



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

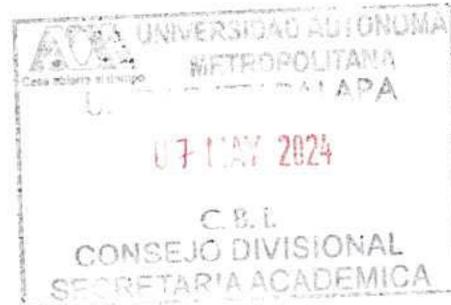
DR. JUAN MORALES CORONA

Jefe del Departamento de Física

7 de mayo de 2024.

Asunto: Solicitud de alta de proyecto.

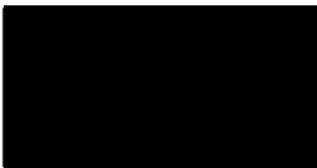
DR. ROMÁN LINARES ROMERO
PRESIDENTE DEL CONSEJO DIVISIONAL
DEVISIÓN DE CBI
P R E S E N T E.



Estimado Dr. Linares:

Por medio de la presente le solicito a Usted se incluya como un punto de la orden del día del próximo Consejo Divisional que usted preside la alta del proyecto: **OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍA Y SU REUSO.** Este proyecto quedara adscrito al área de polímeros del Departamento de Física y el responsable del mismo es la Dra. Judith Cardoso Martínez.

Sin más por el momento, agradezco a usted de antemano su atención a la presente


Atentamente,
Casa Abierta al Tiempo

Comisión de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Presente-

1.1 Nombre del Proyecto: “OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍA Y SU REUSO”

. Modalidad. Proyectos en maduración tecnológica

1.2 Datos de adscripción y contacto de la persona responsable. Judith María de Lourdes Cardoso Martínez Tiempo de dedicación al proyecto: 10 h a la semana en promedio-

1.3 Participantes

Nombre	Especialidad	Departamento y División	Participación en el proyecto (horas)
Ing. Daniel Miranda	Optimización y Automatización de la planta de tratamiento (tesis)	Alumno de maestría del Posgrado de Energía y Medio Ambiente, CBI/CBS	10 h/semana
Dr. Juan José Santibañez Santiago	Director del Museo de Agua, Iztapalapa. Sus líneas de investigación han sido enfocadas a los sistemas de captación de agua de lluvia en las escuelas públicas, entre otros temas. Apoyará en la difusión del proyecto con usuarios.	Depto. de Sociología, CSH, UAMI	2 h/semanal
IQ. Ricardo Moreno Rojo	Química Analítica. Análisis de detergentes en agua tratada por Espectroscopía de UV-Vis, determinación de metales pesados por ICP-MS y análisis de datos	Contratado por obra determinada para manejo de los equipos analíticos del laboratorio de Calidad del Agua, de la UAMI	8 h a la semana
M en C Israel Márquez Quiñonez	Evaluación de la factibilidad comercial empleando los índices de Tasa Interna de Retorno (TIR) y de valor presente neto (VPN) para toma de decisiones.	marquez.quinones.israel@gmail.com	4 h/semana
2 estudiantes de licenciatura	Por definir. Apoyará en la evaluación de la planta automatizada.	Estudiante de la Lic. en IQ o Q Servicio Social y/o proyecto terminal	20 h/ semana
Dra. Judith Cardoso	Doctorado Físicoquímica. Tratamiento agua y determinación	Física, DCBI, UAMI Tel: 58044625 ext. 104 SNI II CVU	8 h/semana

Martínez Responsable del proyecto (UAMI)	de calidad del agua. Coordinación del proyecto. Escritura artículo e informe	3767 jcam@xanum.uam.mx	
---	--	---	--

1.4 Área de Polímeros Departamento de Física, División CBI, UAMI.

1.5 Objetivos Generales

Diseño y optimización de una planta de tratamiento adecuada para el tipo de negocios de lavandería, que puede extenderse a autolavados y centros comerciales, restaurantes, etc., y la automatización de los procesos, para poder controlarlos, incluso de forma remota empleando un sistema tipo PLC.

