



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-



PRIMERA EDICIÓN
2023

REVISTA DIGITAL

Kitzia

PORTADORA DE LA VERDAD



REVISTA DE LA DIVISIÓN DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA-CUNOC

Kitzia

DIRECTORIO

Director General Centro Universitario de Occidente:

Dr. César Haroldo Milián Requena.

Secretario Administrativo:

Lic. José Edmundo Maldonado

Director División de Ciencia y Tecnología:

Ing. Hugo Leonel Rodríguez Loarca.

Coordinador Carrera de Agronomía:

Ing. Fernando Montes Minera.

Coordinador Carrera de Gestión Ambiental Local:

Ing. MSc. Jesús Feliciano de León Wannam.

Coordinador Carrera de Administración de Tierras:

Ing. MSc. Javier Zúñiga Cervantes.

EDITORIAL

Es para la Dirección de la División de Ciencia y Tecnología del CUNOC un verdadero gusto y honor iniciar con este proceso de difundir artículos de investigación efectuados en el mundo de la Ciencia y Tecnología y, ponerlos a disposición de la Sociedad guatemalteca interesada en el ámbito de la producción y mejoramiento de la agricultura; del manejo y conservación de los bienes y recursos naturales, así como de la gestión territorial de la región occidental y del país. La edición y publicación de este primer número surge para fortalecer la investigación universitaria que ha sido un mandato postergado en el quehacer académico de nuestra División. Hemos de reconocer que hay dificultades serias para hallar espacios para la realización de esta actividad científica universitaria, pero creemos firmemente que son procesos que con el transcurrir del tiempo se fortalecerán y nos representarán en el quehacer de nuestra División y, que habrán de sumarse personas e instituciones a la investigación y difusión de sus resultados.

La Ciencia y Tecnología se fundamenta en proporcionarnos conocimientos para entender nuestra situación actual y la del universo y proporcionarnos herramientas y metodologías para transformar esa realidad; en ese sentido, esta primer edición se enfoca en analizar y describir problemáticas en el manejo del Recurso Hídrico, los autores de los artículos que aquí se difunden, todos egresados de las carreras que conforman esta División, han tenido diversas experiencias en las distintas tareas y acciones en la gestión de agua para consumo humano, reúso de aguas residuales tratadas, para el riego en la producción hortícola, las dificultades actuales y las estrategias que se tienen para que los territorios tengan mejores oportunidades de recarga hídrica y; el uso de nuevas tecnologías como es el caso de nanoburbujas para disminuir la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua importantes para nuestras cuencas.

La problemática analizada busca contribuir de manera importante en la mejora de la calidad de vida de quienes habitamos este territorio. El Recurso hídrico es universal, por tanto, su análisis debe ser integral, aborda distintas Ciencias y disciplinas y desemboca en la toma de decisiones políticas que si no se enfocan hacia el sostenimiento y largo plazo, nos veremos condenados a observar el deterioro acelerado de nuestros bienes naturales, al punto, incluso de un punto de no retorno.

Para ustedes a quienes va dirigida esta publicación, esperamos que le genere nuevos conocimientos y, despierte el interés por contribuir a la investigación, y como División de Ciencia y Tecnología del CUNOC estaremos prestos a analizar y discutir constantemente esta problemática, con la finalidad de generar expectativa y ciencia y contribuir, como se apuntó, al desarrollo de nuestras regiones y territorios.

Esperamos poder mantener la constancia de nuestras publicaciones con información importante, y si usted como persona individual o colectiva desea contribuir, sus aportes y estudios serán siempre bienvenidos al mundo de la Docencia e Investigación con democracia. Agradecemos a los profesionales que contribuyeron con este primer número, seguros estamos que caerán en suelo fértil y que motivará a que Docentes, participemos activamente en la investigación y que nuestros estudiantes se entusiasmen y esfuercen por generar y participar proyectos de investigación importantes en su formación académica. Esperando poder saludarles prontamente.

ÍNDICE

● Directorio	1
● Editorial	2
● Índice	3
● Diseño del sistema de tratamiento del agua del municipio de Almolonga, Quetzaltenango.....	4
● Efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales: su reutilización para riego en la producción hortícola, planta del barrio San Bartolo, Sololá.....	7
● Estimación de recarga hídrica potencial de los acuíferos del municipio de San Ildefonso Ixtahuacan, mediante un balance hídrico de suelos.....	11
● Evaluación de tecnología de nanoburbujas para la reducción de metales pesados, en una muestra del Lago de Amatitlán, Guatemala.....	16
● Invitación	19
● Créditos y Agradecimientos	20

Diseño del sistema de tratamiento del agua del municipio de Almolonga, Quetzaltenango.

Autor: Doctor PhD Dagoberto Alfredo Bautista Juárez. Profesor titular, División de Ciencia y Tecnología.

Sobre el autor: Ingeniero agrónomo en sistemas de producción agrícola, Master en ciencia y tecnología de recursos hídricos, Master en ingeniería sanitaria con especialización en agua potable, PhD en Ingeniería civil, PhD en Ingeniería geotécnica.

Resumen:

La presente investigación, se realizó con el propósito de obtener el Diseño del Sistema de Tratamiento del Agua Potable proveniente de los pozos mecánicos en el municipio de Almolonga, Quetzaltenango, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de la calidad del agua, en base a los parámetros ya establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001.

De acuerdo con el análisis físico químico y bacteriológico realizado al agua potable en las zonas que abastecen a la población, por medio de pozos mecánicos y de los nacimientos, este satisface los criterios de calidad de la Norma COGUANOR NTG 29001, a excepción del área de jurisdicción del pozo mecánico Xeul, que presentó 50 UFC/100ml de coliformes totales y 1 UFC/100 ml de Escherichia coli y del pozo artesanal comunal cercano a las áreas de cultivo, que presentó una alta contaminación microbiológica con 5,000 UFC/100ml de coliformes totales y 3,000 UFC/100 ml de Escherichia coli y el parámetro Boro (B) teniendo un resultado de 4 mg/L siendo mayor que el Límite Máximo Permissible de 0.30 mg/L

El agua que ya no se utiliza en las pilas comunales y de las piscinas, sirve para riego en los cultivos de hortalizas; en una parte del área de cultivo no se encontró contami-

Introducción:

La presente investigación, se realiza con el propósito de obtener el Diseño del Sistema de Tratamiento del Agua Potable proveniente de los pozos mecánicos en el municipio de Almolonga, Quetzaltenango, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de la calidad del agua, en base a los parámetros ya establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001.

De acuerdo con el análisis físico químico y bacteriológico realizado al agua potable en las zonas que abastecen a la población, por medio de pozos mecánicos y de los nacimientos, este satisface los criterios de calidad de la Norma COGUANOR NTG 29001, a excepción del área de jurisdicción del pozo mecánico Xeul, que presentó 50 UFC/100ml de coliformes totales y 1 UFC/100 ml de Escherichia coli y del pozo artesanal comunal cercano a las áreas de cultivo, que presentó una alta contaminación microbiológica con 5,000 UFC/100ml de coliformes totales y 3,000 UFC/100 ml de Escherichia coli y el parámetro Boro (B) teniendo un resultado de 4 mg/L siendo mayor que el Límite Máximo Permissible de 0.30 mg/L.

El agua que ya no se utiliza en las pilas comunales y de las piscinas, sirve para riego en los cultivos de hortalizas; en una parte del área de cultivo no se encontró contaminación, comparando con la normativa antes aludida. De igual forma, no se encontró la presencia de Hierro, Zinc, Cromo y de otros parámetros que cumplen con el Límite Máximo Aceptable como Manganeseo, Aluminio, Cianuro, Calcio, Cobre, por lo que no se realizó el diseño del sistema de tratamiento para la remoción de estos elementos que se encuentran entre los límites aceptables y permisibles.

La cantidad de personas que necesitan la cloración del sistema es de 2,833 personas en total, que están expuestas a problemas de contaminación bacteriológica. Para ello se diseñó el sistema de cloración respectiva, necesitando 3.44 l/h de caudal de hipoclorito (Qcl) para tratar el caudal de agua de 17.71 m³/h y en relación al porcentaje de pureza del hipoclorito comercial fue de 5%.

Entre las recomendaciones realizadas se debe de adoptar un sistema de cloración en la zona que presentó presencia de microorganismos, tanto en el área del pozo mecánico Xeul, como del pozo artesanal comunal, mediante la correcta cloración con una bomba de la gama DOSITEC MD (para caudales hasta 9l/h) capaz de dosificar los 3.90 l/h necesarios de hipoclorito.

Tratamiento de aguas por posibles contaminantes presentes:

Los principales contaminantes del agua incluyen bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales y hasta sustancias radiactivas. Estos elementos no siempre tienen el agua, haciendo que la contaminación hídrica resulte invisible en muchas ocasiones.

nación, comparando con la normativa antes aludida. De igual forma, no se encontró la presencia de Hierro, Zinc, Cromo y de otros parámetros que cumplen con el Límite Máximo Aceptable como Manganeseo, Aluminio, Cianuro, Calcio, Cobre, por lo que no se realizó el diseño del sistema de tratamiento para la remoción de estos elementos que se encuentran entre los límites aceptables y permisibles.

La cantidad de personas que necesitan la cloración del sistema es de 2,833 personas en total, que están expuestas a problemas de contaminación bacteriológica. Para ello se diseñó el sistema de cloración respectiva, necesitando 3.44 l/h de caudal de hipoclorito (Qcl) para tratar el caudal de agua de 17.71 m³/h y en relación al porcentaje de pureza del hipoclorito comercial fue de 5%.

Entre las recomendaciones realizadas se debe de adoptar un sistema de cloración en la zona que presentó presencia de microorganismos, tanto en el área del pozo mecánico Xeul, como del pozo artesanal comunal, mediante la correcta cloración con una bomba de la gama DOSITEC MD (para caudales hasta 9l/h) capaz de dosificar los 3.90 l/h necesarios de hipoclorito.

Palabras Clave: Diseño, análisis físico químico, calidad del agua, tratamiento del Agua Potable.

El almacenamiento y disposición inadecuado de químicos domésticos como pinturas, detergentes sintéticos, aceites, solventes, medicinas, desinfectantes, químicos de piscinas, pesticidas, baterías, combustibles de gasolina y diésel, puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas.

Sustancias Químicas en la superficie del suelo:

Hoy en día, los contaminantes químicos se analizan realizando investigaciones, en donde existe la posibilidad de presencia de contaminación en el terreno propio o en el adyacente; por ejemplo, en la actividad agrícola se utilizan fertilizantes que contienen nitrógeno, la aplicación de insecticidas o la presencia de depósitos de combustible. Si no puede repararse el suministro de aguas y el pozo sigue contaminado, o las sustancias químicas en cuestión son de origen natural, es posible una filtración o el tratamiento para prácticamente cualquier contaminante químico o biológico.

No obstante, el tratamiento puede ser complejo y/o costoso y puede requerir un mantenimiento cuidadoso o por parte de un profesional; es importante indicar, que estas sustancias químicas se utilizan en la superficie del suelo, es decir, si se necesita el nitrógeno, se tiene que utilizar un fertilizante que contenga dicha sustancia química, en este caso la urea; la reacción de la misma es la siguiente: La urea puede ser empleada como una fuente de hidrógeno sostenible y segura debido a su nula toxicidad, estabilidad y facilidad de transporte y almacenamiento. La descomposición de la urea genera en una primera etapa amoníaco, que posteriormente puede descomponerse a hidrógeno y nitrógeno. El exceso de nitratos en el agua potable puede causar el "síndrome del bebé azul" o metahemoglobinemia. Hay varias opciones de tratamiento disponibles para eliminar el nitrato del agua.

Sustancias químicas que existen dentro de la estructura hidrogeológica:

Estas sustancias se encuentran en el agua subterránea, en donde ya se ha realizado el proceso de degradación y descomposición en la superficie del suelo, y por medio de un proceso de infiltración y percolación llegan a los mantos acuíferos contaminando los mismos.

De acuerdo con la composición química del agua de pozo, esta varía con la región, por ejemplo, en Guatemala existen diferentes formaciones geológicas de importancia y contaminación medioambiental, y puede ser perjudicial, beneficiosa o simplemente indeseable. Por ejemplo, cierta cantidad de flúor es deseable, mientras que el hierro es indeseable.

