó fluir el agua por un tiempo de 3 minutos aproximadamente, para enseguida llenar el recipiente a una capacidad de $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad. Durante todo momento de la toma de muestra se porta el equipo de protección de guantes de látex y cubre bocas. Posteriormente se resguardaron en un contenedor con bolsas de hielo cerradas a una temperatura entre 4° y 10°C.

Las coordenadas de cada punto de muestreo se enlistan en la tabla 17.

Tabla 17. Coordenadas de la zona de muestreo

Muestra	Latitud (N)	Longitud (W)
1	19°06'30"	98°19'45"
2	19°06'28"	98°19'43"
3	19°06'28"	98°19'46"

4	19°06'29"	98°19'49"
5	19°06'27"	98°19'40"

2.2 Toma de pH

Para la obtención del pH en las muestras recolectadas, se siguió la metodología descrita en la norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016, Análisis de agua- Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Debido a que el valor del pH puede cambiar rápidamente por procesos químicos, físicos o biológicos, la toma de pH se realizó en un periodo de cuatro horas después de la toma de muestra.

Para iniciar, se verificó la bitácora de mantenimiento del equipo, para asegurar que este se encuentre en las condiciones óptimas para su manipulación. Procediendo con una calibración en intervalos de 2 puntos utilizando disoluciones patrón de referencia. Estos valores se verificaron realizando tres lecturas, como se menciona en las recomendaciones de la norma, enjuagando el electrodo con agua destilada después de cada lectura.

Con la calibración correcta asegurada, se toman las lecturas de cada muestra, sumergiendo el electrodo y agitando lentamente para esperar que la lectura sea estabilizada. Registrar tres lecturas sucesivas para corroborar el resultado del pH, entre cada lectura de distintas muestras, el electrodo debe enjuagarse con agua destilada y secar con un pañuelo

2.3 Toma de conductividad

Para realizar la lectura de la conductividad en las muestras se siguió la metodología enlistada en la norma NMX-AA-093-SCFI-2000, Análisis de agua - Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba. Para comenzar se comprobó la calibración del equipo con el manual de uso proporcionado por el fabricante y el manual de uso del laboratorio de análisis instrumental de la facultad de ingeniería química de la BUAP.

Con el equipo calibrado con disoluciones patrón de cloruro de potasio, el electrodo se introdujo en las muestras a temperatura ambiente, cubriendo los orificios de ventilación de la celda y agitando levemente para expulsar burbujas. Al final de cada lectura, la celda se enjuagó con agua desionizada para evitar la contaminación de las muestras en lecturas posteriores.

2.4 Obtención de la curva de calibración multi elemental

Se realizó una curva de calibración multi elemental compuesta por Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cromo (Cr), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). En el planteamiento se determinó que la concentración principal sería de 100 ppm, con una concentración secundaria de 1000 ppm y un volumen secundario de 50 ml.

Con apoyo de la ecuación $c_1 v_1 = c_2 v_2$, se determinó el volumen necesario de cada solución estándar, por lo que se adicionó 5 mL de cada estándar a un matraz de 50 mL, aforando el resto del volumen con ácido nítrico concentrado al 5%

Se establecieron cinco puntos de concentración para la curva de calibración, los cuales son 0.01 ppm, 0.2 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm y 2 ppm, los datos de los volúmenes tomados de la solución patrón para adicionar a cada punto de concentración, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 18. Puntos de la curva de calibración

Concentraciones (ppm)	Volumen adicionado de la solución patrón (mL)
0.01	0.005
0.2	0.1
0.5	0.25
1	0.5
2	1

Cada punto de la curva se aforó con solución de ácido nítrico concentrado al 5%, en un volumen de 50 mL.

2.5 Obtención de la curva de calibración para Arsénico

Se tomó 5 mL de la solución estándar de Arsénico de 1000 ppm, se colocó en un matraz de 50 mL para aforarse con ácido nítrico concentrado al 5%.

Para la curva de calibración se establecieron 6 puntos de concentración, los datos de los volúmenes necesarios para cada punto se enlistan en la siguiente tabla:

Tabla 19. Preparación de los estándares de la Curva de calibración de Arsénico

Concentraciones (ppm)	Volumen (mL)	Se afora un matraz de 50 mL con ácido nítrico al 5%
0.05	0.025	
1	0.5	
2	1	
3	1.5	
4	2	
5	2.5	

2.6 Presencia de metales en muestras de agua de pozo

Para realizar el análisis de la presencia de metales en las muestras de agua de pozo, se siguió la metodología enlistada en la norma NMX-AA-051-SCFI-2001, Análisis de agua – Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

Para comenzar, se comprobó la bitácora de mantenimiento del equipo, para certificar que este se encuentre en las condiciones óptimas para su manipulación, posteriormente se introdujo la lámpara de acuerdo con el metal a analizar, dando un estimado de 20 minutos de reconocimientos para proceder con las lecturas de las muestras.

Las lámparas utilizadas para el análisis de metales fueron 2 lámparas de tipo EDL para los metales Cadmio y Plomo y los demás metales utilizaron lámparas de tipo cátodo hueco (Cu, Cr, As, Mn, Fe).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Valores obtenidos de pH

El equipo utilizado para leer las muestras fue un medidor de pH de sobremesa marca Fisher Scientific modelo accumet basic AB15 Plus, los valores conseguidos con el equipo se concentran en la siguiente tabla, después de haber tomado el valor promedio de las tres lecturas de cada muestra.

Tabla 19. Resultados para los parámetros de pH

Muestra	pH
1	7.315
2	6.895
3	7.163
4	7.29
5	7.456

Comentado [DT1]: Resalto los valores más altos y bajos en otro color?

Los resultados obtenidos de la lectura de pH para las cinco muestras analizadas presentaron valores dentro del rango determinado por la NOM-127-SSA1-2021, que establece que el pH adecuado para el agua de consumo humano debe estar entre los parámetros de 6.5 y 8.5.