Objetivos específicos

- Diseñar y optimizar una planta de tratamiento de aguas residuales de lavandería para lograr tener la disposición para el uso en un entorno operativo y la implementación a gran escala (pasar del nivel 5 al 6 o 7, de acuerdo con el Nivel de Maduración Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés))
- Automatizar los procesos unitarios de una planta de tratamiento de aguas residuales de lavandería.
- Evaluar su factibilidad económica y el mercado potencial para el uso de este proceso para lavanderías.

1.6 Antecedentes

Para el desarrollo de la investigación se empleó un prototipo de planta de tratamiento de aguas grises ubicado en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (UAMI). El prototipo tiene como finalidad realizar investigación correspondiente a temas enfocados en el tratamiento de aguas grises con fines de reusó de agua y funge como promotor e incubador de tecnologías sustentables que ayuden a combatir los escasos de agua.

Los componentes con los que cuenta la planta de tratamiento hasta el momento de la elaboración de este escrito son: una lavadora de ropa comercial con capacidad de 19 kg. un contenedor del agua (Tanque 1) que sirve como sedimentador primario y estabilizador de aguas grises, cumpliendo la función de pretratamiento en el sistema; una tolva con capacidad de 1,000 L (Tanque 2) que sirve como cámara de coagulación y floculación, y sedimentador. Posteriormente el agua pasa al Tanque 3 con capacidad de 500 L, que cumple la función de clarificador terminando así el tratamiento primario. El proceso terciario o de desinfección

consiste en: dos filtros, uno de carbón activado y otro de zeolita natural, también se tiene una lampara de rayos UV que ayudan a eliminar patógenos y así llegar a valores de calidad aceptables para el reúso del agua. El Tanque 4 cuenta con capacidad de 500 L y tiene el objetivo de servir como reservorio y almacenar el agua a disposición para cuando sea requerida para su reúso. En la Figura 3 se muestra un esquema de la planta.

