

1215-17X--019



MX9700065



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE
ACTIVACION NEUTRONICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

VERONICA HERNANDEZ HERNANDEZ

POZA RICA, VER.

1997



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
POZA RICA. VER.

EXPEDIENTE NUM: 96017

OFICIO NUM: FCQ-960504

FECHA: julio 3 de 1996

ASUNTO: ACEPTACION TEMA DE TESIS PARA
TITULACION.

C. VERONICA HERNANDEZ HERNANDEZ,
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA.
P r e s e n t e .

Se le comunica que la Academia de Titulación aprobó el tema presentado -
ante ésta y que a partir de la fecha contará con un año para desarrollar
lo con el orden que se indica a continuación, apegándose a los Reglamen-
tos Internos de esta Facultad. También se acepta como Asesor interno de
tesis al C. ING. R. OSVALDO GONZALEZ PAREDES y como Asesor externo a la
C. Q. IRMA GARCIA SOSA.

"ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE ACTIVACION NEUTRONICA"

RESUMEN

INTRODUCCION

- 1.- GENERALIDADES
- 2.- DESARROLLO EXPERIMENTAL
- 3.- RESULTADOS Y DISCUSION
- 4.- CONCLUSIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

A t e n t a m e n t e .

"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"

ING. GLORIA BOCARDI PEREZ,
DIRECTORA DE LA FAC. DE C. QUIMICAS.



FAC DE CIENCIAS
QUIMICAS
POZA RICA, VER

c.c.p: Expediente
Expediente alumno
Minutario

ING.GBP/crg'

Prolongación de la Av. Venustiano Carranza S/N, Col. Revolución

Apartado Postal 552

Tel./Fax: 2-73-63



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
POZA RICA, VER.

EXPEDIENTE NUM: 97017
OFICIO NUM: FCQ-970512
FECHA: junio 17 de 1997
ASUNTO: ORDEN DE IMPRESION DE TESIS

C. VERONICA HERNANDEZ HERNANDEZ,
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA.
P r e s e n t e .

Habiendo sido debidamente revisada y aceptada la tesis presentada por usted intitulada "ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE ACTIVACION - NEUTRONICA" y estando de acuerdo con los Profesores que integran la Academia de Tesis que es satisfactorio su contenido como prueba escrita para sustentar examen profesional, AUTORIZO a usted a la impresión del citado trabajo.

A t e n t a m e n t e .
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"


ING. GLORIA BOCARDI PEREZ,
DIRECTORA DE LA FAC. DE C. QUÍMICAS.



FAC DE CIENCIAS
QUÍMICAS
POZA RICA, VER


ING. PATRICIA GRESTI LUNA,
S E C R E T A R I A .

c.c.p: expediente
expediente alumno
minutario

ING.GBP/cry'

ESTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA NUCLEAR, GERENCIA DE CIENCIAS BÁSICAS, DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES, BAJO LA ASESORÍA DE LA Q. IRMA GARCÍA SOSA Y DEL DR. JOSÉ LUIS ITURBE GARCÍA, INVESTIGADORES DE ESTE CENTRO Y BAJO LA DIRECCIÓN ACADÉMICA DEL ING. R. OSVALDO GONZÁLEZ PAREDES CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVESIDAD VERACRUZANA.

AGRADECIMIENTOS

*A Dios:
Por iluminar mi camino.*

*A la Universidad Veracruzana y a mis
profesores, por los conocimientos
transmitidos durante el transcurso de
mi formación académica.*

*Al Instituto Nacional de Investigaciones
Nucleares por todas las facilidades
otorgadas durante la realización del
presente trabajo.*

DEDICATORIAS

A mis padres, con todo mi amor.

*A mi abuela, por su cañño, apoyo y
sabios consejos.*

A mis hermanos Vicente y Juan.

*A mi familia y a todas las personas
que de una u otra forma siempre me
apoyaron para seguir adelante, en
especial a mis tíos Karta y Francisco.*

*A mis compañeros de la generación
90-95 especialmente a mis amigas
Miriam, Luisa, Carmen, Elsa, Lulú, y
Adriana, por haberme soportado
durante tantos años.*

*A mis amigos del instituto con los cuales
pase momentos maravillosos e hicieron mi
estancia más amena: Olga (compa),
Graciela (Chela), Yenny (Jefa), Delia
(Yeya), José Luis (Huicho), Luis. E., David
(Dave), Carlos (Charles), Chava, Carmen
D., Xochihua, Enrique (Tío), Maya y
Carmen, en fin a todos y cada uno de ellos.*

*A mi amigo Manuel Alejandro
Chagoya por sus buenos consejos.*

*Si te quiero, es por que eres
mi amor, mi cómplice y todo;
y en la calle codo a codo,
somos mucho más que dos.*

*Y por tú tierna mirada,
y tú paso vagabundo.
Te quiero por tú mirada,
que mira y siembra futuro.*

*Gracias amor por ser como eres,
con todo mi cariño para tí*

Salvador.