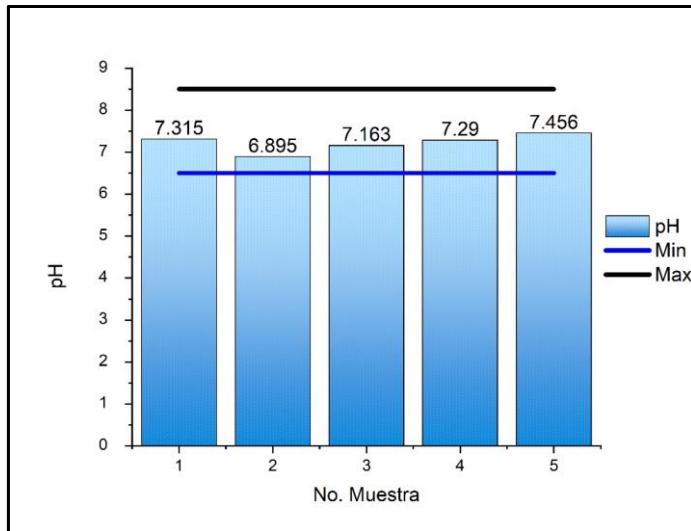


Gráfico 1. Comparación de los valores obtenidos de pH con los rangos permisibles por la NOM-127-SSA1-2021.

De acuerdo con lo que se puede observar en la grafica de la comparativa de los valores de pH con los valores permisibles por las normas, se tiene una estabilidad en lo analizado, aunque la muestra 2 presente un pH levemente por debajo del valor neutro de 7, este no representa un riesgo considerable para la salud y calidad del agua de pozo. El valor de la muestra 2 podría estar relacionado con variaciones en la composición mineral del agua subterránea o con la presencia de posibles sustancias disueltas, más sin embargo el valor no representa un riesgo para el consumo humano, sería necesario realizar análisis más a fondo para comprender la posible causa de la ligera acidez en la muestra 2.

3.2 Valores obtenidos de conductividad

Para obtener la conductividad de las muestras, se utilizó un equipo medidor portátil de conductividad marca WPA modelo CMD410, los datos logrados de valores de conductividad de las muestras de agua se enlistan en la tabla.

Tabla 20. Resultados para los parámetros de Conductividad

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
1	225
2	233
3	264
4	258
5	247

La NOM-127-SSA1-2021, que es la norma referencia para validar los límites máximos permisibles de pH y de la presencia de metales en las muestras analizadas, no estipula un valor determinado para la conductividad del agua de consumo humano. Por lo tanto, los valores adquiridos en el estudio se comparan con los señalados por la OMS, que considera que la conductividad debe de encontrarse entre el rango de 50 y 800 $\mu\text{S/cm}$

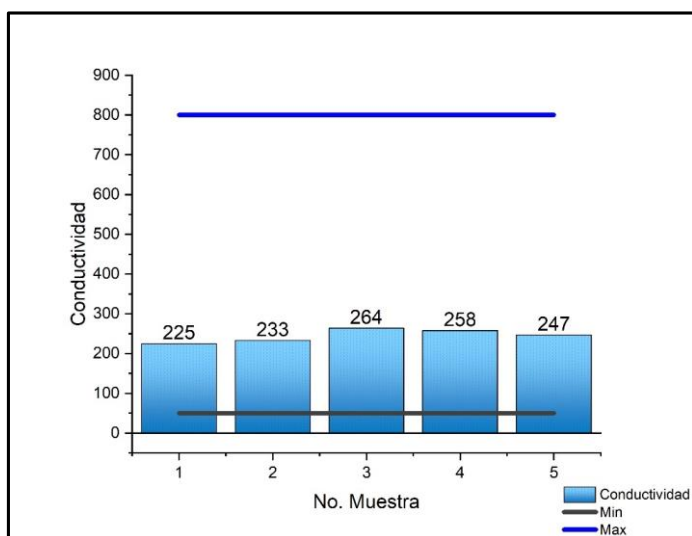


Gráfico 2. Comparación de los valores obtenidos de conductividad con los rangos permisibles por la OMS.

Los valores de conductividad de las cinco muestras se presentan en un rango entre 225 y 264 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto señala que todas las muestras están en un rango similar, lo que podría reflejar una composición mineral homogénea en la zona de estudio.

La conductividad de las muestras está en un rango aceptable para el uso y consumo de agua proveniente de pozo, lo que sugiere que no hay una alta concentración de sales disueltas o contaminantes que afectan la calidad del agua.

En la tabla 21 se enlistan los promedios tanto de pH como de conductividad de las cinco muestras, para obtener una media de sus valores que correspondan a la zona donde se realizó el muestreo.

Tabla 21. Promedio de parámetros de estudio

Parámetro	Promedio
pH	7.2238
Conductividad	245.4 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Comparando los promedios tanto de pH como de conductividad con los valores de referencia de la NOM-127-SSA1-2021 y la OMS, los resultados obtenidos en el estudio se encuentran dentro de los rangos determinados como adecuados para el agua de consumo humano.

3.3 Curva de calibración multielemental

Se hizo uso de un equipo espectrofotómetro de absorción atómica, de marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst400, en la tabla 11 se enlistan los resultados de absorbancia obtenidos en cada punto de la curva de calibración para cada uno de los metales que se analizaron, Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Arsénico (As), Plomo (Pb), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).