Muchas otras sustancias químicas, algunas de las cuales son potencialmente tóxicas, pueden contaminarla, siendo atribuible su presencia o ausencia a los factores geológicos naturales o a los vertidos de la industria, explotaciones agrícolas o empresas (Tabla 1). los nitritos se oxidan y se vuelven nitratos; es importante mencionarlo,

porque los nitritos son algo que la EPA no aprueba en el agua potable, según sus estándares. Kross BC, Hallberg GR, Bruner DR, Cherryholmes K, Johnson JK. (1993 febrero;83(2):270-2.), indican que la presencia de nitratos es particularmente problemática para lactantes.

Las sustancias químicas contaminantes presentes con más frecuencia, son las sustancias orgánicas volátiles y los plaguicidas, que pueden identificarse en más de un tercio de los pozos de Estados Unidos, aunque la mayoría a concentraciones inferiores a las mencionadas en los estándares federales para el agua de uso doméstico. El exceso de nitratos en el agua potable puede causar el “síndrome del bebé azul” o metahemoglobinemia. Hay varias opciones de tratamiento disponibles para eliminar el nitrato del agua.

El hidrógeno y el nitrógeno gaseoso reaccionan para crear amoniaco; el nitrato está presente en el agua de forma natural, pudiéndose incrementar su concentración por actividades humanas. Estas fuentes humanas de nitrógeno y, por tanto, de nitratos para el agua de consumo humano, son: Fertilizantes inorgánicos y orgánicos, como en el presente caso de estudio del valle de Almolonga, donde se cultivan hortalizas, entre otros.

El nitrato se forma naturalmente como producto final de la descomposición de productos animales y vegetales, lo que hace que este proceso sea la fuente principal de iones de nitrato en el ambiente terrestre y acuático.

Método:

Métodos de Análisis:

Las determinaciones de las especificaciones y características fisicoquímicas, microbiológicas y aspectos radiológicos del agua, indicadas en la presente norma, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

Muestreo:

El muestreo para el análisis fisicoquímico, microbiológico y los aspectos radiológicos del agua, indicado en la presente norma, y los criterios de aceptación o rechazo, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

Normas a Consultar:

COGUANOR NGO 4010. Sistema Internacional de Unidades (SI).
COGUANOR NGO 29 018 h21. Agua. Prueba de sustrato enzimático para determinación de coliformes totales y Escherichia coli.

Mientras las normas COGUANOR relacionadas no sean actualizadas, se aplicarán los métodos normalizados establecidos en Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, APHA, en su última edición.

Además de los métodos indicados, se podrán emplear los establecidos en la versión más reciente de las Normas ISO 5667 1 a la 19, ISO 9695 (beta total) e ISO 9696 (alfa total).

Toma de Muestras:

Análisis de agua potable según COGUANOR NTG 29001.

La muestra es tomada en cada uno de los pozos mecánicos o en su defecto, es muestreado en la vivienda más cercana a este, la cantidad de agua necesaria es de un litro y medio; se debe tomar la muestra en botellas de plástico limpias, (bien lavadas y enjuagadas tres veces con el agua a analizar), sin dejar cámara de aire.

Algunos sistemas de agua subterránea (que obtienen el agua a través de pozos), han establecido programas de protección de áreas inmediatas a pozos de agua potable, para evitar que las sustancias contaminen sus pozos.

En cada punto de muestreo, se miden in situ los parámetros físicos del agua, tales como: El pH y el oxígeno disuelto, utilizando equipos electrónicos Multi parámetro, tales como el oxímetro THERMO SCIENTIFIC, para la medición del oxígeno disuelto (ppm) y el potenciómetro WTW PH 320, para la medición del pH (UpH). Se recolectan muestras de agua para los análisis químicos en el laboratorio, para determinar DBO5, nitratos, sólidos disueltos totales, turbidez, dureza, sulfatos, amoniaco, expresados –la mayoría– en Mg/L; también se recolectan muestras de agua para los análisis microbiológicos en el laboratorio, para determinar Coliformes totales, acompañados de Coliformes fecales expresados en Nmp/100ml, finalmente, se obtienen muestras para determinar en el laboratorio, metales como Mn, Al, y hierro expresados en mg/l.

Resultados:

No se encontró la presencia de Hierro, Zinc, Cromo y de otros parámetros que cumplen con el Límite Máximo Aceptable como Manganeseo, Aluminio, Cianuro, Calcio, Cobre. Por ese motivo, no se realizó el diseño del sistema de tratamiento para la remoción de estos elementos, que se encuentran entre los límites aceptables y permisibles.

La cantidad de personas que necesitan la cloración del sistema es de 2,833 personas en total, quienes están expuestas a problemas de contaminación bacteriológica.

Para ello, se diseñó el sistema de cloración respectiva, siendo el siguiente:

Protocolo de Cloración:

A modo general, se puede establecer un protocolo de cloración que consta de varias etapas:

1. Estimación de la demanda de cloro o punto de ruptura. Permite determinar la dosis de cloro que se ha suministrar, para conseguir una completa desinfección del agua.

2. Establecimiento del valor de Ct a que se necesita trabajar. Permite ajustar el tiempo de contacto entre el hipoclorito y los microorganismos, de forma que se obtenga un agua desinfectada.

Habitualmente, la dosificación de desinfectante se realiza en un depósito en la red de distribución, para permitir la máxima homogeneización del agua. El dimensionado de tanques de tratamiento ha de tener en cuenta el parámetro Ct para permitir un tiempo de permanencia adecuado al tratamiento. En general, se considera que a pH inferior a 8, un tiempo de contacto de 30 minutos es suficiente. Se recomienda que el tiempo de permanencia del agua en el tanque sea inferior a 48 horas.

Cálculo de la bomba dosificadora:

La fórmula general para calcular el dimensionado de la bomba dosificadora es la siguiente.

Donde:

$$Q_{Cl} = \frac{Q_{H_2O} \times (D + C)}{10 \times \%}$$

QCl es el caudal de hipoclorito expresado en l/h

QH2O es el caudal de agua a tratar = 17.71 m3/h

D es la demanda de cloro de la muestra de agua, expresada en ppm (mg/l)= 10 mg/l

C es el nivel de cloro residual de acuerdo al parámetro C t, expresado en ppm =1 mg/l

% es el porcentaje de pureza del hipoclorito comercial= 5%

Se necesita clorar el agua con un caudal de entrada en la cuba de tratamiento de 17.71 m3/h. La demanda de cloro de la muestra es de 10 mg/l y de acuerdo al tiempo de permanencia en el depósito (y según las tablas C t) es necesario un residual de cloro de 1 mg/l. El producto que se pretende inyectar es un producto comercial con una riqueza del 5% en cloro activo.

Dado que el caudal de agua es variable, es necesario hacer la estimación del caudal de la bomba necesario en las condiciones extremas.

Así, el caudal de agua es de 17.71 m3/h y el cálculo es el siguiente como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Cálculo y demanda de cloro

Datos		
POBLACIÓN:	2833 PERSONAS	
DOTACIÓN	150 LITROS/DIA	17.71 M3/H
$Q_{Cl} = \frac{Q_{H_2O} \times (D + C)}{10 \times \%}$		
QCl es el caudal de hipoclorito expresado en l/h=	$17.71 \times (10 + 1) / 10 \times 5 =$	3.90 l/h
QH2O es el caudal de agua a tratar en m3/h=	17.71 m3/h	
D es la demanda de cloro de la muestra de agua, expresada en ppm (mg/l)	10	
C es el nivel de cloro residual de acuerdo al parámetro C t, expresado en p	1	
% es el porcentaje de pureza del hipoclorito comercial	5	

Nota: Cálculos del agua a tratar, demanda y nivel de cloro residual, Elaboración Bautista, con imagen tomada en Excel, 2023.

Por tanto, para poder garantizar la correcta cloración en esta etapa, sería necesaria una bomba de la gama DOSITEC MD (para caudales hasta 9l/h) capaz de dosificar los 3.90 l/h necesarios.

Conclusiones:

1. El análisis físico químico y bacteriológico realizado en las zonas que abastecen a la población por medio de pozos mecánicos y de los nacimientos, satisface los criterios de calidad de la norma COGUANOR ntg 29001, a excepción del área de jurisdicción del pozo mecánico Xeul que abastece a esta área y presentó 50 UFC /100ml de coliformes totales y 1 UFC /100 ml de Escherichia coli y del pozo artesanal comunal cercano a las áreas de cultivo, que presentó una alta contaminación microbiológica con 5000 UFC /100ml de coliformes totales y 3000 UFC /100 ml de Escherichia coli. El parámetro Boro (B) tuvo un resultado de 4 mg/L, siendo el Límite Máximo Permisible de 0.30 mg/L.
2. El agua que ya no se utiliza en las pilas comunales y de las piscinas, sirve para riego en los cultivos de hortalizas; en una parte del área de cultivo no se encontró contaminación, comparando con la normativa antes aludida.
3. No se encontró la presencia de Hierro, Zinc, Cromo y de otros parámetros que cumplen con el Límite Máximo Aceptable, como Manganeseo, Aluminio, Cianuro, Calcio, Cobre. Por ese motivo, no se realizó el diseño del sistema de tratamiento para la remoción de estos elementos que se encuentran entre los límites aceptables y permisibles.
4. La cantidad de personas que necesitan la cloración del sistema es de 2833 personas en total, que están expuestas a problemas de contaminación bacteriológica. Para ello, se diseñó el sistema de cloración respectiva, necesitando 3.44 l/h de caudal de hipoclorito (Qcl) para tratar un caudal de agua de 17.71 m³/h.
5. QH₂O es el caudal de agua a tratar = 17.71 m³/h.
6. El porcentaje de pureza del hipoclorito comercial es igual a 5%.

Referencias Bibliograficas:

Aldana, L. (2014). Comparación de la eficiencia del Sulfato de Aluminio y el Sulfato Ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario. Guatemala: Trabajo de Graduación en Ingeniería Química, USAC.

APHA, AWWA. (2017). American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C.: 23rd Edition, American Public Health Association. Obtenido de Water Environment Federation. S.

Bolaños, J. D., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de Nitritos, Nitratos, Sulfatos y Fosfatos de agua potable como Indicadores de Contaminación ocasionada por el hombre, en dos Cantones de Alajuela, Costa Rica. Obtenido de: [scielo.sa.cr:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf](https://www.scielo.sa.cr/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf)

Efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales: su reutilización para riego en la producción hortícola, planta del barrio San Bartolo, Sololá.

Autor: Oscar E. Barrios Coyoy, Profesor interino, División de Ciencia y Tecnología.

Sobre el autor: Ingeniero agrónomo en sistemas de producción agrícola, Master en ciencia y tecnología de recursos hídricos.

Resumen:

La agricultura es una de las actividades humanas que mayor cantidad de agua demanda; alrededor de un 70% de las aguas disponibles se emplean en la producción de alimentos. Durante la época seca la disponibilidad de agua disminuye, limitando la producción agrícola en la localidad del barrio San Bartolo, Sololá, no obstante, el abastecimiento por medio de sistemas locales de miniriego, suple parcialmente el requerimiento de agua con fines de riego agrícola; sin embargo, es necesario considerar que la carga de extracción es superior a la capacidad de regeneración de los mantos subterráneos y superficiales.

Las aguas residuales son consideradas un recurso natural cuya disponibilidad se incrementa con el tiempo, lo que las convierte en una fuente de abastecimiento de agua adecuada para la producción hortícola. Mediante el análisis del efluente de la planta de tratamiento y de la fuente local de abastecimiento de agua en el que fueron medidos parámetros físicos, químicos y microbiológicos con el objetivo de comprobar su

calidad para el uso en la agricultura, así como las diferencias en costos de producción entre ambos tratamientos, su efecto en el rendimiento y la posible residualidad de microorganismos patógenos en los vegetales cosechados se logró determinar que ambas fuentes de abastecimiento de agua se encuentran dentro de los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles recomendados en el acuerdo gubernativo 236-2006 en cuanto a factores físicos y químicos.

En cuanto a rendimiento, no se detectó diferencia significativa entre tratamientos. Partiendo de la relación costo beneficio se determinó que para el efluente el porcentaje de recuperación es de 52.3% a diferencia del 43.2% de recuperación proporcionado por el sistema local de agua. Finalmente, los resultados de laboratorio evidenciaron que, en el producto cosechado, ambos tratamientos contienen altos niveles de coliformes fecales y *E. coli*, encontrándose 14 y 18 UFC para ambos tratamientos.