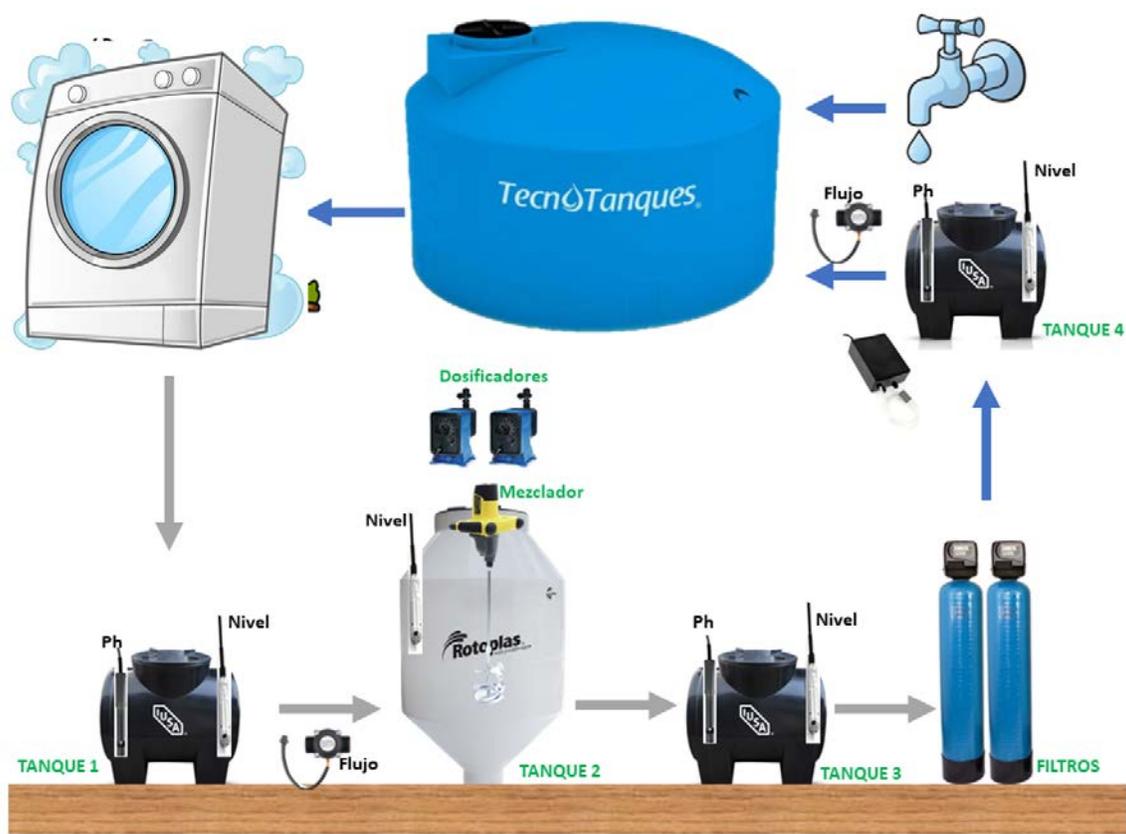


Figura 3. Esquema de la Planta de Tratamiento

Parámetros *in situ*

Para determinar los parámetros *in situ* se siguió la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, como son: el pH, sólidos disueltos totales (TDS), y conductividad eléctrica (CE).

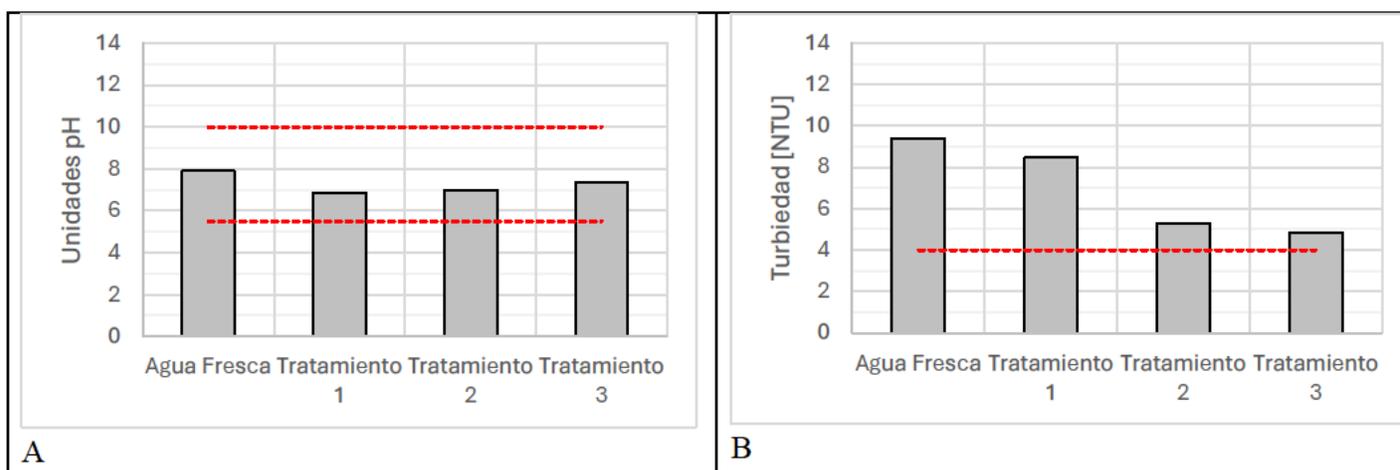
Parámetros en laboratorio.

Para determinar los parámetros en laboratorio se siguió la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, la cual establece la determinación de la turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, el DQO de las muestras recolectadas, de acuerdo con la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) de la compañía Hanna® Instruments. Se tomó como referencia la norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011, que establece la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Lavado y reciclado del agua tratada

Se emplearon diferentes tipos de ropa: sábanas, toallas, ropa de calle y ropa blanca. Para el lavado inicial se utilizó agua potable y se empleó detergente líquido y suavizante para dar a la ropa buen olor y disminuir la cantidad de espuma que se genera durante el proceso de lavado. No se adicionó cloro para evitar tener más variables. El agua tratada fue utilizada para emplearla nuevamente en el proceso de lavado y reutilizada por tres ocasiones, bajo las mismas condiciones y siempre utilizando detergente líquido.

Para el reúso de agua la norma vigente es la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Pero los límites para estos parámetros están referidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Se determinaron el pH (Fig. 4A), la turbidez (Fig. 4B), los sólidos disueltos totales (TDS, Fig. 4C) en cada ocasión que se reusó el agua. Adicionalmente, se muestra en la Figura 4D, la comparación entre la turbiedad y los sólidos totales disueltos en cada etapa del reúso.