Tabla 22. Resultados de intensidad de absorbancia de la curva de calibración multielemental

Metal	Concentración					
	0 mg/L	0.01 mg/L	0.2 mg/L	0.5 mg/L	1 mg/L	2 mg/L
Cromo	0.186	0.001	0.003	0.008	0.021	0.043
Cadmio	-0.382	0.03	0.06	0.135	0.295	0.574
Cobre	0.566	0.01	0.019	0.045	0.096	0.193
Plomo	1.09	0.001	0.002	0.004	0.007	0.015
Hierro	1.09	0.003	0.01	0.021	0.048	0.099
Manganeso	0.003	0.011	0.022	0.046	0.1	0.197

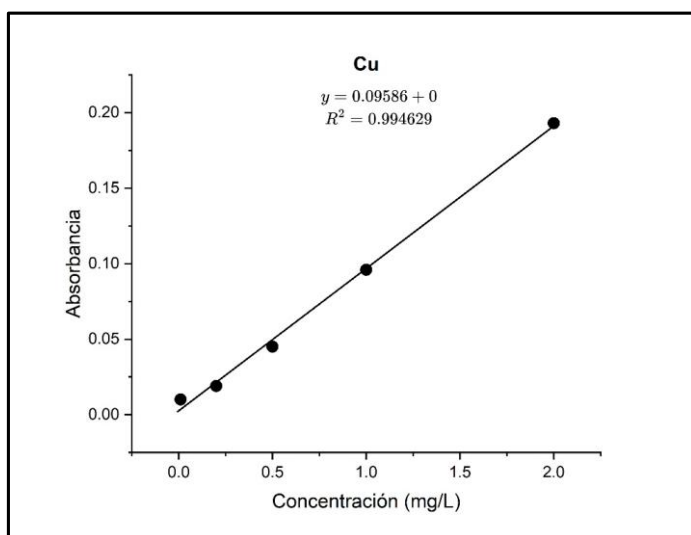


Gráfico 3. Curva de calibración de Cobre

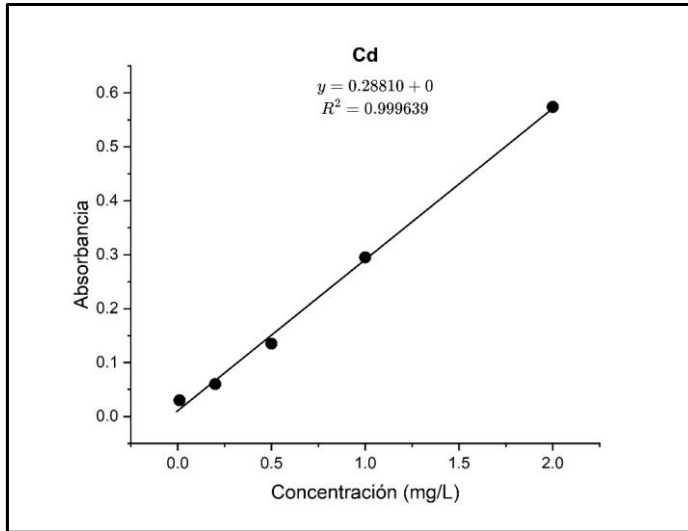


Gráfico 4. Curva de calibración de Cadmio

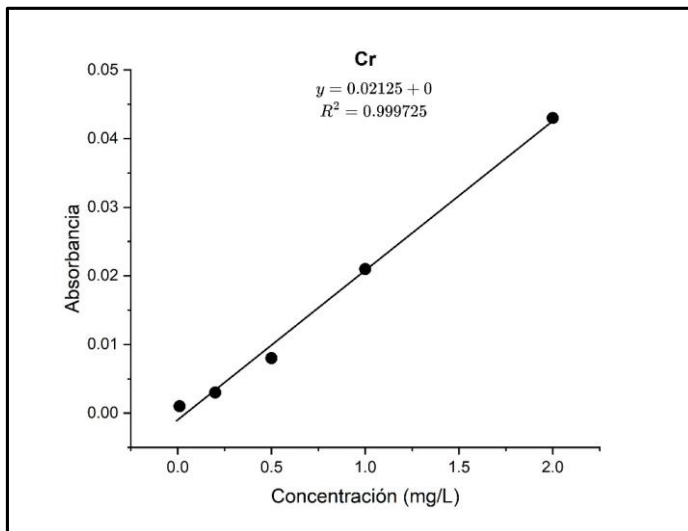


Gráfico 5. Curva de calibración de Cromo

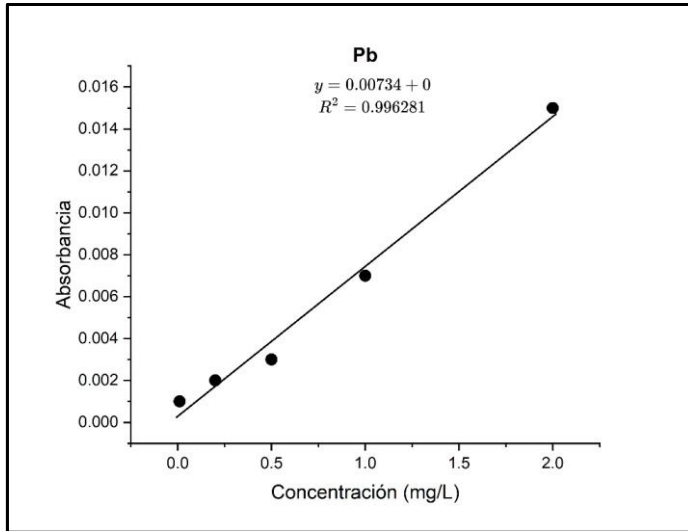


Gráfico 6. Curva de calibración de Plomo

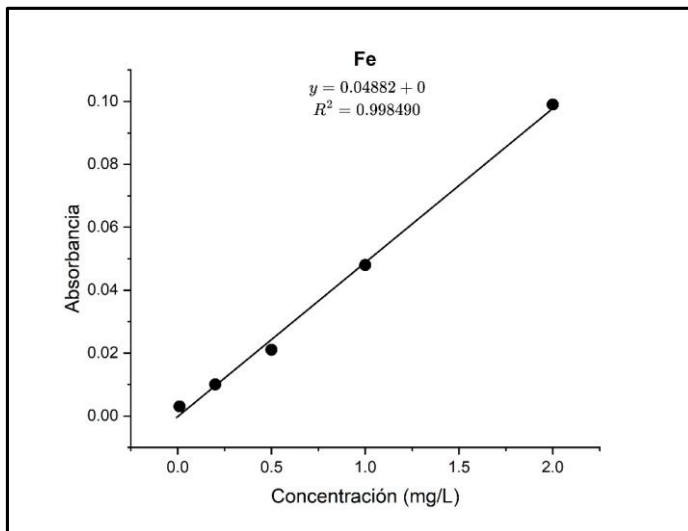


Gráfico 7. Curva de calibración de Hierro

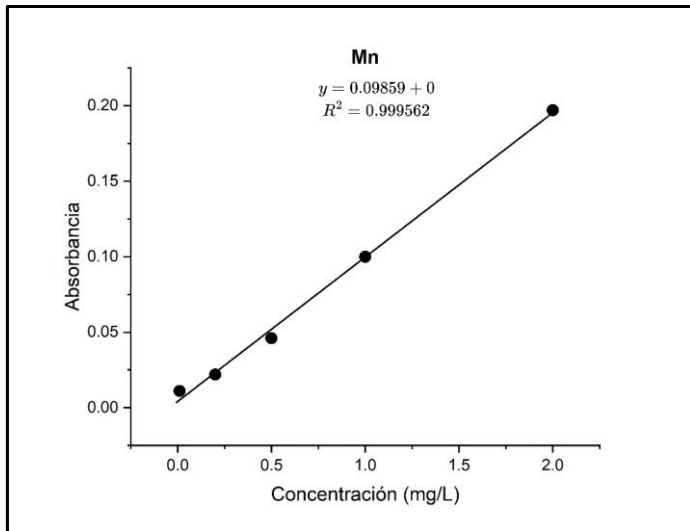


Gráfico 8. Curva de calibración de Manganeso

Los gráficos de las curvas de calibración para los metales Mn, Cu, Fe, Cr, Cd y Pb exponen que la relación entre la concentración y la absorbancia sigue una tendencia lineal. Esta linealidad es decisiva para asegurar la precisión y exactitud de los resultados que queremos obtener, validando así la confiabilidad del método analítico empleado.

Tabla 23. Datos de las ecuaciones obtenidas en las curvas de calibración

Elemento	Coefficiente de correlación	Pendiente
Cobre	0.999725	0.09586
Cadmio	0.999639	0.28810
Cromo	0.994629	0.02125
Plomo	0.996281	0.00734
Hierro	0.998490	0.04882
Manganeso	0.999562	0.09859