Palabras Clave: Abastecimiento, efluente, reutilización, propiedades físicas, rendimiento.

Introducción:

La agricultura representa una de las principales fuentes de ingresos para las familias del barrio San Bartolo de la cabecera municipal y departamental de Sololá. Meléndez Hustick (2015) señala que la demanda de agua para la producción agrícola representa un 70% del total de uso de aguas disponibles.

Durante la época seca la disponibilidad de agua disminuye, limitando la producción agrícola en la localidad, no obstante, el abastecimiento a través río y nacimientos por medio de sistemas locales de miniriego, suple parcialmente el requerimiento de agua con fines de riego agrícola, sin embargo, es necesario considerar los efectos que la sobreexplotación de los recursos hídricos representan al ambiente, ya que la carga de extracción es superior a la capacidad de regeneración de los mantos subterráneos y superficiales.

Es importante considerar los costos que el abastecimiento de agua implica en su utilización, eventualmente las tierras son rentadas, la misma incluye en el precio, el suministro de agua para riego, y ocasionalmente el transporte del recurso se realiza desde zonas lejanas al área de producción incrementando aún más el precio.

Método:

El estudio fue ejecutado en el Barrio San Bartolo de la cabecera de Sololá, Guatemala. Se localiza en la latitud de 14°45'52.28" y una longitud de 91°10'46.98". (Barillas Maldonado, 2001)

La parte experimental fue ejecutada en el área circunvecina a la planta de tratamiento que es alimentada por el sistema de drenaje de las zonas 1 y 3 de la cabecera departamental, el cual es captado de 200 viviendas del casco urbano.

La fase experimental se llevó a cabo durante la estación seca, comprendida en los meses de enero a abril 2019.

Las variables de respuesta, se han agrupado en dependientes: componentes de rendimiento, análisis de costos, determinación de microorganismos en el producto final e independiente: propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales tratadas.

El experimento consiste en la evaluación del efecto de las fuentes de abastecimiento de agua en la producción de cebolla (*Allium cepa*). Los rendimientos fueron medidos de acuerdo con el peso de los bulbos, así como con las distintas calidades de unidades del producto final.

Para el análisis de costos, se empleó la metodología de beneficio-costos con la finalidad de estimar la diferencia en cuanto a los gastos que implica el suministro de riego, como único factor variante (tratamiento).

Del mismo modo, la inversión en cuanto a nutrición vegetal y del suelo representan elevados costos, lo cual repercute en la rentabilidad de los productos finales al ser comercializados.

El agua es un recurso finito que se encuentra bajo fuerte presión, ya que todas las actividades humanas (principalmente la agricultura) demandan de su empleo, lo que hace necesario desarrollar alternativas de suministro de agua adecuada para la producción agrícola. El efluente resultante del proceso de tratamiento secundario de aguas residuales representa una opción viable para el abastecimiento de agua, lo cual deriva al estudio de las propiedades físico-químicas y biológicas de las aguas tratadas y su efecto en la producción de alimentos, considerando los rendimientos y rentabilidad que represente su uso.

La actual dinámica poblacional, genera una mayor carga de aguas residuales. De hecho, estas se representan como uno de los pocos recursos naturales cuya disponibilidad se incrementa con el tiempo. FAO (2017).

Las propiedades físico-químicas y biológicas fueron determinadas a través de análisis de laboratorio, el cual proporcionó información fundamental en cuanto a los valores permisibles para la utilización del efluente en sistemas de riego.

Al momento de cosechar el producto final, se realizaron pruebas bacteriológicas mediante cultivos, para determinar la presencia y contabilizar colonias de bacterias coliformes.

El diseño experimental empleado consistió en parcelas pareadas, considerando que únicamente se evaluaron dos tratamientos. Para el diseño se consideraron parcelas con características similares de manera que permitió comparar los resultados de ambas.

El ensayo consideró la evaluación de dos tratamientos: efluente del proceso de tratamiento secundario (T1) y agua de los sistemas locales de miniriego (T2).

La determinación de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua se llevó a cabo a través de las diferentes pruebas de laboratorio, con la finalidad de establecer la calidad del agua de acuerdo con los parámetros mínimos establecidos por la norma para la reutilización de aguas tratadas (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

Los datos de rendimiento fueron analizados por inferencia basada en dos muestras, empleando la prueba de T para determinar diferencia significativa empleando el paquete estadístico Infostat®.

Resultados:

A través de un análisis básico del agua proveniente del sistema de miniriego se detectaron las características.

Características físico-químicas sistema de miniriego:

Cuadro 6: Resultados de análisis físicoquímico del agua de miniriego

Parámetro	Resultado	LMA
pH (potencial de H)	(6.94 13.3 mv)	6.5 - 8.5 *
Oxígeno disuelto	6.53 (98.1%)	6.0 - 8.0 (1)
Presión	766 hPa	
Temperatura	17.8o C	10.0 - 25.0 oC
Conductividad eléctrica	119.2 uS/CM 100 - 750	uS/CM *
Sólidos suspendidos totales	57.7 mg/L	500 mg/L

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.
*CUGUANOR NGO 29 001-99

Características físicas sistema de miniriego Xibalbay:

Cuadro 7: Resultados de análisis físico del agua de miniriego

Parámetro	Resultado	LMA
Sabor	No rechazable	No rechazable *
Olor	No rechazable	No rechazable *
Color	4 UPTCo	
Turbidez	0.54 UNT	5 UNT (1) *

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC. (1) Unidades Nefelométricas de turbidez

Características químicas sistema de miniriego:

Cuadro 8: Resultados de análisis químico del agua de miniriego

Parámetro	Resultado	LMA
Nitratos	0.6 mg/l	<10.0 mg/l *
Nitritos	0.006 mg/l	<1.0 mg/l *
Amonio	0.6 mg/l	0.05 - 0.5 mg/l (1)
Fosfatos	0.86 mg/l	0.4 - 1.5 mg/l (1)

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.

*COGUANOR NGO 19 001-99
(1) no registrado en COGUANOR, Norma Internacional.

Análisis microbiológico sistema de miniriego:

Cuadro 9: Resultados de análisis microbiológico del agua de miniriego

Coliformes totales:	40 UFC/100 ml
Valor normal:	0 UFC/100 ml
E. Coli:	3 UFC/100 ml
Valor normal:	0 UFC/100 ml

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.

Con base en los análisis de laboratorio, se certifica que la muestra se encuentra en parámetros no aceptables, debido a la alta contaminación microbiológica.

Para la muestra del efluente, se realizó un análisis completo, buscando identificar los niveles de Nitrógeno total y Fosforo total.

Características físico-químicas efluente:

Cuadro 10: Resultados de análisis físicoquímico del efluente

Parámetro	Resultado	LMA
pH (potencial de H)	7.73 (-42.2 mv)	6 - 9 *
Material flotante	Ausente	Ausente*
Color	45 PtCo	--
Temperatura	17.7o C	10.0 - 25.0 oC
DBO	49.63 mg/L	400 mg/L
DQO	93.3 mg/L	500 mg/L
Sólidos suspendidos	388.0 mg/L	400 mg/L

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.

Características químicas del efluente:

Cuadro 11: Resultados de análisis químico del efluente

Parámetro	Resultado	LMA
Nitrógeno total	9.2 mg/L	<50.0 mg/L*
Fosforo total	10.3 mg/L	< 30.0 mg/L*
Arsénico	0.01 mg/L	<0.1 mg/L*
Cromo hexavalente	0.073 mg/L	<0.1 mg/L*
Cobre	0.05 mg/L	<3.0 mg/L*
Zinc	0.06 mg/L	<10 mg/L*

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.
*Reglamento de aguas residuales

Análisis microbiológico del efluente:

Cuadro 12: Resultados de análisis microbiológico del efluente

Coliformes totales:	3.6 x 10 ⁴ /100 ml
Límite aceptable:	<1.0 x 10 ⁴ UFC/100 ml

Fuente: Laboratorio de aguas, Carrera de Gestión Ambiental Local, CUNOC-USAC.

Con base en los resultados se certifica que el efluente, se encuentra fuera de los parámetros aceptables para su reutilización en riego agrícola.

Rendimiento:

Los resultados de rendimiento (bulbos) entre las medias obtenidas para cada tratamiento expresado en kilogramos por hectárea para cada localidad fueron:

Fuente	Primera calidad (ton/ha)	Segunda calidad (ton/ha)
Miniriego	49.42	6755.55
Miniriego	35.91	7466.66
Miniriego	46.93	4622.22
Efluente	52.27	0.00
Efluente	57.60	0.00
Efluente	56.89	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Rendimiento en kg/ha con relación a las diferentes calidades (calibres) del bulbo con base en el diámetro establecido por Furlani y Rivera (2010).

Análisis de costos:

Al manejar en ensayo en condiciones similares los costos en cuanto a insumos, mano de obra y depreciación son iguales, siendo el factor que determina la diferencia en costos el precio de abastecimiento de agua, ya que los beneficiarios del sistema de miniriego Xibalbay realizan un pago por ciclo de cosecha de Q150.00 por cada 0.0625 ha; mientras que los beneficiarios del sistema local de abastecimiento del efluente no realizan ningún pago.

Costo de producción por sistema de miniriego:

Cuadro 15: Resumen de costos para sistema de miniriego

Rubro	Costo
Insumos	Q78,035.00
Mano de obra	Q20,475.00
Abastecimiento de agua	Q3,040.00
Total:	Q101,550.00

Fuente: Elaboración propia.

Costos de producción en la localidad abastecida por el sistema de miniriego. En el rubro de abastecimiento de agua se considera tanto la depreciación del equipo de riego como el costo de derecho de agua.

Costo de producción por efluente de planta de tratamiento:

Cuadro 16: Resumen de costos para sistema de aguas tratadas

Rubro	Costo
Insumo	Q78,035.00
Mano de obra	Q20,475.00
Abastecimiento de agua	Q640.00
Total	Q99,150.00

Fuente: Elaboración propia.

Costos de producción mediante el abastecimiento de agua del efluente. El costo varía ya que no se realiza ningún pago por el derecho de utilización del recurso.

Análisis de rentabilidad según tratamientos:

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de costos, comparados con el rendimiento y las diferentes calidades del producto cosechado la rentabilidad para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 17: Resumen de costo beneficio por tratamiento

Tratamiento: Sistema de miniriego			
80% primera calidad	X= 44.08 ton	Q3,700.00/ton	Q163,096.00
20% segunda calidad	X= 5.61 ton	Q2,800.00/ton	Q15,600.00
Costo de producción		Q101,550.00	
Rentabilidad =	(Q178,804.00 - Q101,550.00) / Q178,804.00 * 100 = 43.2%		

Tratamiento: Efluente PTAR

100% primera calidad X= 55.58 ton	Q3,700.00/ton	Q205,646.00	Q205,646.00
Costo de producción	Q99,150.00		
Rentabilidad = (205,646.00 – 99,150.00) / 205,646.) * 100 = 52.3%			

Fuente: Elaboración propia.

Análisis costo-beneficio según costos de producción y precio de venta según la calidad al mes de marzo de 2019*.

Carga microbiana en el producto cosechado:

Es fundamental la determinación de la presencia de microorganismos en el producto final cosechado, de ello depende la aceptabilidad de la reutilización del efluente para riego; ya que, aunque incrementa el rendimiento y reduce los costos, no puede admitirse la presencia de microorganismos en los bulbos cosechados.

Análisis microbiológico en bulbos cosechados:

Cuadro 18: Resultados de análisis microbiológico en producto final.

Fuente de abastecimiento	Muestra	Resultado
Efluente de PTAR	Bulbo	3 UFC
	Tallo	14 UFC
Miniriego Xibalba	Bulbo	0 UFC
	Tallo	18 UFC

Fuente: Laboratorio Clínico Totonicapán

DISCUSIÓN:

Propiedades físico-químicas y microbiológicas de aguas:

En cuanto a los resultados del análisis físico-químico de la fuente de agua del sistema de riego Xibalbay se determinó que los valores en general de pH, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica; así mismo las propiedades físicas de olor, sabor, color y turbidez, se encuentran dentro de los márgenes de límites máximos aceptables establecidos por COGUANOR NGO 20 001-99, cumpliendo con los parámetros para ser utilizada en riego agrícola.

Los valores de nitritos y nitratos se encuentran por debajo de los LMA establecidos por COGUANOR NGO 20001-99; así como los fosfatos y amonio presentan valores que los colocan en el rango aceptable según la Norma Internacional de calidad de agua, siendo aceptable para la producción agrícola.