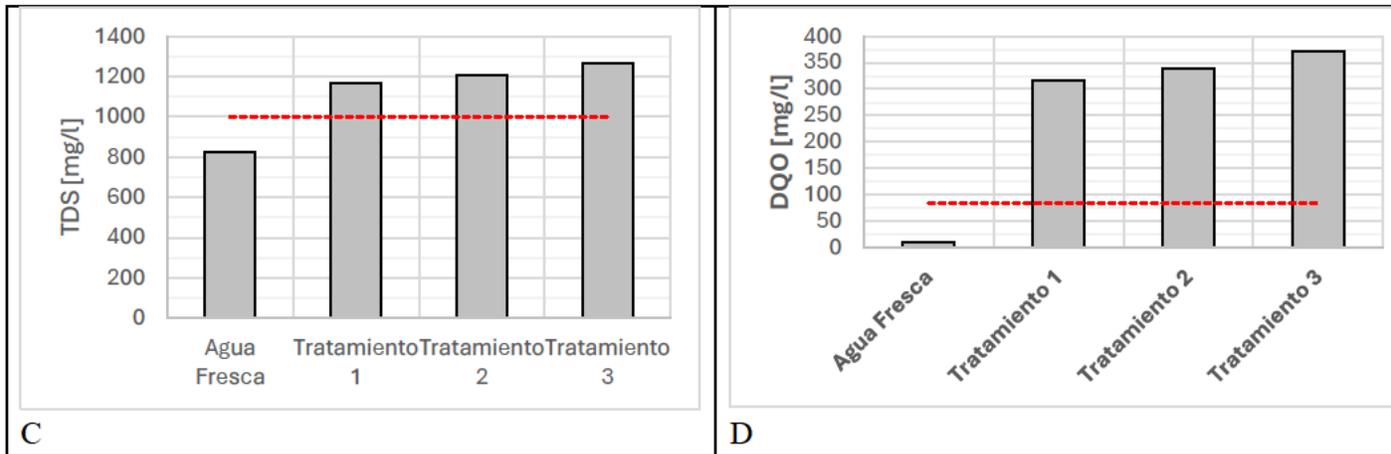


Figura 4 Valores de pH en agua tratada. La línea roja en cada caso representa el valor máximo y mínimo permisible establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Como puede apreciarse en la Figura 4A, después de tres tratamientos o recirculaciones de agua gris, los valores de pH se mantienen dentro del intervalo de valores vigentes, considerado como uno de los principales indicadores de calidad e indicando que se tiene un tratamiento adecuado. Los valores de pH prácticamente no cambian asociado principalmente al uso de detergentes líquidos, que debido a su formulación, utilizan enzimas y con una base fuerte, para solubilizar las grasas.

Cuando en una muestra de agua existen presencia de material suspendidos la muestra presenta un valor alto de la turbidez. En la NOM-003-SEMARNAT-1997 no se establece específicamente el valor de turbidez, pero con el apoyo de la NOM-127-SSA1-2021, “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, establece el límite máximo permisible de 4 unidades nefelométricas de turbidez (NTU), e indica un valor menor de 3.0 NTU a partir del segundo año posterior a la entrada en vigor de la Norma. De acuerdo con la Figura 4B, en los diferentes ciclos del tratamiento va disminuyendo desde 9.37 NTU, que presentó el agua potable, hasta valores de 4.87 NTU, en el tercer ciclo de tratamiento mejorando la calidad del agua tratada.

El parámetro TDS indica la suma de todos los compuestos orgánico, metales y sales disueltas en el agua; este indicador señala la calidad del agua y es un valor utilizado para medir la concentración de muchos otros contaminantes disueltos en el agua. En la NOM-003-SEMARNAT-1997 no se establece específicamente el valor de Sólidos Disueltos Totales, pero con el apoyo de la NOM-127-SSA1-2021, indica y establece el límite máximo permisible de 1000 mg/L en una muestra de agua. La tendencia a incrementar después de cada tratamiento se debe principalmente a la acumulación del detergente, se sugiere la instrumentación de un complemento al tratamiento como puede ser el uso de ozono, que gracias a su propiedad oxidante, ayude a degradar algunos contaminantes disueltos en el agua que no pueden ser retenidos en el tren de filtración. Es importante mencionar que el valor máximo que se presenta corresponde a agua potable e incluso con un tercer tratamiento o

recirculación el valor obtenido de TDS de 1,264 mg/l representa 26.4% de acumulación de sólidos disueltos en exceso según lo permitido por la Norma para agua potable NOM-127-SSA1-2021.