Como se observa en la tabla 23, todos los metales presentes en la curva de calibración tienen coeficientes de precisión muy altos, lo que sugiere que las curvas de calibración son confiables y muestran una relación lineal adecuada entre la concentración y la señal detectada.

Los elementos con mayor pendiente, como cadmio y manganeso , tienen mayor sensibilidad en el análisis, por lo que las pequeñas concentraciones de estos elementos se pueden detectar con mayor precisión.

3.4 Curva de calibración de Arsénico

Para la lectura del metal arsénico se hizo uso del mismo equipo de espectrofotómetro de absorción atómica, de marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst400. Los resultados de la absorbancia para los seis puntos de la curva de calibración se resumen en la tabla 24.

Tabla 24. Valores de absorbancia para la curva de calibración de arsénico

Metal	Concentración						
	0 mg/L	0.05 mg/L	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L
Arsénico	0.005	0.006	0.011	0.017	0.018	0.022	0.027

Tabla 25. Datos de la ecuación obtenida en la curva de calibración

Elemento	Coficiente de correlación	Pendiente
Arsénico	0.923179	0.00608

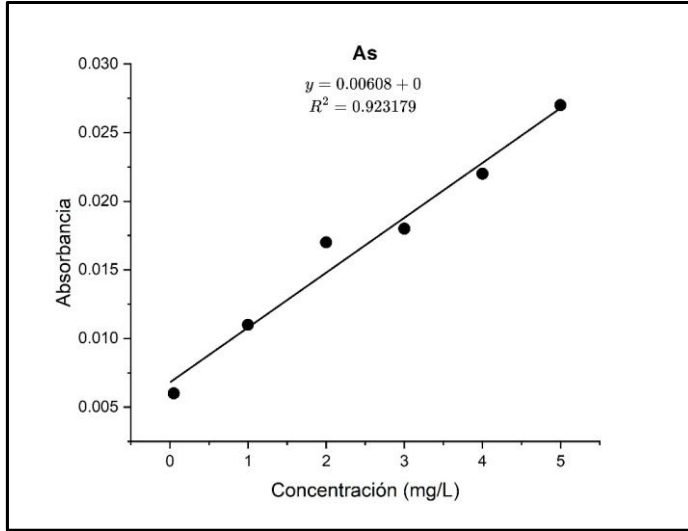


Gráfico 9. Curva de calibración de Arsénico

3.5 Resultados de las concentraciones presentes de los distintos metales analizados

La lectura de la presencia de metales por la técnica de absorción atómica se realizó el día 22 de enero de 2024, un día después de la recolección de las cinco muestras a analizar.