Se determinó la presencia de coliformes totales y E. coli en valores de 40 UFC y 3 UFC respectivamente, considerando que dentro del Art. 34 del acuerdo gubernativo 236-2006, que tipifica los tipos de reutilización que puede darse en las aguas tratadas, la actividad agrícola desarrollada por los productores se caracteriza como TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES, y dentro del Art. 35 describe los LMP para coliformes fecales y E. coli en <200 UFC, el agua empleada del miniriego Xibalbay cumple con lo establecido por lo que se permite reutilizarla en el riego.

Los valores obtenidos del análisis físico-químico del efluente fueron:

Cuadro 19: comparación de resultados físico-químicos

Parámetro	Resultado	LPM(236-2006)
pH	7.73	6-9
Temperatura	17.7 °C	10 – 25 °C
Material flotante	Ausente	
Sólidos suspendidos	388 mg/L	100 mg/L
DBO	49.63 mg/L	No aplica
DQO	94.3 mg/L	No aplica
Color	45 PtCo	500 PtCo

Fuente: Elaboración propia.

Comparación entre los resultados del análisis físico químico para la muestra con los LPM establecidos en el acuerdo 236-2006

La comparación de los valores proporcionados por el análisis de laboratorio, con los Límites Máximos Aceptables establecidos en el acuerdo 236-2006 demuestra que el efluente puede ser empleado en la reutilización para cultivos comestibles (tipo III).

Cuadro 20: comparación de resultados químicos

Parámetro	Resultado	LPM(236-2006)
Nitrógeno total	9.02 mg/L	20 mg/L
Fosforo total	10.3 mg/L	10 mg/L
Arsénico	0.01 mg/L	0.1 mg/L
Cromo hexavalente	0.037 mg/L	0.1 mg/L
Cobre	0.05 mg/L	0.1 mg/L
Zinc	0.06 mg/L	10 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

Comparación entre los resultados del análisis químico para la muestra con los LPM establecidos en el acuerdo 236-2006.

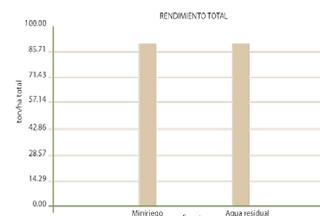
La comparación en cuanto a parámetros químicos demuestra que los elementos se encuentran en los límites aceptables para su reutilización en el riego para cultivos comestibles.

En cuanto a las propiedades microbiológicas, el análisis proporcionó el total de 36000 UFC para coliformes fecales y la norma 236-2006 permite un máximo de 200 UFC para reutilización, dicho parámetro se encuentra ampliamente fuera de rango por lo admisible en la norma. Lo anterior demuestra que el efluente no se recomienda debido a la alta carga microbiana con la que es dispuesta posterior al tratamiento.

Rendimiento:

De acuerdo con los datos de referencia del comercializador de la cebolla var. Santa María®, el rendimiento promedio de la variedad oscila entre las 40 a 60 ton/ha; por lo que los rendimientos estimados de superan la media referida por el semillero. Los pesos obtenidos de los al momento de la cosecha fueron analizados mediante prueba de T.

Figura 1: Medias calculadas para rendimiento total en ton/ha para cada uno de los tratamientos evaluados.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores promedios en toneladas por hectárea fueron de 89.01 ton/ha para el efluente y 89.36 para el sistema de miniriego, demostrando que no existe diferencia significativa entre ambos tratamientos ya que el p-valor fue de 0.9572, siendo necesario el valor <0.001 para poder ser detectadas las diferencias.



Figura 2: Medias calculadas para el rendimiento en bulbo (ton/ha) para cada tratamiento evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo se analizaron por medio de prueba de T las medias de peso en bulbo, las cuales presentaron 55.59 ton/ha para el tratamiento del efluente y 50.37 para el sistema de miniriego, indicando que no existió diferencia significativa.

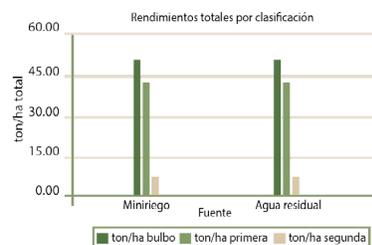


Figura 3: Medias calculadas para el rendimiento por calidades de bulbo cosechado (ton/ha).

Fuente: Elaboración propia.

Las medias calculadas por categoría de los bulbos fueron de 55.59 ton/ha para el efluente y de 44.09 ton/ha para sistema local para la primera calidad; además para la segunda las medias obtenidas fueron de 6.28 ton/ha para el sistema de miniriego, contra 0.00 ton/ha producidas mediante el efluente.

Según la escala de clasificación de los bulbos obtenidos en los muestreos se determinó que el tratamiento de efluente de la PTAR brindó un 100% de primera calidad, mientras que el tratamiento del sistema local de riego obtuvo un 80% de primera calidad y 20% de segunda calidad. Lo anterior demuestra que, aunque no se detectó diferencia significativa, la calidad observada por el agricultor resulta más atractiva en condiciones de mercado. La estabilidad en cuanto a la calidad de producto cose-

chado se asocia a la fuerte carga de nitratos y fosfatos presentes en el agua que es abastecida por el efluente, la cual llega a representar un aporte de nutrientes al suelo. Los nitratos fisiológicamente permiten un mayor crecimiento foliar en las plantas, mientras que los derivados del fósforo tienden a formar de manera más eficiente el desarrollo del sistema radicular de las plantas.

Análisis de costos:

Con base en los análisis de costos y precios estimados para la fecha de procesamiento de la información, se determinó que la rentabilidad se vio afectada por dos factores: el primero se fundamenta en la ligera diferencia en cuanto a los costos de producción consistentes al precio del derecho de agua en la localidad del sistema de riego y el derecho de utilización del sistema local de abastecimiento de agua, el cual consiste en un aproximado de Q2400 por ciclo de cosecha (3 a 4 meses). El segundo factor considera el precio del producto cosechado de acuerdo a las diferentes categorías en el mercado a la fecha de análisis.

Se estiman 10 puntos porcentuales de diferencia entre los tratamientos, determinando que el suministro de agua del efluente presenta un 52.3% de rentabilidad, sobre el 43.2% brindado por el suministro del sistema de miniriego.

Carga microbiana en el producto cosechado:

La determinación de la presencia de agentes contaminantes en el producto cosechado es importante ya que demuestra la viabilidad del proceso de reutilización del efluente de la planta de tratamiento. Se destaca como un indicador del impacto a la salud que este proceso conlleva.

Se demostró que la parte aérea de la planta se encuentra mayormente expuesta a contaminación, los datos proporcionados son de 14 y 18 UFC para el efluente y el agua del miniriego, respectivamente, lo anterior se atribuye a que se encuentran en contacto directo con los agentes contaminantes que son trasladados por el agua, independientemente de su fuente.

Por parte del bulbo, la presencia de coliformes totales se estimó que cuentan con 3 y 0 UFC para el efluente de la PTAR y el agua del miniriego, respectivamente. Estos datos indican que el agua del sistema de riego llega a contener 40 UFC, no es una carga bacteriana demasiado persistente para permanecer en el bulbo, atribuyéndose a la fuerte actividad microbiana en el suelo, lo que la hace de baja residualidad en la zona radicular.

Mientras que para el tratamiento que emplea el efluente, se contabilizan 3 UFC, este aumento (con relación al agua potable) se debe a que el abastecimiento de agua proviene de una fuente altamente contaminada, contabilizando alrededor de 36000 UFC. Esta relación llega a ser bastante baja considerando lo estimado en el bulbo de la planta, sin embargo, cuando se trata de alimentos no se admiten cargas bacterianas sin un previo proceso de desinfección.

Conclusiones:

Ambas fuentes de abastecimiento de agua se encuentran dentro de los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles recomendados en el acuerdo gubernativo 236-2006 en cuanto a factores físicos y químicos como olor, turbidez, contenido de nutrientes, entre otros; sin embargo, en cuanto a la carga microbiológica se encuentran por encima de los rangos aceptables contabilizando hasta 36000 UFC de coliformes totales.

De acuerdo con el análisis de prueba de T no se detectó diferencia significativa en cuanto a rendimiento entre tratamientos; sin embargo, el producto cosechado a través de la aplicación del efluente, presentó un peso en categoría comercial de primera del 100%, mientras que para el tratamiento empleando agua del sistema de miniriego se obtuvo alrededor de un 20% de producto cosechado de categoría de segunda; lo anterior refleja su efecto en la relación beneficio.

Partiendo de la relación costo beneficio se determinó que para el tratamiento 1 el porcentaje de recuperación es de 52.3% a diferencia del 43.2% de recuperación proporcionado por el tratamiento 2; esta diferencia radica en la reducción de costos que implica el uso del efluente en cuanto a abastecimiento y mantenimiento de la fuente de agua, así mismo de la diferencia en cuanto a la cantidad de producto cosechado en categoría comercial de primera, la cual tiende a obtener un mejor precio en el mercado.

Los resultados de laboratorio evidenciaron que, en cuanto al producto cosechado, ambos tratamientos demostraron contener altos niveles de coliformes fecales y E. coli, encontrándose 14 y 18 UFC para los tratamientos 1 y 2, respectivamente; lo anterior refleja alta residualidad en el producto que es traslado hacia los mercados locales.

Referencias Bibliográficas:

Acuerdo Gubernativo 236-2006. (5 de Mayo de 2006). El Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Guatemala, Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.

Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno. (Noviembre de 2015). Informe de muestreo de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la cuenca del lago de Atitlán 2012-2015. Panajachel, Sololá, Guatemala: AMSCLAE.

Barillas Maldonado, S. (2001). Costos y rentabilidad de unidades pecuarias (crainza y engorde de pollo). Municipio de Santa Lucía Utatlán, Sololá. Guatemala, Guatemala de la Asunción: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Bejo Zaden B.V. (12 de Agosto de 2020). BEJO Guatemala. Obtenido de Bejo Guatemala: <https://www.bejogt.com/cebolla/santamaria-conventional>
Furlani, M. R., & Rivero, M. L. (2010). Manual de Cultivo de Cebolla. Manejo postcosecha y control de calidad de la cebolla. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA).

Meléndez Hustick, L. (2015). Demanda de agua por cultivo. Agronoma, 2-3.
Mateo Sagasta, J., Gonzales, G., & Liebe, J. (2017). Reutilización de aguas para la agricultura en América Latina y el Caribe. Estado principios y necesidades. Contexto de la reutilización de aguas residuales municipales en ALC. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Velásquez Godínez, J. M. (Agosto de 2013). Dinámica de la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Quisqab (2008-2012) departamento de Soloá, Guatemala, C.A. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos.

Estimación de recarga hídrica potencial de los acuíferos del municipio de San Ildefonso Ixtahuacán, mediante un balance hídrico de suelos.

Autor: MSc. Gabriel Paolo Gamboa. Profesor interino, División de Ciencia y Tecnología

Sobre el autor: Ingeniero agrónomo en sistemas de producción agrícola, Master en Planificación y gestión territorial de los riesgos, del agua y del medio ambiente, Master en Ciencia y tecnología de recursos hídricos.

Co-autor: Ing. Agr. Marco Vinicio Velásquez

Sobre el co-autor: Ingeniero agrónomo con orientación en agricultura sostenible.

Resumen:

El municipio de San Ildefonso Ixtahuacán se ubica en el altiplano occidental del país, específicamente en el departamento de Huehuetenango, y cuenta con una extensión territorial aproximada de 130.60 km², albergan a 70 centros poblados, cada uno de los cuales cuenta con diferente densidad poblacional, cuyas poblaciones demandan la disponibilidad del recurso hídrico para realizar diferentes actividades dentro del hogar, el trabajo o la industria.

En el municipio en cuestión, se realizó un estudio para calcular la tasa de infiltración del agua de lluvia, utilizando el modelo analítico de la infiltración propuesto por Gunter Schosinsky. Para poder ejecutarlo, se consultaron datos meteorológicos con 3 años de anterioridad al año de estudio, buscando obtener una media mensual y anual, con la cual se trabajaron las ecuaciones que se encuentran en la presente

investigación, esto se realizó con el afán de contar con una aproximación más certera a la realidad del área de estudios, también se determinaron las propiedades geomorfológicas del terreno, la dinámica del uso y la cobertura de la tierra, así como sus propiedades físicas e hidráulicas de los suelos. Los resultados evidenciaron que la infiltración de la precipitación pluvial varía según las condiciones de pendiente, cobertura o uso de la tierra, así como las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos. Estos últimos tres factores se consideran los más importantes, puesto que se identificaron áreas con potencial de infiltración máximo y mínimo, en polígonos con la misma geología y pendiente, pero diferente cobertura vegetal, lo que nos indica que, la cobertura vegetal en conjunto con las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, contribuyen en el proceso de infiltración del agua de lluvia.