De la misma forma, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) conocida como la medida del oxígeno consumido para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. En su nueva actualización que entra en vigor en marzo del 2023 la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece la DQO como nuevo indicador. Como el agua se reusará, se buscó algún valor que se toma como referencia la descarga de agua en el suelo con fines para riego en áreas verdes, el valor instantáneo como límite máximo permisible es de 84 mg/L. La DQO indica que se cuenta con una acumulación de materia orgánica, esto principalmente al incremento de los sólidos disueltos totales que no pudieron ser removidos por el tren de filtración. De igual forma, el incremento en la DQO confirma la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento en primera instancia con la implementación de ozono como tratamiento complementario al existente.

Cinetica de sedimentación

Al momento de realizar un tratamiento de aguas un factor importante después del económico es el tiempo que dura todo el proceso, según el fin y las características de la planta de tratamiento, la duración jugará un papel importante. Para un proceso de recirculación en una lavandería tener tiempos rápidos es fundamental para no detener el proceso de lavado. A continuación, en la Figura 5 se presenta la curva de sedimentación donde se puede observar el volumen de lodos generados y el tiempo en que llega a concretarse la acumulación en el fondo de la tolva.

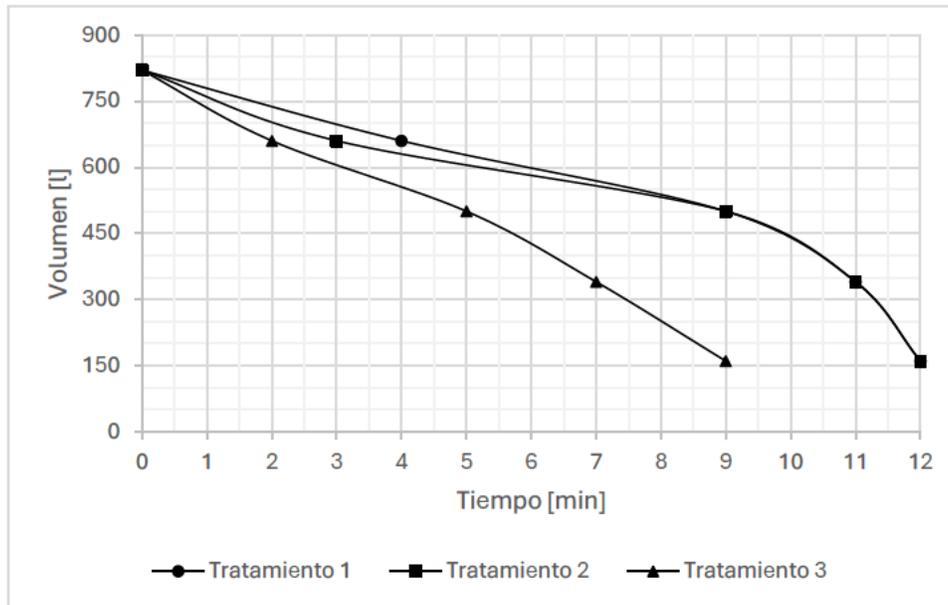


Figura 5. Tiempo de Sedimentación.

Cuando se realiza el primer tratamiento, el tiempo de sedimentación después de efectuado el proceso de coagulación y floculación es de 12 minutos del proceso de sedimentación y 150 litros de lodos, que tienen que ser separados y puestos a disposición para poder continuar con el tratamiento. El segundo tratamiento muestra un comportamiento muy parecido a la curva de sedimentación del agua tratada por primera vez. En cambio, para la tercera cinética de sedimentación el tiempo bajó considerablemente en un 25% el tiempo de reposo, logrando disminuir de 12 minutos a 9 minutos. La cinética que presenta la planta de tratamiento que en 12 minutos se están clarificado 850 litros de agua floculada, lo cual indica un 85 % de recuperación de agua y puede recurrirse más agua, al deshidratar los lodos, lográndose en promedio un 90% de recuperación.