A partir del análisis de las muestras, se obtuvieron los valores de concentración de los siete metales, los cuales se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la concentración de los metales

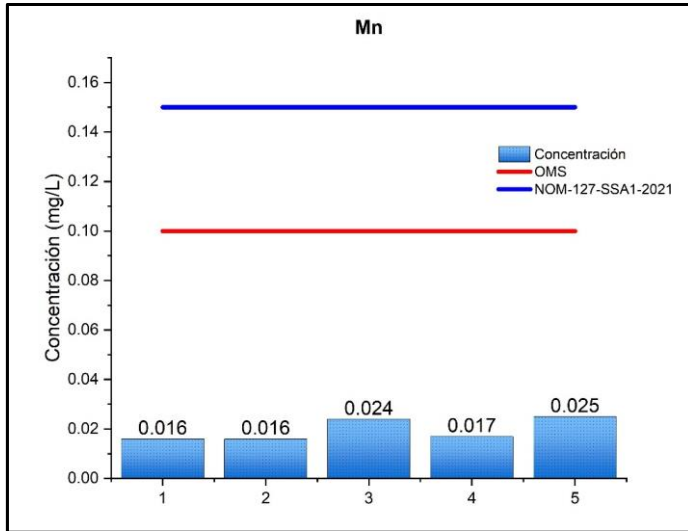
Metal	Concentración (mg/L)				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Manganeso	0.016	0.016	0.024	0.0170	0.025
Cobre	< 0.01	< 0.01	0.053	< 0.01	0.013
Hierro	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Plomo	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cadmio	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Arsénico	1.184	1.009	0.762	0.437	0.986

Hasta la fecha no se tiene un registro previo de algún estudio que determine la calidad del agua de pozo de la comunidad de Juan C. Bonilla, hablando en específico de la presencia de metales como son Cobre, Hierro, Manganeso, Cromo, Plomo y Cadmio, al no tener un antecedente con el cual comparar, el análisis se basa en los valores que especifica la norma NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

El análisis de metales en las muestras de agua de pozo mostró concentraciones detectables de Cobre (muestras 3 y 5), Manganeso y Arsénico. Los metales Hierro, Plomo, Cadmio y Cromo no fueron cuantificados, al encontrarse por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado (0.01 mg/L), indicando que su intervención a la contaminación del agua en esta zona es despreciable.

A pesar de que la norma NOM-127-SSA1-2021 fija un límite máximo permisible de 0.005 mg/L para el Cadmio, el equipo empleado, con un límite de detección de 0.001 mg/L, no permitió obtener resultados concluyentes para este metal, por esta limitación del equipo, se tomó como referencia el valor límite de detección.

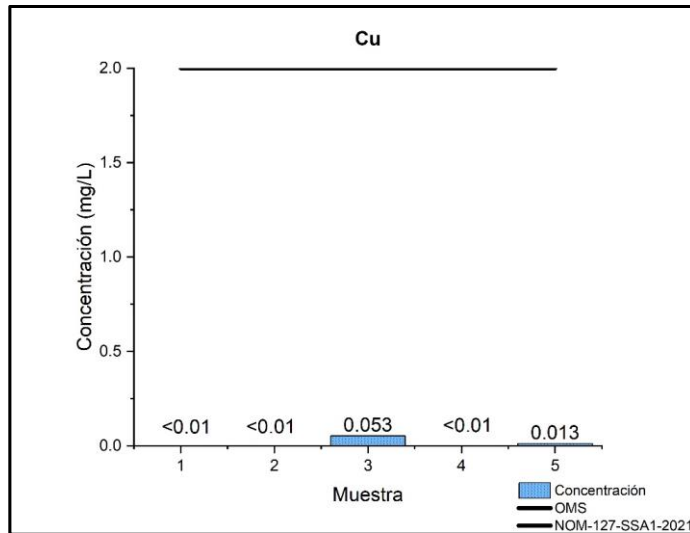
Centrándonos en el caso del Manganeso, se observa que los resultados obtenidos por el método analítico muestran que las concentraciones de Manganeso en todas las muestras se encuentran por debajo de este límite, lo cual indica que, en este aspecto, el agua cumple con la normativa mexicana que nos indica que el límite permisible debe ser de 0.15 mg/L y el límite establecido por la OMS de 0.10 mg/L.



Gráfica 10. Comparativa de la presencia de Manganeso en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.

La presencia de manganeso es común encontrarse en las aguas que provienen de pozos, esto debido a que el agua se ha encontrado en contacto con la roca durante un tiempo prolongado, un hallazgo que se observa en aquellos pozos profundos que su agua proviene de manantiales con alto contenido de minerales. (Zeomedia, 2023)

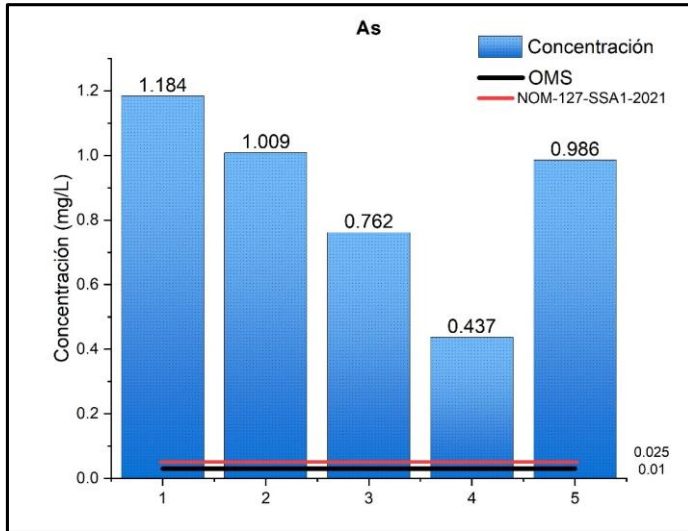
En el caso de la presencia de cobre, este metal se encontró presente en las muestras número 3 y 5, aunque en una concentración menor al límite permisible de 2 mg/L.



Gráfica 11. Comparativa de la presencia de Cobre en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.

Por lo general la manifestación de este metal en los abastecimientos de agua de uso y consumo humano se debe principalmente a la corrosión de las tuberías de cobre por donde se transporta el agua. La presencia de cobre a concentraciones mayores de 1 mg/L mancha la ropa lavada, lo que provoca problemas para su uso, a niveles aún mayores de 5 mg/L, el agua puede presentar problemas de color e incluso un sabor amargo, aunque si la concentración de cobre se encuentra dentro del valor de referencia de 2 mg/L, el sabor es aceptable. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

De todos los metales que se analizaron para determinar su concentración en las distintas muestras, el Arsénico es el que su presencia rebasa el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021, el cual es de 0.025 mg/L, los valores obtenidos en el análisis no sólo superan lo establecido por las normas mexicanas, de igual manera no cumple con el límite permisible que establece la OMS, que menciona en sus guías de calidad de agua de consumo humano, que la presencia de arsénico no debe de superar el valor de 0.01 mg/L.