Palabras Clave: Infiltración, Balance hídrico de suelos, recarga potencial de los acuíferos.

Introducción:

El presente estudio se desarrolló para conocer el potencial de recarga hídrica de los acuíferos, en el municipio de San Ildefonso Ixtahuacán, Huehuetenango, empleando un balance hídrico de suelos para identificar los sitios que poseen un valor muy alto, alto, medio y bajo de recarga hídrica.

El estudio nace a petición de la Asociación de Formación para el Desarrollo Integral -AFOPADI-, quienes, preocupados por la escasez del recurso hídrico que impera en el municipio, han planificado la perforación e implementación de pozos mecánicos, los cuales podrán suministrar el vital líquido a la población.

Interesados en asegurar la sostenibilidad del proyecto y de los mantos acuíferos del municipio, impulsaron esta investigación para poder tener acceso a datos científicos sobre el potencial de recarga hídrica del municipio, así como identificar las áreas que

permiten la mayor tasa de infiltración, esto con el afán de tomar las mejores decisiones basados en datos concretos.

Al realizar el análisis de la geología predominante en el municipio, encontramos que la falla tectónica Chixoy-Polochic atraviesa el territorio, siendo esta la que marca el límite entre la placa del Caribe y la Norteamericana, lo que le confiere al municipio una gran variabilidad geológica.

Esta característica geológica ocasiona que el relieve del municipio sea variable, encontrando zonas planas y pendientes escarpadas en donde se asientan distintas comunidades que conforman su población, las cuales demandan recurso hídrico para subsistir y satisfacer sus necesidades básicas dentro del hogar, trabajo e industria agrícola, principalmente.

Método:

Para poder desarrollar el presente estudio, se utilizó el método propuesto por Gunter Schosinsky ya que se estima el método más apropiado para identificar áreas de recarga hídrica, pues además de ser el más reciente y actualizado (2006), considera más variables biofísicas cuantitativas, algunas de las cuales deben obtenerse mediante trabajo de campo y análisis de laboratorio. Además, tiene la ventaja de considerar diferentes variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: i) Precipitación mensual; ii) Retención pluvial; iii) Capacidad de infiltración de los suelos y sus características; iv) Cobertura vegetal; v) Evapotranspiración real; vi) Uso del suelo y vii) Pendiente del terreno. Schosinsky (2006)

cuales se han discriminado al no ocurrir infiltración hacia los acuíferos, ya que estas han sido diseñadas para captar la precipitación y redireccionarla hasta el cauce natural más cercano. En cada uno de los polígonos resultantes se marcaron puntos guía. Estos archivos se compartieron con los teléfonos inteligentes de los responsables del estudio, quienes con ayuda de la aplicación de Google Earth, se orientaron y trasladaron hacia cada uno de los polígonos, en donde se desarrolló una prueba de infiltración, utilizando el método del doble cilindro y un muestreo de suelos, el cual fue enviado a laboratorio para la determinación y análisis de variables como textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

INFORMACIÓN CONSULTADA:

Se solicitó al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- información de la estación meteorológica más cercana al área de estudios, siendo ésta la de San Pedro Necta. La información solicitada fue: Temperatura media mensual, precipitación media mensual, porcentaje de horas luz, todos los datos con tres años de anterioridad en relación al año de estudios (2023), para obtener un promedio lo más apegado a la realidad.

Se consultó en los diferentes Ministerios, así como en el Instituto Geográfico Nacional, cartografía digital del área de estudios, la cual sirvió para realizar diversos análisis del territorio.

Con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica y de la información digital disponible del área de estudios, se elaboraron mapas digitales representando la geología, la pendiente y la cobertura vegetal que posee el terreno; para este último mapa, se utilizó el GIMBOT 2.020. Cada uno de estos mapas se traslaparon, obteniendo 28 polígonos que comparten geología, pendiente y cobertura vegetal. Es importante mencionar que, dentro de la clasificación de la cobertura vegetal o uso del suelo, existen categorías como: tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, río, cementerio, canchas deportivas, escuelas, entre otra infraestructura de obra gris, las

Es importante resaltar que el método propuesto por Schosinsky, no desarrolla pruebas de infiltración, debido a que en su país natal estos datos ya se encuentran bastante estudiados y estandarizados en tablas, las que se utilizan para este tipo de estudios.

Partiendo de lo anterior, y a criterio de los autores, las pruebas de infiltración podrían considerarse de alta importancia, dada la escasa confiabilidad que presentan estos datos en la literatura nacional, lo cual queda científicamente demostrado en el presente estudio.

Para poder realizar cada prueba de infiltración, se aplicó el método del doble cilindro, y con la ayuda de regla, cronómetro, toneles y abundante agua, se realizaron 28 pruebas de infiltración, cada una de las cuales tuvo una duración mínima de 90 minutos o bien, hasta encontrar la tasa de infiltración constante.

Esta información fue tabulada, analizada, expresada y utilizada en la ecuación 2 del balance hídrico de suelos, para determinar el coeficiente de infiltración debido a la textura.

Balance hídrico de suelos:

A cada uno de los polígonos se les realizó el balance hídrico de suelos, conociendo de esta manera el potencial de recarga en cada uno de ellos.

Fracción de lluvia interceptada por el follaje:

Se define como coeficiente de follaje (Cfo) al porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno. Para el 12% de retención Cfo = 0,12. Para el 20% de retención Cfo = 0,20.

Habrà que considerar que; Si el producto si (P)(Cfo) es mayor o igual a 5 mm/mes $Ret=(P)(Cfo)$ (1)

Dónde:

Ret= Retención de lluvia en el follaje [mm/mes].
P= Precipitación mensual del mes [mm/mes].
Cfo= Coeficiente de retención del follaje [adimensional].

Si P, es menor o igual a 5 mm/mes, Ret = P.
 Si P es mayor de 5 mm/mes y el producto (P)(Cfo) menor de 5, Ret =5.

Determinación del coeficiente de infiltración debido a la textura:

Uno de los factores que más influye en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente debido a la textura del suelo (Kfc), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación (Schosinsky 2006).

$$Kfc=0,267 \ln(fc)- 0,000154fc-0,723 \quad (2)$$

Dónde:

Kfc [adimensional]= Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo).
fc [mm/día]= Infiltración básica del suelo.

Cálculo del coeficiente de infiltración:

Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influyen la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (Ci), basado en la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo.

$$Ci=Kp+Kv+Kfc \quad (3)$$

Dónde:

Ci= Coeficiente de infiltración [adimensional].
Kp= Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional].
Kv= Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional].
Kfc= Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional].

Cálculo de la infiltración pluvial mensual:

Para poder desarrollar este cálculo se deben considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 1) y el coeficiente de infiltración (ecuación 3).

El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (Pi) al suelo, esta dado por la siguiente ecuación:

$$Pi=(Ci)(P-Ret) \quad (4)$$

Dónde:

Pi= Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].
Ci= Coeficiente de infiltración [Adimensional] (ecuación 3).
P= Precipitación mensual en [mm/mes] (dato metereológico).
Ret= Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes] (ecuación 1).

Escorrentía superficial:

La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación:

$$ESC=P-Ret-Pi \quad (5)$$

Dónde:

ESC= Escorrentía superficial en mm/mes.
P= Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).
Ret= Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 1).
Pi= Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 4).

Evapotranspiración:

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de las cuales requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas poseen. Por este motivo, se utilizó la ecuación de Blaney & Criddle:

$$ETP \text{ (mm/mes)} = (8,10 + 0,46T) Ps \quad (6)$$

Dónde:

ETP= Evapotranspiración potencial en [mm/mes].
T= Temperatura media mensual en [grados centígrados] (dato meteorológico).
Ps= Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año [%].

Coeficiente de humedad:

Si la cantidad de infiltración de lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero. A este coeficiente se designa como coeficiente de humedad (Ch):

$$Ch = (HS - PM) / (CC - PM) \quad (7)$$

Dónde:

HS [%]= Humedad del suelo.
PM [%]= Punto de marchitez permanente.
CC [%]= Capacidad de Campo.

Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (Pi) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería (C1):

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC-PM) \quad (8)$$

Dónde:

C1= Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.
HSi= Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].
PM= Punto de marchitez en [mm].
Pi= Precipitación que infiltra en [mm/mes].
CC= Capacidad de campo en [mm].

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería:

$$C2 = (HSi - PM + Pi - ETR1) / (CC-PM) \quad (9)$$

$$ETR1 = (C1) (ETP)$$

Dónde:

C2= Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.
ETR1= Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.
ETP= Evapotranspiración potencial [mm/mes].

Cálculo de la evapotranspiración potencial real:

La evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes, está dada por:

$$ETPR \text{ (mm / mes)} = ((C1+C2)/2) ETP \quad (10)$$

Dónde:

ETPR= Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].
C1= Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.
C2= Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.
ETP= Evapotranspiración potencial [mm/mes].

Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son

negativos se tomarán con valor de 0.

Cálculo de la humedad disponible:

La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación

$$HD \text{ (mm/mes)} = HSi + Pi - PM \quad (11)$$

Dónde:

HD= Humedad disponible [mm/mes].
Hsi= Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].
Pi= Precipitación que infiltra [mm/mes].
PM= Punto de marchitez [mm].

Cálculo de la evapotranspiración real promedio:

Ecuación para el cálculo de evapotranspiración real (ETR) (12)

Si $((C1+C2)/2) ETP$ es menor o igual a HD ,
 $ETR \text{ (mm/mes)} = ((C1+C2)/2) ETP$.
 Si $((C1+C2)/2) ETP$ es mayor que HD ,
 $ETR \text{ (mm/mes)} = HD$

Dónde:

ETR= Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].
C1= Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].
C2= Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].
ETP= Evapotranspiración potencial [mm/mes].
HD= Humedad disponible [mm/mes].

Cálculo de la humedad del suelo al final del mes:

Para poder realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes (Hsf), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación: (13)

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $Hsf = HD + PM - ETR$.
 Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $Hsf = CC$
 La Hsf en ningún momento puede ser mayor a la CC .

Dónde:

Hsf= Humedad del suelo final (final de mes) [mm].
HD= Humedad disponible [mm/mes].
PM= Punto de marchitez [mm].
ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].
CC= Capacidad de campo [mm].

Cálculo de la humedad del suelo al inicio del mes:

$Hsi = Es$ igual a la humedad de suelo final del mes anterior
 (Hsf de ecuación 13)

Cálculo de la recarga potencial al acuífero:

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y, además, satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación.

$$Rp = Pi + HSi - Hsf - ETR \quad (14)$$

Dónde:

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.
Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.
Hsf = Humedad del suelo al final del mes en mm.
ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

Categorización de las áreas de recarga hídrica:

Según los resultados de recarga potencial obtenidos en el balance hídrico de suelos, las áreas de recarga hídrica fueron agrupadas y categorizadas. Mediante el uso de SIG, se creó un mapa digital con las áreas de recarga hídrica identificadas.

Resultados:

En los 28 polígonos de recarga hídrica identificadas, se aplicó la ecuación del balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky (2006).

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Cuadro 1: Recarga Potencial en las áreas de recarga hídrica

ARH	Tipo de Cobertura Vegetal	Geología	Rp (mm/año)
1	Vegetación arbustiva baja	JKts	693.07
2	Arboles dispersos	JKts	643.97
3	Granos Básicos	JKts	722.01
4	Bosque	JKts	709.19
5	Bosque	Ksd	661.57
6	Pasto natural	Ksd	376.98
7	Granos Básicos	Ksd	708.32
8	Vegetación arbustiva Baja	Ksd	714.65
9	Café	Pzm	670.54
10	Granos Básicos	Pzm	651.16
11	Bosque	Qp	498.01
12	Café	Qp	461.16
13	Granos Básicos	Qp	717.57
14	Arboles dispersos	Qp	513.10
15	Granos Básicos	CPsr	665.07
16	Bosque	CPsr	249.22
17	Vegetación Arbustiva Baja	CPsr	310.46
18	Café	CPsr	490.96
19	Granos Básicos	PC	716.65
20	Café	PC	46.33
21	Bosque	PC	277.20
22	Vegetación Arbustiva Baja	PC	709.70
23	Pasto Natural	PC	710.63
24	Arboles Dispersos	Tv	495.93
25	Bosque	Tv	519.81
26	Granos Básicos	Tv	662.61
27	Vegetación Arbustiva Baja	Tv	19.52
28	Café	Tv	525.89

Fuente: Elaboración propia en base a IGN y MAGA.