1.7 Descripción

De acuerdo con la Figura 4, es necesario trabajar en la mejora de los sólidos totales disueltos (TDS) y la demanda química de oxígeno (DQO), ya que estos valores se van incrementando en cada ciclo de tratamiento. Esto podría realizarse introduciendo un ozonizador que pueda oxidar la materia orgánica, principalmente el detergente, que no puede eliminarse con el actual tratamiento terciario que recibe el agua. Seguir por métodos espectroscópicos la disminución del detergente. Esto garantizaría el reuso del agua por más ciclos.

La automatización es también un tema de mejora para el proceso de reuso del agua. Para ello es necesario poner sensores de pH, STD, temperatura, turbiedad y la detección de microorganismos (Coliformes y E. Coli), para cubrir la parte biológica de las normas, que

hasta ahora no se ha instrumentado. Esto permitirá al operario tener los valores de los principales parámetros en tiempo real.

También establecer las condiciones óptimas de lavado: el detergente que se adiciona debe ser líquido y siguiendo las indicaciones del fabricante; a carga completa para optimizar el uso del agua; considerar la presencia de otros componentes en el lavado, como es el caso del cloro y suavizantes, típicos en el lavado de ropa y optimizando el tiempo de sedimentación, para que se logren más ciclos de tratamiento por día. Finalmente analizar los lodos generados en el proceso fisicoquímico para su posible uso como composta y evitar que contenga compuestos tóxico para la flora.

Adicionalmente, se realizará una encuesta con los dueños de los negocios de lavanderías para determinar los requerimientos de las plantas que podrían adaptar a su establecimiento, como es espacio, consumo de agua, número de lavadoras, etc.

1.8 Recursos disponibles para el desarrollo del proyecto.

Se cuenta con el apoyo económico de Rectoría General a través de los proyectos apoyados en la convocatoria de Maduración Tecnológica del 2024.

1.9. Infraestructura actual en la Universidad disponible para el proyecto.

1. Equipo de FTIR 1500 marca Perkin Elmer con accesorio de Reflectancia total atenuada (ATR)
2. Equipo de RMN de líquidos y sólidos marca Bruker de 500 y 300 MHz.
3. Equipo de potencial zeta.
4. Equipo de Ultravioleta-visible marca Agilent.
5. Equipo de cromatografía de gases marca Agilent.
6. Equipo de pruebas de jarra
7. Equipo Multiparámetro: determina pH, temperatura, STD, POR y conductividad.
8. Equipo Hanna para determinar DQO, cloro libre, dureza, etc.
9. Turbidímetro marca Oakton
10. Estufa de vacío marca Rivas
11. Horno de Microondas marca.
12. Termo reactor para realizar pruebas de DQO
13. Espectrómetro de masas con plasma acoplado Inductivamente (ICP-MS) marca Agilent
14. Calorímetro Diferencial de Barrido Modulado (MDSC2920) marca TA Instruments
15. TGA marca Perkin Elmer PE2400

16. Difractómetro de Rayos X marca Bruker D-8 con geometría (Bragg - Brentano).
17. Espectrómetro de Absorción Atómica modelo Perkin Elmer Series 2380.
18. Microscopio Electrónico de Barrido marca JSM-6300 JEOL.
19. Espectroscopio por rayos X y dispersiva de energía (Bran Noran 2000)
20. Equipo convencional de vidrio,
21. Campanas de extracción.

I.10. Fuentes de financiamiento.

Se buscará apoyo a través de convocatorias de proyecto de investigación y desarrollos tecnológicos

I.11. Indicadores de desempeño (mínimo tres): formación de alumnos (recomendado), artículos, capítulos, ponencias, patentes, citas, prototipos, financiamiento externo, etcétera.

Formación de recursos humanos: alumnos de licenciatura y posgrado.

Desarrollo de prototipos para tratamiento de agua contaminada como metales pesados.

Artículos de divulgación sobre el tema.

Presentación de los resultados en foros académicos.

1.12 Fecha de inicio, duración y planeación a tres años.

Inicio en abril 2024 y concluye en noviembre del 2024, de acuerdo con el intervalo de tiempo de apoyo del proyecto. Sin embargo, se seguirá trabajando en la posible transferencia de la tecnología, no solo para lavanderías, sino para otros negocios de alto consumo de agua y que deben utilizar agua tratada como es el caso de los autolavados y agencias automotrices.

Palabras claves: Reuso de agua, tratamiento de aguas residuales, automatización planta