Gráfica 12. Comparativa de la presencia de Arsénico en las muestras en relación con los valores de las normas de referencia.

Como se puede observar en el gráfico 12, la muestra 1 tiene una concentración de arsénico que excede en más de 40 veces el valor permitido por la OMS y en más de 47 veces el valor establecido por la NOM-127-SSA1-2021. La muestra con menor concentración (muestra 4) también excede los límites por más de 17 veces según la OMS y 17.5 veces según la normativa mexicana. Lo cual está implicando un exceso de presencia de arsénico en la zona de muestreo que representa un riesgo para la salud de la población que consume agua de pozo.

Con los resultados de las lecturas de las cinco muestras, se obtuvo un valor promedio para determinar la concentración media de la zona donde se realizó el muestreo. Los resultados se enlistan en la tabla 27, muestran que, de todas las muestras analizadas, aquellas correspondientes a la presencia de Arsénico, superan los límites máximos permisibles

establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 y la OMS. Los demás metales analizados no presentaron resultados que excedieran estos límites.

Tabla 27. Promedio de la presencia de los metales en la zona de estudio

Metal	Promedio (mg/L)
Manganeso	0.0196
Cobre	< 0.01
Hierro	< 0.01
Plomo	< 0.01
Cadmio	< 0.01
Cromo	< 0.01
Arsénico	0.8756

Si se realiza nuevamente una comparación entre los límites máximos permisibles establecidos de la NOM-127-SSA1-2021 y la OMS con el valor promedio para la concentración de arsénico en la zona de estudio, se observa que este valor aún se encuentra por encima de los límites, lo cual sigue siendo una alerta para la salud de la población como para la calidad del agua analizada.

Los resultados obtenidos en esta investigación ofrecen una base para futuras investigaciones, además de aportar una perspectiva de la calidad presente en las aguas de pozo del municipio de Juan C. Bonilla en Puebla, lo que permitirá seguir investigando para prevenir que los pobladores presenten problemas de salud a futuro e informar sobre la importancia de conocer las condiciones del agua que consumen.

CONCLUSIONES

1. La calidad del agua de pozo de la región de Juan C. Bonilla, en cuanto a parámetros como pH y conductividad, se determina como adecuada para su uso y consumo cotidiano, cumpliendo con las especificaciones que establece la NOM-127-SSA1-2021 y la OMS.
2. La presencia de metales como cobre, cromo, cadmio, plomo, hierro y manganeso no representan un peligro para la calidad del agua subterránea, ni para la salud pública de la población que consume agua de los pozos en la región de Juan C. Bonilla, Puebla.
3. El promedio de concentración de arsénico en el agua de consumo humano proveniente de pozos de la zona de muestreo, en la región de Juan C. Bonilla, Puebla, es de 0.8756 mg/L, lo cual supera la concentración máxima permisible establecido por la NOM-127-SSA1-2021 (0.025 mg/L) y el límite permisible dado por la OMS (0.015 mg/L).
4. La presencia de arsénico en las aguas subterráneas puede deberse a diversos factores. Aunque algunos investigadores atribuyen esta contaminación a actividades volcánicas, debido a las emisiones de ceniza que se lixivian (físicoquímica o biológica), también es posible concluir que la existencia de zonas industriales genera lluvia acida, lo cual podría promover la disolución del arsénico y su incorporación en las aguas subterráneas.
5. Los resultados obtenidos en este estudio, en conjunto con los datos reportados por el informe del CONAHCYT de 2023, sugiere una posible correlación entre la elevada concentración de arsénico en el agua de consumo humano en Juan C. Bonilla, Puebla, y el aumento en la incidencia de leucemia aguda en su población. Este informe destaca que Juan C. Bonilla es uno de los siete municipios del estado de Puebla con problemas de salud en jóvenes menores de 20 años, relacionados con niveles elevados de arsénico detectados en análisis de orina.
6. Este estudio ha identificado la presencia de arsénico en las aguas subterráneas de Juan C. Bonilla, lo que resalta la necesidad de investigaciones más exhaustivas para determinar la magnitud de la contaminación y las fuentes de arsénico mediante procedimientos validados.

Recomendaciones

- Divulgar a la población la información acerca de los peligros relacionados con la toxicidad del arsénico en el agua de consumo humano proveniente de pozos, para prevenir el aumento en la tasa de enfermedades por la exposición de este metal, como puede ser la leucemia aguda o enfermedades renales crónicas. Asimismo, promover la realización de análisis más exhaustivos de la calidad del agua de pozo de manera periódica, con el fin de proteger la salud de la comunidad.
- Difundir entre la población las tecnologías accesibles y efectivas para la remoción de arsénico del agua de consumo humano, por mencionar algunos como, filtros con clavos de hierro, fibra comercial, grava y arena (Avilés Flores, Garrido Hoyos, Nájera Flores, & de la Paz , 2011), así como otros materiales, zeolita y membranas (Reyes Javier, Chaupis Cadillo, Iglesias Osoreo , & Barreto Pio, 2020). Estas soluciones, de bajo costo y fácil mantenimiento, han demostrado ser efectivas en otras comunidades, contribuyendo a mejorar la calidad del agua y proteger la salud de la población.