En la siguiente ilustración puede apreciarse la ubicación de las 28 unidades de muestreo delimitadas según sus características biofísicas.

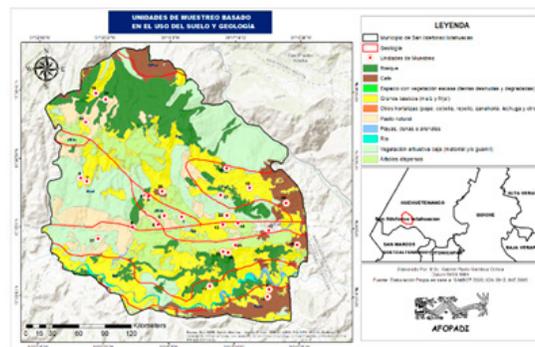


Figura 1 Ubicación de las 28 unidades de muestreo

Determinación del volumen de recarga potencial para cada área de recarga hídrica:

El volumen de recarga potencial según la extensión total que comprenden los 28 polígonos de recarga hídrica, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2: Volumen de recarga potencial en cada área de recarga hídrica

ARH	Tipo de Cobertura Vegetal	Rp (m/año)	Área (m ²)	Volumen Rp (m ³ /año)
1	Vegetación arbustiva baja	0.69307	1403225.33	972,530.57
2	Arboles dispersos	0.64397	2013197.63	1,296,434.85
3	Granos Básicos	0.72201	105119.85	75,897.90
4	Bosque	0.70919	238230.40	168,951.69
5	Bosque	0.66157	490203.30	324,304.77
6	Pasto natural	0.37698	4523226.04	1,705,147.31
7	Granos Básicos	0.70832	2360917.39	1,672,287.37
8	Vegetación arbustiva Baja	0.71465	7949644.50	5,681,191.58
9	Café	0.67054	3406737.50	2,284,354.35
10	Granos Básicos	0.65116	1743597.21	1,135,367.81
11	Bosque	0.49801	2687528.59	1,338,428.70
12	Café	0.46116	794270.82	366,284.39
13	Granos Básicos	0.71757	10483426.38	7,522,611.14
14	Arboles dispersos	0.51310	3791256.05	1,945,282.67
15	Granos Básicos	0.66507	5055261.87	3,362,120.51
16	Bosque	0.24922	1091382.16	271,990.34
17	Vegetación Arbustiva Baja	0.31046	1387855.81	430,879.62
18	Café	0.49096	4447192.88	2,183,395.86
19	Granos Básicos	0.71665	8358688.20	5,990,268.53
20	Café	0.04633	1535167.38	71,131.82
21	Bosque	0.27720	14779562.25	4,096,926.88
22	Vegetación Arbustiva Baja	0.70970	15752957.27	11,179,826.52
23	Pasto Natural	0.71063	9585003.87	6,811,420.06
24	Arboles Dispersos	0.49593	5377405.42	2,666,812.38
25	Bosque	0.51981	3658381.26	1,901,677.60
26	Granos Básicos	0.66261	7130721.38	4,724,864.99
27	Vegetación Arbustiva Baja	0.01952	6462962.98	126,161.85
28	Café	0.52589	824922.54	433,821.43
Total del volumen de Recarga potencial (m ³ /año)				70,740,373.47

Fuente: Elaboración propia según datos de campo.

En la siguiente ilustración se presenta el volumen de recarga potencial para cada área de recarga hídrica identificada.

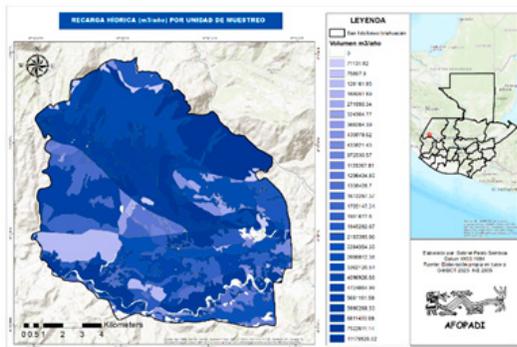


Figura 2 Volumen de recarga potencial

Categorización de las áreas de recarga hídrica:

En el cuadro No. 5 se muestra la categorización de las Áreas de Recarga Hídrica, según los resultados obtenidos en el balance hídrico de suelos.

Cuadro 3 Categorización

ARH	Tipo de Cobertura Vegetal	Volumen Rp (m ³ /año)	Área (Ha)	Volumen Rp (m ³ /año)	Categoría
1	Vegetación arbustiva baja	0.69307	1403225.33	972,530.57	Baja
2	Arboles dispersos	0.64397	2013197.63	1,296,434.85	Baja
3	Granos Básicos	0.72201	105119.85	75,897.90	Baja
4	Bosque	0.70919	238230.40	168,951.69	Baja
5	Bosque	0.66157	490203.30	324,304.77	Baja
6	Pasto natural	0.37698	4523226.04	1,705,147.31	Baja

7	Granos Básicos	0.70832	2360917.39	1,672,287.37	Baja
8	Vegetación arbustiva Baja	0.71465	7949644.50	5,681,191.58	Alta
9	Café	0.67054	3406737.50	2,284,354.35	Baja
10	Granos Básicos	0.65116	1743597.21	1,135,367.81	Baja
11	Bosque	0.49801	2687528.59	1,338,428.70	Baja
12	Café	0.46116	794270.82	366,284.39	Baja
13	Granos Básicos	0.71757	10483426.38	7,522,611.14	Alta
14	Arboles dispersos	0.51310	3791256.05	1,945,282.67	Baja
15	Granos Básicos	0.66507	5055261.87	3,362,120.51	Media
16	Bosque	0.24922	1091382.16	271,990.34	Baja
17	Vegetación Arbustiva Baja	0.31046	1387855.81	430,879.62	Baja
18	Café	0.49096	4447192.88	2,183,395.86	Baja
19	Granos Básicos	0.71665	8358688.20	5,990,268.53	Alta
20	Café	0.04633	1535167.38	71,131.82	Baja
21	Bosque	0.27720	14779562.25	4,096,926.88	Media
22	Vegetación Arbustiva Baja	0.70970	15752957.27	11,179,826.52	Muy Alta
23	Pasto Natural	0.71063	9585003.87	6,811,420.06	Alta
24	Arboles Dispersos	0.49593	5377405.42	2,666,812.38	Baja
25	Bosque	0.51981	3658381.26	1,901,677.60	Baja
26	Granos Básicos	0.66261	7130721.38	4,724,864.99	Media
27	Vegetación Arbustiva Baja	0.01952	6462962.98	126,161.85	Baja
28	Café	0.52589	824922.54	433,821.43	Baja

Fuente: Elaboración propia según datos de campo.

En la siguiente ilustración se puede apreciar la categorización de las zonas de recarga hídrica.

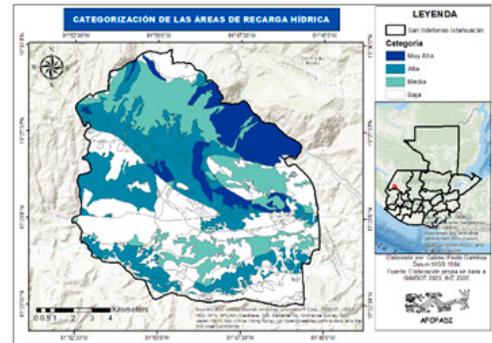


Figura 3 Categorización de áreas de recarga hídrica

Se observa que las áreas catalogadas como muy altas, ocupan un 12.36% de la extensión territorial del municipio; las áreas catalogadas como bajas, ocupan una extensión territorial del 37.93%, siendo estas las áreas que ocupan el menor y mayor espacio territorial respectivamente.

Para fines de recarga hídrica esta capacidad de infiltración podría deberse al avance de la frontera agrícola, el porcentaje de pendiente, la compactación de la estructura del suelo, el tipo de cobertura vegetal, la ausencia de sistemas de conservación y manejo adecuado del suelo y del recurso hídrico

Un aspecto importante a resaltar es, que ningún polígono que posee cobertura vegetal de bosque fue clasificado dentro de las categorías de muy alta o alta capacidad de infiltración.

El bosque obtuvo valores entre media y baja capacidad de recarga potencial, considerando que una de las razones de estos valores se deba a la ubicación geográfica, debido a que los bosques se encuentran ubicados en pendientes mayores a 7%, y según Benítez (1972) expresa, otra característica decisiva de la recarga subterránea es la topografía del terreno: en zonas con altas pendientes, la escorrentía es máxima y por lo tanto la infiltración es mínima.

Conclusiones:

En el municipio de San Ildefonso Ixtahuacán existe una precipitación media anual de 1708.35mm, generando que, sobre la totalidad del territorio, precipiten por año 217,708,786.33m³. De esta precipitación 70,740,373.47m³ pueden llegar a recargar los acuíferos del municipio.

A pesar que 20 áreas de recarga hídrica se encuentran catalogadas con un potencial de recarga hídrica "baja", estas representan el 37.93% de la extensión territorial del municipio, mientras que cuatro áreas de recarga hídrica se catalogan en el potencial "Alto", ocupando una extensión territorial del 28.54%; mientras que tres áreas de recarga hídrica se encuentran catalogadas con un potencial de recarga "media", ocupando una extensión territorial total del 21.16%; y únicamente un área de recarga hídrica se encuentra catalogada con una capacidad de infiltración "muy alta", abarcando una extensión territorial del 12.36%.

Las áreas de recarga hídrica que presentan los valores máximos y mínimos, se encuentran sobre la geología "PC" Carbonatos del Pérmico, variando en cobertura vegetal, lo que nos demuestra que, la cobertura vegetal asociada con ciertas características del suelo, propician mejoras en las tasas de infiltración.

Referencias Bibliograficas:

Benítez, A. (1972). *Captación de aguas subterráneas. Madrid, España: 2da ed. Dossat.*
Blanco Rojas, H. (2009). *Identificación y manejo de las áreas de recarga hídrica en la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito. San Carlos y San José Costa Rica.*
Maldonado Cáceres, H., & Velásquez Andrade, M. (2018). *Identificación de áreas críticas de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Turbalá, parte alta de la cuenca del río Naranjo. Guatemala: Consejo nacional de Ciencia y Tecnología.*

Schosinsky, G. (2006). *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central(34-35), 13-30.*

Schosinsky, G., & Losilla. (2002). *Modelo Analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista geológica de América Central 23, 43-55.*

Velásquez Andrade, M. (2021). *Recarga hídrica potencial de los acuíferos en la microcuenca Alto Naranjo, Mediante un balance hídrico de suelos. San Marcos: USAC-CUSAM.*

Evaluación de tecnología de nanoburbujas para la reducción de metales pesados, en una muestra del Lago de Amatitlán, Guatemala.

Autor: Nelson Sebastián Escobar Reyes

Sobre el autor: Ingeniero en gestión ambiental local, master en ciencia y tecnología de recursos hídricos.

Resumen:

El lago de Amatitlán en Guatemala forma parte del grupo de cuerpos de agua que se encuentran en un proceso acelerado de contaminación y eutrofización artificial. Esta cantidad de contaminantes hace que se tenga presencia de metales pesados, estos liberan sales solubles en el agua son tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. El propósito de la investigación fue evaluar la capacidad de la tecnología de nanoburbuja de oxígeno para reducir

metales pesados tales como cadmio, plomo, cobre, cianuro, zinc y cromo total. La investigación fue de carácter experimental, consistió en tomar una muestra de 33 m³ de agua del lago de Amatitlán. se aplicó nanoburbuja de oxígeno durante ocho días operando dos horas y 45 minutos por día, haciendo un total de 19 horas se obtuvieron tres muestras, la primera fue la muestra control. Los resultados obtenidos fueron favorables ya que se obtuvo una reducción de 91.07% de cadmio, 50% de plomo, 93.75% cobre, 90.47 cianuro, 56.25% zinc y 66.66% de cromo total. Los resultados finales se compararon con estándares de calidad de lagos oligotróficos de Perú.

Palabras Clave: Metales pesados, reducción, eutrofización, nanoburbuja.

Introducción:

Los efectos de la acelerada contaminación de las aguas del lago Amatitlán son numerosos y visibles. Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc entre otros, son liberados hacia ecosistemas acuáticos así como a los suelos principalmente debido a diversas actividades antropogénicas y presenta una seria amenaza para las plantas, animales e incluso los humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad incluso a bajas concentraciones (Axe, 2000) (M. A. Ahmed, 2013). El hecho de que estos metales se encuentren en los diversos ecosistemas es de preocuparse, dado que muchos seres vivos dependen del adecuado equilibrio en su lugar de alimentación o de vivienda, el cómo llegan dichos metales a los distintos ecosistemas varían según el tipo de actividad que se desarrolla por el hombre, por ejemplo el cromo que es un compuesto ampliamente usado en la industria en áreas como el revestimiento plástico, galvanoplastia de metales para resistencia de corrosión, curtido y acabado de cueros, en pigmentos y para conservantes de madera, otro tipo de metales como el cadmio son usados en la industria para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, agentes anticorrosivos y pigmentos (O. C. S. Al Hamouz, 2017)

El crecimiento urbano e industrial de la ciudad de Guatemala y los municipios de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán y parte de Santa Catarina Pinula, ha provocado la eutrofización del lago Amatitlán y un alto contenido de metales pesados, especialmente por las descargas industriales. Estas ciudades no cuentan con el tratamiento mínimo de aguas residuales o residuos sólidos domésticos. Por lo tanto, las aguas residuales domésticas aportan el 86% del agua superficial que ingresa al lago, y el agua industrial, que constituye el 14%, se vierte inicialmente a quebradas, ríos, arroyos y al suelo sin ningún tratamiento (Gudiel, 2007). El principal problema que sufre el lago al recibir vertidos diarios de aguas residuales tiene por tanto tres impactos considerables de diferente naturaleza: la contaminación química, la proliferación de agentes patógenos para el hombre y otras especies, la eutrofización de las aguas (García, 2016), y por ende la acumulación de metales pesados que llegan a alterar de manera significativa al ecosistema acuático. El propósito de la investigación fue evaluar la capacidad de la tecnología de nanoburbuja para reducir porcentajes de los parámetros de metales pesados, mismos que evidencian la ausencia de tratamiento de agua industrial y residual ordinaria.

Método:

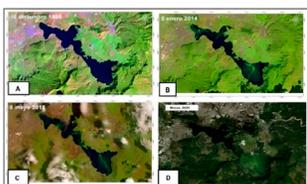
Descripción Del Problema:

El lago de Amatitlán debe ser considerado dentro del marco geográfico nacional ya que se encuentra próximo a la ciudad de Guatemala y ejerce gran influencia sobre la cuenca del río María Linda. Este territorio abarca 384 km² donde se ubican siete municipios: Guatemala, Mixco, Villa Nueva, Amatitlán, Villa Canales, Santa Catarina Pinula y San Miguel Petapa. En esta zona se encuentra alrededor del 73% de la industria instalada en Guatemala, de la cual no más del 4% cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales y residuos sólidos, muchos de los cuales son tóxicos, tales como: cromo, plomo, zinc, aceites, y tintes.

Además, se identifican 18 beneficios de café y cuatro mataderos que no cuentan con un sistema adecuado para la disposición de residuos. Por su parte, el río Villa Lobos, principal afluente del lago, arrastra alrededor de 500.000 toneladas de sedimentos, lo que significa que anualmente se pierde un promedio de 0,70 metros de profundidad del lago. Las plantas de tratamiento de aguas residuales no funcionan permanentemente, por falta de cumplimiento de leyes. Algunas plantas de tratamiento que se construyeron no se encuentran en funcionamiento. Las que se pusieron en funcionamiento se han deteriorado por falta de mantenimiento.

Algunas fueron diseñadas para atender a una población menor a la actual. Muy pocas plantas operan a capacidad regular y toda esta agua contaminada es recibida por el lago de Amatitlán, teniendo como efecto una acumulación de nutrientes que aportan a la eutrofización, así mismo como la gran cantidad de metales pesados principalmente por la industria, esto ha provocado un acelerado deterioro del lago, que se puede observar a continuación (Fig. 1).

Figura 1 A) 1989, B) 2014, C) 2018 y D) 2021

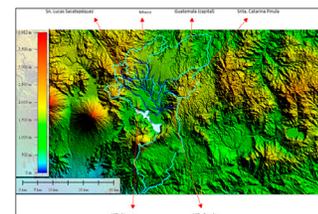


Fuente: Elaboración propia, 2021

Afluentes De La Contaminación:

El lago de Amatitlán tiene un solo afluente: el río Villalobos. Este a su vez tiene varios afluentes que provienen de San Lucas y México (al Noroeste), y de Puerta Parada y Carretera a El Salvador (Este).

Figura 2 Ríos y municipios que conectan con el río Villalobos.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Según la imagen anterior generada por el software global mapper, todos estos afluentes desembocan en el lago. La imagen superior muestra todos los desechos sólidos que arrastran los ríos de cada municipio, no solo plásticos y latas, sino aguas residuales e industriales con gran cantidad de metales pesados. Según la Encuesta Nacional de Vida (ENCOVI, 2014), solo el 70% de los hogares urbanos y el 30% de los hogares rurales cuentan con servicio de recolección de residuos sólidos. Y solo el 4% de los municipios tratan su agua. Esto significa que a pesar de que cuentan con una red de drenaje, los municipios vierten aguas residuales crudas y sin ser tratadas, estas llegan al destino final que es el cuerpo de agua receptor, Lago de Amatitlán.

Descripción De La Investigación:

Las nanoburbujas, son de las burbujas más pequeñas que se conocen, aproximadamente 2.500 veces más pequeñas que un grano de sal, es decir, menos de 200 nanómetros (nm) de diámetro, lo que significa que permanecen en el agua durante mucho tiempo, igual de bien. De esta forma, el tamaño aumenta la presión interna de la nanoburbuja, provocando que se genere un campo electrostático alrededor de la periferia, atrayendo todo el material contaminante que se encuentra en el cuerpo de agua, provocando que libere radicales libres al colapsar, teniendo como resultado un proceso de oxidación y degradación.

La presente investigación se basó en un enfoque experimental, es decir, a escala de laboratorio. Se utilizaron datos estadísticos para observar y determinar la tendencia de comportamiento de los metales pesados evaluados. Se utilizó la técnica de recolección de datos con censos y estadísticas de registro continuo de datos. En base a los resultados obtenidos se aplicó la fórmula del coeficiente de correlación para cuantificar la intensidad de la relación lineal entre cada variable con la muestra tomada y procesada en el laboratorio. Finalmente, se elaboró el gráfico de análisis de tendencia, donde se puede apreciar las muestras en comparación con el tiempo y la propensión de cada parámetro analizado.

Para la generación de nanoburbujas se utilizó un equipo de la empresa Kran, modelo K200, con un caudal de 200L/m. Los resultados obtenidos se compararon con los estándares de calidad para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable de Perú.

La evaluación de la tecnología de nanoburbujas se realizó en una piscina de 33 m³, la cual se llenó con una muestra de agua del Lago en estudio.

Resultados:

Parámetros Iniciales De La Muestra De Agua:

Los resultados obtenidos de la muestra testigo se reflejan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la muestra de control.

Parámetro	Unidad	Resultado
Cadmio	mg/L	0.213
Plomo	mg/L	0.02
Cobre	mg/L	0.32
Cianuro	mg/L	0.21
Zinc	mg/L	0.16
Cromo total	mg/L	0.24

Fuente: Elaboración propia, 2023

Por otro lado, existen parámetros que influyen y nos indican el nivel de calidad del agua, de los cuales se analizaron tres, pH, oxígeno disuelto y la temperatura, estos parámetros no se estudiaron de manera directa, pero juegan un papel muy importante para que se desarrolle la vida en los lagos oligotróficos y se pueda evaluar la calidad del cuerpo de agua.

Tabla 2. Resultados de la muestra de control, parámetros indicadores e influyentes.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	---	9.48
Oxígeno disuelto	mg/L	10.4
Temperatura	---	27.5

Fuente: Elaboración propia, 2023

Aplicación De Nanoburbujas:

El tratamiento tuvo una duración de ocho días operando dos horas y 45 minutos por día, haciendo un total de 19 horas, se tomaron seis muestras para realizar los respectivos análisis de laboratorio, los parámetros a analizar suspensión sólidos y turbidez. Obteniendo los siguientes resultados en la Tabla 3.

Tabla 3. Control de resultados obtenidos durante el tratamiento con nanoburbujas.

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Cadmio	mg/L	0.213	0.045	0.019
Plomo	mg/L	0.02	0.01	0.01
Cobre	mg/L	0.32	0.09	0.02
Cianuro	mg/L	0.021	0.02	0.002
Zinc	mg/L	0.16	0.07	0.07
Cromo total	mg/L	0.24	0.06	0.08
pH	---	9.48	9.81	9.62
Temperatura	°C	27.5	27	26.8
Oxígeno disuelto	mg/L	10.4	27.2	23.5

Fuente: Elaboración propia, 2023

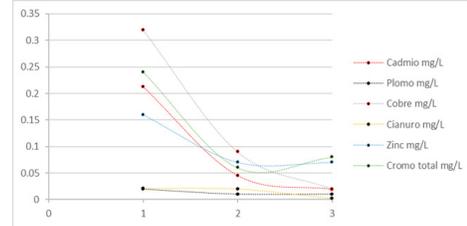
La muestra uno no tiene intervención (muestra de control). La muestra número dos representa el primer resultado de laboratorio, se obtuvo luego de 24 horas de activación del sistema de tratamiento avanzado con dos horas y 45 minutos de aplicación continua de nanoburbujas, el resto del tiempo que no se aplicó nanoburbuja que son 21 horas con 55 minutos, esta se concentra en realizar el proceso de oxidación y degradación de la muestra analizada.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, tabla 3, los metales pesados disminuyen de manera significativa. El cadmio tiene un punto de partida de 0.213 mg/L, esta reduce a 0.019 mg/L, perdiendo un total de 0.194 mg/L, en seis días, equivalentes a 14 horas de inyección de nanoburbujas,

del mismo modo con el plomo que inicio con 0.02 mg/L y el resultado final fue de 0.01 mg/L, con respecto al cobre este inicio con 0.32 mg/L y finalizo con 0.02mg/L, el cianuro inicio con 0.021 mg/L y finalizo con 0.002 mg/L, el zinc inicio con 0.16 mg/L y finalizo con 0.07 mg/L, finalmente el cromo total inicio con 0.24 mg/L y finalizo con 0.07 mg/L. Esto demuestra que la nanoburbuja disminuye los metales pesados.

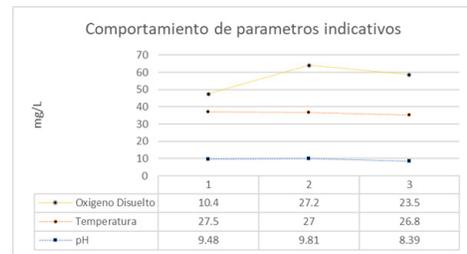
En relación a los parámetros influyentes e indicativos (pH, temperatura y oxígeno disuelto) se tuvo una reducción en el pH de 11.49%, mientras que para la temperatura no se mide este parámetro debido a que el comportamiento de este depende de las condiciones atmosféricas, sin embargo, este parámetro es necesario monitorearlo debido a que, si este aumenta el oxígeno aplicado a partir de nanoburbuja se va volatizando, disminuyendo así la cantidad y disponibilidad de oxígeno.

Fig. 3. Comportamiento de los metales pesados analizados.



Fuente: Elaboración propia, 2023

El cadmio se redujo en un 91.07%, el plomo 50%, el cobre 93.75%, el cianuro un 90.47%, el zinc un 56.25% y 66.66% de cromo total. Se puede ver como la nanoburbuja consiguió reducir los metales pesados en tan solo 24 horas. Este fenómeno se produce debido a la capacidad que tiene la nanoburbuja de concentrar una gran cantidad de carga eléctrica en toda su periferia. Cuando la nanoburbuja colapsa, libera radicales libres que solidifican todo lo que está adherido a ella (proceso electrostático), se elimina por completo. La vida útil de la nanoburbuja depende de las condiciones climáticas, a mayor temperatura en el ambiente el tiempo de vida de la nanoburbuja será menor, esto se debe al proceso de volatilización, si las temperaturas son bajas la vida útil de la nanoburbuja es mayor.