REFERENCIAS

- Alameda, J. L. (Enero de 2019). *Plan de Desarrollo Municipal de Juan C. Bonilla*.
Obtenido de Plan de Desarrollo Municipal de Juan C. Bonilla:
<https://www.jcb.gob.mx/trans/docs/normativa/dpd2.pdf>
- Alvarez, C., Vergara, F. M., Acevedo, R. B., & Severiche, C. S. (Junio de 2014).
EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y SELENIO EN AGUAS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.
Obtenido de Revista Boliviana de Química :
http://scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0250-54602014000100003
- Amatriain Elcinto, M. (2000). Efectos del exceso de hierro sobre la salud . *Medicina Naturista* , 4 .
- Arriaga, L., Aguilar, V., & Alcocer, J. (2000). *Aguas continentales y diversidad biológica de México* . México : CONABIO .
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (Julio de 2010). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Obtenido de Resolución A/RES/64/292:
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.
- Avilés Flores, M., Garrido Hoyos, S. E., Nájera Flores, M., & de la Paz, J. S. (2011).
Remoción de arsénico del agua de consumo humano con filtros de clavos de hierro, fibra comercial, grava y arena. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 27-35.
- Board, C. S. (s.f.). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad*. Obtenido de
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf
- Bonilla, J. C. (2024). *H. Ayuntamiento de Juan C. Bonilla*. Obtenido de
<https://www.jcb.gob.mx/index.html>
- Boyd, C. (1 de October de 2017). *Global Seafood Alliance*. Obtenido de
[https://www.globalseafood.org/advocate/electrical-conductivity-water-part-1/#:~:text=Conductivity%20in%20water%3A%20Ohm's%20law,\(R\)%20of%201%20ohm.](https://www.globalseafood.org/advocate/electrical-conductivity-water-part-1/#:~:text=Conductivity%20in%20water%3A%20Ohm's%20law,(R)%20of%201%20ohm.)
- Briceño Polo, A. (5 de Julio de 2019). *Contaminación geogénica en las aguas subterráneas de España*. Alcalá de Henares.
- Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter, M. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana* . CYTED, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Camacho, L., Gutiérrez, M., Alarcón Herrera, M., Villalba, M., & Deng, S. (2011).
Occurrence and treatment of arsenic in groundwater and soil in northern Mexico and southwestern USA. *Chemosphere*, 211-225.

- Campos, A., Alcaraz, G., Herrera, E., Sosa, M., Jiménez, J., Delgado, M., . . . Puga, S. (2007). Análisis temporal de las concentraciones, distribución de tamaño y morfología de partículas suspendidas menores a 10 micras en la ciudad de Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 44-51.
- CENAPRED. (2023). *Mapas de Peligros del volcán Popocatepetl*. Obtenido de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/357-CARTELMAPASDEPELIGRODELVOLCNPOPOCATPETL.PDF>
- CONAGUA. (Junio de 2014). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Puebla, Estado de Puebla*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: https://d1wqtxs1xzle7.cloudfront.net/38336775/DR_2104-libre.pdf?1438273024=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DComision_Nacional_del_Agua_Subdireccion.pdf&Expires=1715669994&Signature=DiWqg2yDVz2hmQCSqrNtFD68Gwa8-cW4pd42Z6wt-n8iBUIA3m~VZ5
- CONAGUA. (28 de Febrero de 2022). *Calidad del agua en México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua#:~:text=Con%20base%20en%20ello%2C%20en,agua%20superficial%20a%20nivel%20nacional>.
- CONAGUA. (21 de Mayo de 2024). *Registro Público de Derechos de Agua*. Obtenido de Consulta a la base de datos del REPDA: <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- CONAGUA. (s.f.). *Aguas Subterráneas / Acuíferos*. Obtenido de Disponibilidad por Acuífero : <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/puebla/puebla.html>
- CONAHCYT. (2023). *1er Informe Estratégico Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla): Región de emergencia sanitaria y ambiental; Problemática socioambiental y recomendaciones para su atención integral*. Ciudad de México : CONAHCYT .
- Cruz Sánchez, M., Cruz Santos, M., Ángeles García, S., & Girón García, P. (2021). Caracterización de cenizas volcánicas depositadas en la ciudad de Puebla. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 65-76.
- Díaz, R. (2014). *Determinación de la concentración de plomo, cadmio y cromo como contaminantes ambientales en pacientes previo tratamiento de ortodoncia y su efecto sobre cepas de Streptococcus mutans*. Puebla: Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Distancia. (1 de Abril de 2024). *Distancia MX*. Obtenido de <https://distancia.mx/Puebla/Cuanala>
- DOF. (2016). NOM-127-SSA1-1994. *Diario Oficial de la Federación* .

- DOF. (8 de Mayo de 2023). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* . Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. (8 de Noviembre de 2007). *Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos*. Obtenido de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos/>
- Fuentes, A., Campas, O., Aguilar, M., & Meza, M. (2007). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano de tres comunidades rurales del Sur de Sonora (México). *Revista Salud Pública y Nutrición* .
- Girón, D. (2009). Evaluación y mapeo de la calidad del agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de chiquimula. *Universidad de San Carlos de Guatemala* .
- González, R. (30 de Septiembre de 2019). Denuncian pobladores de Juan C. Bonilla que ayuntamiento permitirá contaminación. *MILENIO*.
- Hernández , D. (22 de Mayo de 2024). Municipios poblanos de la Cuenca del Atoyac, con la mayor mortalidad por leucemia. *El Sol de Puebla*.
- Herrera Portugal , C., Franco , G., Barrientos , H., & Rodriguez , M. (2015). La contaminación por manganeso en comunidades expuestas a fungicidas etilenditiocarbamatos en el Soconusco (Chiapas, México). *Higiene y Sanidad Ambiental* , 1315-1318.
- Ibáñez Cornejo, J. G., Hernández Esparza, M., Mohan Singh, M., Doria Serrano, M., & Fregoso Infante, A. (2007). *Química Ambiental*. Nueva York: McGraw Hill.
- INAFED, I. p. (2010). *Enciclopedias de los Municipios y Delegaciones de México*. Obtenido de <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/index.html>
- INEGI. (2020). *Compendio de información geográfica municipal 2020*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21090.pdf
- INEGI. (2020). *Panorama Sociodemográfico de México*. Puebla: Instituto Nacional de Estadística y Geografía .
- INEGI. (1 de Mayo de 2023). *Marco Geoestadístico*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- INEGI. (s.f.). *Información por entidad*. Obtenido de INEGI: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21>