Fuente: Elaboración propia, 2023

En relación al oxígeno disuelto inició con 10.4 mg/L con un pico máximo de 27.2 mg/L, con respecto a las muestras donde esta disminuye es porque se aplicó gran cantidad de oxígeno teniendo una gran cantidad tanto en porcentaje y en mg/L de esta bacteria aprovecha la disponibilidad de oxígeno para alimentarse y luego degradarse.

Este proceso se puede observar en los picos decrecientes. Finalmente, en la última muestra hay una descomposición, este es el punto óptimo de aplicación de la nanoburbuja, es decir, si se aplica más oxígeno, las bacterias que ayudan al proceso de descomposición se degradan por completo, teniendo como consecuencia la nula degradación por parte de las mismas, por otro lado, se puede apreciar la relación con la temperatura, al momento que se encuentra un aumento de temperatura, el oxígeno decae, este principio se debe a la volatilización.

En cuanto al pH, comenzó en 9,48 y terminó en 8,39, en el caso de un líquido como el agua, el pH es una medida de la actividad del potencial de los iones de hidrógeno, es decir, cargas eléctricas positivas, mientras que la nanoburbuja tiene cationes. En su periferia, carga negativa, esto genera un proceso electrostático haciendo que este parámetro disminuya paulatinamente. Manteniendo una alcalinidad que permite la vida acuática.

Finalmente, en relación a la temperatura, es un parámetro que no se puede controlar, pero sí afecta el proceso de reproducción de las cianobacterias (a mayor temperatura, mayor reproducción), por lo que también cobra mucha importancia. Dependiendo de la estabilidad de la nanoburbuja en el agua, a mayor temperatura, la presión interna cae y hace que colapse mucho más rápido; a temperaturas más bajas, la nanoburbuja reside mucho más tiempo.

Porcentaje De Reducción:

De acuerdo con los resultados obtenidos, se presenta la Tabla 4, donde se refleja el porcentaje de reducción de cada uno de los parámetros analizados.

Tabla 4. Porcentajes de reducción de cada uno de los parámetros analizados

Parámetro	Unidad	Porcentaje de reducción
Cadmio	mg/L	91.07%
Plomo	mg/L	50.00%
Cobre	mg/L	93.75%
Cianuro	mg/L	90.47%
Zinc	mg/L	56.25%
Cromo total	mg/L	66.66%
pH	---	11.49%

Fuente: Elaboración propia, 2023

Considerando el tiempo de operación del sistema, la reducción de cada uno de los parámetros analizados es notoria y eficiente. En cuanto a los porcentajes se puede apreciar que la reducción fue más del 50% en los metales pesados, lo que confirma que la tecnología utilizada es efectiva a la hora de reducir metales pesados en cuerpos de agua con alta carga de contaminantes, teniendo como consecuencia la mejora de la calidad del agua y la reducción de alteración en el ecosistema acuático.

Comparación De Resultados Obtenidos:

Los datos obtenidos en el trabajo de investigación fueron comparados con las normas oficiales de Perú (Perú, 2015), esto debido a que en Guatemala no existe una legislación que estipule los parámetros para la protección de la vida acuática o lagos oligotróficos.

Tabla 5. Comparación con normativas Latinoamericanas

Normativa referente			Resultados obtenidos			
Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	Parámetro	Unidad	Registro inicial	Registro final
Cadmio	mg/L	0.003	Cadmio	mg/L	0.213	0.019
Plomo	mg/L	0.01	Plomo	mg/L	0.02	0.01
Cobre	mg/L	2	Cobre	mg/L	0.32	0.02
Cianuro	mg/L	1	Cianuro	mg/L	0.021	0.002
Zinc	mg/L	3	Zinc	mg/L	0.16	0.07
Cromo total	mg/L	0.05	Cromo total	mg/L	0.24	0.08
pH	---	6.5 – 8.5	pH	---	9.48	8.39

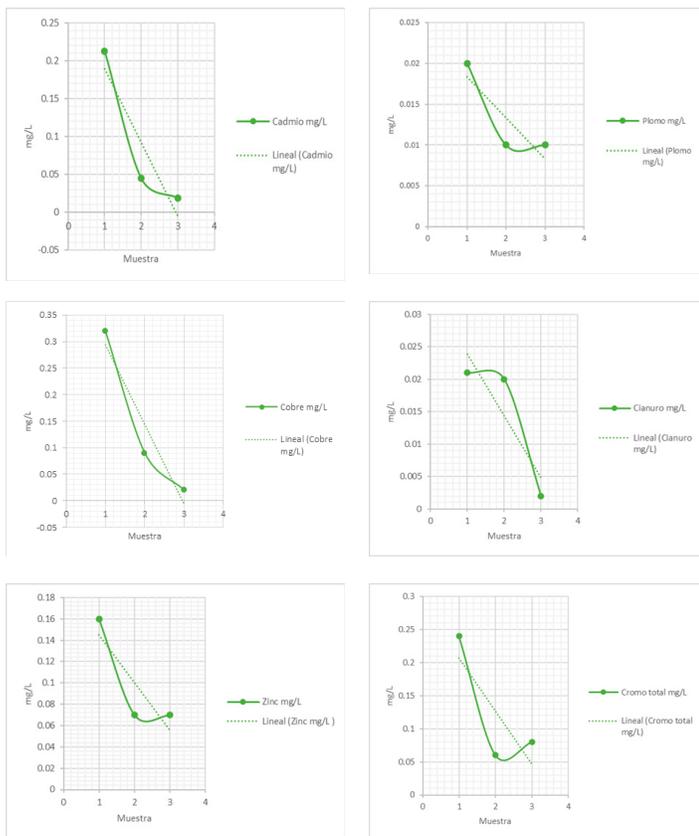
Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede observar en la tabla anterior, la nanoburbuja consigue reducir la mayoría de los parámetros, tanto los principales como los indicativos; en comparación con el máximo permitido según las normas consultadas. En un parámetros es más evidente que en otro, sin embargo al considerar el tiempo y la cantidad de metales pesados se logra el objetivo de reducir los parámetros analizados. Lo que convierte a la tecnología de nanoburbujas en una herramienta plausible para la recuperación de lagos oligotróficos.

Tendencia De Comportamiento:

La tendencia del comportamiento de metales pesados, estos se reflejan en los siguientes diagramas de dispersión.

Diagramas de dispersión de cada parámetro:



Como se puede apreciar, cada uno de los metales pesados la tendencia es a disminuir.

El coeficiente de correlación para el cadmio es de -0.92, para el plomo es de -0.86, para el cobre es de -0.95, para cianuro es de -0.88, para el zinc es de -0.86 y para el cromo total el coeficiente de correlación es de -0.81, esto nos indica que los valores de R negativos lo cual indican una correlación negativa, esto quiere decir que de acuerdo al incremento de número de muestras los valores de los metales pesados disminuyen.

Conclusiones:

La tecnología de nanoburbujas redujo los metales pesados en más del 50% en poco tiempo de funcionamiento. De acuerdo a las normativas de los países latinoamericanos (Perú) los límites máximos permisibles, promedio mensual, para ríos y lagos oligotróficos son: Cadmio 0.003 mg/L, plomo 0.01%, cobre 2 mg/L, cianuro 1 mg/L, zinc 3 mg/L cromo total 0.05 mg/L y pH 6.5 – 8.5, los resultados obtenidos fueron, cadmio 0.019 mg/L, plomo 0.01 mg/L, cobre 0.02 mg/L, cianuro 0.002 mg/L, zinc 0.07 mg/L, cromo total 0.08 mg/L y pH 8.39. Esto demuestra la efectividad de la tecnología de nanoburbujas para el tratamiento en cuerpos de agua con contenido de metales pesados, a pesar del tiempo de operación, si el tratamiento se hubiera prolongado, los resultados hubieran sido mejor, incluso, tenido un resultado final menor de lo que la normativa de referencia solicita. Por otro lado, el pH se redujo a un nivel aceptable en el que se permite la vida acuática.

Referencias Bibliograficas:

Axe, P. T. (2000). *Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides*. Environ. Sci. Technol.

ENCOVI. (2014). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida*. Guatemala.

García, M. (2016). *Eutrofización: Una visión General*. Revista científica, tecnológica y humanista, 1(1), 47.

Gudiel, D. B. (agosto de 2007). *Biblioteca USAC*. Obtenido de Biblioteca USAC: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2573.pdf

M. A. Ahmed, S. M.-D. (2013). *Magnetite-hermatite nanoparticles prepared by green methods for heavy metal ions removal from water*. En Mater. Sci. Eng. B Solid-state mater. Adv. Technol. (págs. 744 - 751).

O. C. S. Al Hamouz, M. E. (2017). *Removal of cadmium ions from wastewater by dithiocarbamate functionalized pyrrole based terpolymers*. Sep. Purif. Technol.

Perú, A. N. (2015). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. UT-135807. Perú.

INVITACIÓN

Se invita a todos los egresados de la División de Ciencia y Tecnología del CUNOC, USAC, para que presenten sus ensayos, ponencias, artículos de investigación y sistematización, los cuales deberán cumplir con las normas editoriales y ser inéditos.

Del mismo modo se convoca a investigadores invitados de otras Divisiones y otras universidades o centros de investigaciones, tanto nacionales como internacionales.

Estos deberán ser enviados al correo: **gabrielgamboa@cunoc.edu.gt**

Las normas editoriales y la convocatoria se publicarán en la página web de la División de Ciencia y Tecnología a partir del mes de mayo de 2024.

ESCANEA EL CODIGO QR
para ingresar a la pagina web



<https://cyt.cunoc.edu.gt/index.php>

CRÉDITOS

Coordinador 1ª. Edición de la revista KITZIA

Ing. MSc. Gabriel Paolo Gamboa Ochoa

**Edición, diagramación, diseño de la revista -
Fotografía de portada y contraportada:**

Br. Daira Abigail Rodríguez Chuc.

Diseñador de logotipo de revista:

Br. Samuel Benjamín Loarca De Paz

El contenido de los artículos aquí publicados, son responsabilidad de sus autores.

AGRADECIMIENTOS

A los siguientes docentes de la División de Ciencia y Tecnología, por su aporte en la revisión de los artículos científicos de esta primera edición:

Ph.D. Luis Sánchez Midence

MSc. Mirna Montes

MSc. Imer Vásquez

Inga. Lourdes Pablo

Lic. Q.B. César Racancoj

Lic. Q.F. Roberto Méndez

A los docentes que apoyaron en las distintas fases de la gestión y elaboración de esta primera edición de la revista:

Inga. Lourdes Pablo

MSc. Vicente Chaj

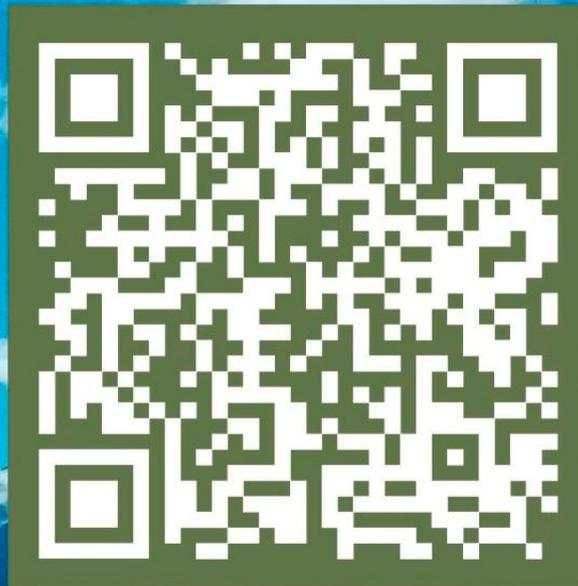
Inga. Aura Hernández

Sus sugerencias y comentarios para mejorar esta revista son bienvenidos en el correo electrónico:

gabrielgamboa@cunoc.edu.gt

REVISTA DE LA DIVISI3N DE CIENCIA Y TECNOLOGIA-CUNOC

ESCANEA EL
CODIGO QR



HACIA LA P3GINA
DE LA DIVISI3N
DEL CYT-CUNOC



Kitzia