- Isaac Márquez , A., Lezama Dávila, C. M., Ku-Pech, P. P., & Tamayo Segovia , P. (19 de Abril de 1994). *alidad sanitaria de los suministros de agua para consumo humano en Campeche*. Obtenido de Salud Pública de México:
<https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/5803/6465>
- Iturbe , A., & Silva, M. (1992). *Agua subterránea y contaminación* . México : Series del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México .
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México : UNAM.
- Londoño Franco , L. F., Londoño Muñoz , P. T., & Muñoz García , F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal . *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 145-153.
- Martínez Guijarro, M. (s.f.). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valéncian:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%c3%adnez%20%20An%c3%a1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%c3%ada%20de%20Absorci%c3%b3n%20At%c3%b3mica%20%28EAA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, J. L., Meza , M. M., Balderas , J. C., Mondaca , I. F., & Corpus, B. V. (2017). Determinación de metales traza en agua de pozo mediante espectrofotometría de absorción atómica en la comunidad de Pótam, Sonora. *iencias Ambientales: Tendencias y Aplicaciones Tecnológicas en México*, 115-119.
- Microsoft. (20 de Enero de 2024). *Google Earth* . Obtenido de
<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Molina, E. (2002). Cálculo de disoluciones y calidad del agua. *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*, 36-46.
- Naciones Unidas . (2022). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible*. París: UNESCO.
- Observatorios, R. N. (2023). *Diagnóstico de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos*. Puebla : Red Nacional de Observatorios .
- Olmos Palma, D., & Octavio Aguilar , P. (2022). Efectos sobre la salud por agua contaminada con metales pesados . *Herreriana* , 4-5.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra : Creative Commons.
- Oropeza, D. (29 de Octubre de 2019). Mujeres del Metlapanapa se preparan para limpiar su río. *ZonaDocs Periodismo en Resistencia*.

- Orozco , M., Ramírez Aguilar, F., & Cruz López , J. (2008). Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos en la Costa de Chiapas, México. *Higiene y Sanidad Ambiental* , 8;348-3454.
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (20 de Marzo de 2021). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, págs. 9-18.
- Penagos , J. (2003). Implementación de un plan de análisis de riesgos y puntos críticos de control en la industria de agua purificada. *Universidad del Valle de Guatemala* .
- Reyes Javier, G. C., Chaupis Cadillo, R. F., Iglesias Osoreo , S., & Barreto Pio, C. (2020). Remoción de arsénico en agua con zeolitas naturales con cloruro férrico. *SciELO*.
- Reyes, Y., Vergara , I., Torres, O., Díaz , M., & González , E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 12.
- Robles, C., Chávez, D., González, J., & Júnez , H. (2016). Evaluación de la Contaminación del Agua Subterránea por Metales Pesados en un Acuífero Somero. *Simulación y Laboratorio*, 15-22.
- Salas Marcial, C., Garduño Ayala , M., Mendiola Ortiz, P., Vences García , J., Zetina Román , V., Martínez Ramírez , O., & Ramos García , M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. . *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* , 16.
- Santamaría Juárez, J. D., Linares Ruíz , V., Castañeda Antonio , M. D., Ramírez Guzman , M., Juárez Meneses , M., Velasco , Á., . . . Báez , A. (2022). Caracterización fisicoquímica de material particulado del Popocatepetl, trayecto Atlixco-Puebla, y su impacto en la salud y el ambiente. *Acta universitaria* .
- Secretaría de Salud. (12 de Julio de 2005). NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. *Diario Oficial de la Federación* .
- SEMARNAT. (20 de Octubre de 2004). NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación* .
- SEMARNAT. (15 de Mayo de 2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos* . Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- SEMARNAT. (s.f.). *Unidades principales de suelo en México*.

- Shrestha , S., Bach, T., & Pandey, V. (2016). *Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios*. Environmental Science and Policy .
- Skoog, D., Holler, F., & Crouch, S. (2008). *Principios de análisis instrumental*. McGraw Hill.
- Smedley, P., Arreguín , F., Arreguín Cortés , F., & Chávez Guillén , R. (2009). Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. *Revista Tlaloc Asociación Mexicana de Hidraulica*, 15.
- Truque, P. A. (s.f.). *Armonización de los Estandares de Agua Potable en las Americas* .
Obtenido de
<https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- USEPA. (2004). *EPA-822R04005. Drinking water standards and health advisories. National Primary Drinking Water Standards*. Obtenido de
<https://www.epa.gov/dwreginfo/drinking-water-regulations>
- Velázquez , A., Torres, A., & Bocco, G. (2003). *Las enseñanzas de San Juan, investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. Ciudad de México : Instituto Nacional de Ecología .
- Vivanco, J., Bojórquez , J., Murray, R., Nájera, O., Hernández , A., & Flores, F. (2010). Características de los principales suelos de la cuenca del Río Mololoa, Tepic, Nayarit, México . *Cultivos Tropicales*, 32-40.
- WRB, G. d. (2007). *IUSS*. Obtenido de Base Referencial Mundial del Recurso Suelo :
<https://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>
- Zeomedia. (7 de Diciembre de 2023). *Linkedin*. Obtenido de Presencia de hierro y manganeso en agua de consumo: Problemática que afecta significativamente a México.: <https://www.linkedin.com/pulse/presencia-de-hierro-y-manganeso-en-agua-consumo-problem%C3%A1tica-861tc/>

Anexo A



Imagen 1. Curva de calibración multielemental



Imagen 2. Equipo para medición de pH utilizado.



Imagen 3. Equipo utilizado para medir conductividad.