RESUMEN

El abastecimiento del agua es un factor decisivo para sustentar la vida de las plantas, los animales y las personas. La generación de desechos como consecuencia del uso a gran escala de productos químicos que están asociados al desarrollo industrial puede ser muy nociva para la salud de los seres vivos y el ambiente. La contaminación del agua se ha convertido en un grave problema que amenaza la salud pública y el ambiente a nivel mundial.

Mediante una gran diversidad de proyectos y servicios científicos y técnicos, los laboratorios crean y transfieren tecnologías que tienen importantes aplicaciones relacionadas con el ambiente. En esta amplia gama de actividades figuran estudios analíticos sensibles a los metales tóxicos, los plaguicidas y otros contaminantes.⁽¹⁾

Las muestras de agua utilizadas en el presente trabajo, fueron proporcionadas por el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), localizado en la Cd. de Toluca, Edo. de México. Dicho Centro de Investigación cuenta dentro de sus instalaciones con una planta piloto de tratamiento de aguas residuales.

Los objetivos fueron: realizar un análisis fisicoquímico del agua de abastecimiento, analizar los efluentes de cada edificio para determinar su composición, antes de pasar a la siguiente etapa (biológica). Estas determinaciones se realizaron cualitativa y cuantitativamente mediante análisis por activación neutrónica (Na, Cl, Br, Mn, Fe, Ni, Cu, Cr, Co, Sb y Zn) y espectrometría de absorción atómica (Cd, Ag, Pb, As y Hg).

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	3
AGUA	4
AGUAS RESIDUALES	7
PROBLEMÁTICA DEL AGUA	7
COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	10
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	10
TRATAMIENTO PRIMARIO	10
TRATAMIENTO SECUNDARIO	12
TRATAMIENTO TERCIARIO	15
RADIATIVIDAD	19
DECAIMIENTO RADIATIVO	19
TIEMPO DE VIDA MEDIA	21
TIPOS DE DECAIMIENTO RADIATIVO	21
INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA	23
REACTORES NUCLEARES	26
COMPONENTES DE UN REACTOR	26
SEGURIDAD RADIOLÓGICA	29
TÉCNICAS ANALÍTICAS	29
ABSORCIÓN ATÓMICA	30
ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA	31
PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA SENSIBILIDAD ANALÍTICA	32
ANÁLISIS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS	34
Método absoluto	36
Método del comparador o estandar	37
DESARROLLO EXPERIMENTAL	40
MATERIAL	41
REACTIVOS	42
EQUIPO E INSTALACIONES	43
EQUIPO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	45
TRATAMIENTO DE LOS RECIPIENTES	46
LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	50
TOMA DE MUESTRAS	51
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA	52
ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA	52
Estudio preliminar	52
Preparación e irradiación de muestras y patrones	52

Espectrometría gamma.....	53
ABSORCIÓN ATÓMICA.....	53
Tratamiento Químico.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO.....	56
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA.....	57
ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA.....	57
ABSORCIÓN ATÓMICA.....	65
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFIA	69

LISTA DE FIGURAS.

1. Estructura de las moléculas del agua.
- 2a. Efecto fotoeléctrico.
- 2b. Efecto Compton.
- 2c. Producción de pares.
3. Corte transversal del reactor TRIGA Mark III.
4. Sistema de Absorción Atómica.
5. Sistema de detección de la radiación gamma.
6. Espectro gamma.
7. Diagrama del desarrollo experimental.
8. Diagrama del desarrollo experimental del análisis por Activación Neutrónica.
9. Diagrama del desarrollo experimental del análisis por Absorción Atómica.
10. Localización de los puntos de muestreo.
11. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-1 (Lab. de Necropsias).
12. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-2 (Salud Animal).
13. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-3 (CICA).
14. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-4 (Química del Agua).
15. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-5 (Recursos Bióticos).
16. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-6 (CIRA).
17. Concentración de los elementos en el sitio de muestreo E-7 (Sedimentador primario).

LISTA DE TABLAS.

1. Propiedades nucleares de los elementos presentes en el agua.
2. Resultados del análisis fisicoquímico de la muestra A (abastecimiento).
3. Tiempos de irradiación para los elementos de semidesintegración media.
4. Tiempos de irradiación para los elementos de vida media corta.
5. Condiciones de conteo utilizadas en el análisis.
6. Resultados del análisis fisicoquímico del punto E-7.

INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo económico que se ha dado en las últimas décadas, ha llevado a crear grandes zonas industriales, las cuales cambian la fisonomía del lugar en donde se establecen, deteriorando al mismo tiempo el medio, ya que sus contaminantes en forma de efluentes líquidos no son tratados en la mayoría de estas industrias. Su peligrosidad es alta por las diversas sustancias químicas que en gran parte son tóxicas, puesto que se trata de sustancias líquidas que desembocan en los ríos, y que por consiguiente envenenan la flora y fauna que ahí viven.

Por otra parte, paralelamente al proceso de industrialización se ha presentado un aumento considerable en la población como resultado del establecimiento de asentamientos humanos ubicados cerca de las zonas industriales, los cuales constituyen grupos de población potencialmente expuestos a la contaminación de las aguas principalmente de los ríos. Las consecuencias tienen repercusiones graves tanto para la población como para el ambiente en general.

La selección de los procedimientos analíticos más adecuados para el estudio del problema depende de varios factores, técnicos y económicos, especialmente del nivel de las concentraciones de los elementos contaminantes, y de la naturaleza de las muestras a analizar, para elegir un procedimiento analítico con suficiente sensibilidad y precisión que proporcione los resultados buscados, a un costo adecuado.

Los métodos nucleares de análisis, capaces de obtener una elevada sensibilidad analítica, superior a la mayoría de los métodos convencionales proporcionan una solución muy adecuada para conocer el problema de la

contaminación ambiental en el que generalmente muchos de los contaminantes son potencialmente dañinos en concentraciones extremadamente bajas. En resumen estas técnicas como el análisis por activación neutrónica son extremadamente versátiles permitiendo el análisis de numerosos elementos en muestras de composición muy diversas.⁽²⁾

En el presente trabajo se hicieron determinaciones de elementos contaminantes presentes en el agua residual, tales como sodio, cloro, manganeso, bromo, cromo, cobre, cobalto, hierro, zinc, níquel, antimonio, plomo, mercurio, plata y arsénico. Las concentraciones de estos elementos se determinaron por las técnicas de Análisis por Activación Neutrónica y Espectrometría de Absorción Atómica. Esta última técnica se utilizó principalmente para determinar elementos que no son activables con neutrones térmicos, como es el caso del plomo.

GENERALIDADES

AGUA.

A pesar de ser tan común, el agua es extraordinaria. Está en todas partes; adoptando la forma de los océanos, campos de hielo, lagos y ríos, cubre cerca de las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta; conjuntamente, estas extensiones contienen más de 1,350 millones de kilómetros cúbicos de agua. Y por debajo de la superficie, filtrándose por suelos y rocas, hay unos ocho millones más de kilómetros cúbicos de aguas subterráneas. En la atmósfera terrestre existen otros 12,500 kilómetros cúbicos de agua, casi toda ella en forma de vapor.

El agua sigue sustentando todas las formas de vida de algunos organismos de gran simplicidad que pueden existir sin aire, pero ninguno puede desarrollarse sin agua. En el transcurso de cientos de millones de años ha sido uno de los principales agentes en la reestructuración de la superficie de la Tierra. Determina el clima, forma el suelo que sustenta siembras y bosques y, como vapor o fuerza hidroeléctrica, mueve las máquinas de la técnica moderna.

El agua es una sustancia inodora, incolora e insípida. Como sustancia química es única, compuesto de gran estabilidad, la mayoría de sus moléculas tienen un peso molecular de 18 g/mol. Sin embargo, puesto que el hidrógeno y el oxígeno tienen cada uno 3 isótopos, hay 18 pesos moleculares posibles del agua, pero cada porción excesivamente pequeña de ^3T (tritio) y ^{17}O , ^{18}O el número de moléculas se reduce a tres: H_2O , D_2O y HDO .

El enlace covalente es la base de otras características del agua: su gran poder como disolvente, por ejemplo. Esta cualidad se debe a la forma de la molécula. Cuando dos átomos de hidrógeno se unen a uno de oxígeno la unión produce una molécula de forma irregular, pues los átomos de hidrógeno

quedan a los lados del átomo de oxígeno, y en un ángulo de 105° uno de otro. Los átomos de hidrógeno tienen una carga positiva mientras que el átomo de oxígeno tiene carga negativa. Debido a esta distribución de carga, el H_2O es una molécula fuertemente dipolar. Esto hace que las moléculas se aglomeren, el hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de la molécula vecina. La unión de las moléculas como resultado de esta fuerza de atracción recibe el nombre de "Puentes de Hidrógeno".^(3,4)

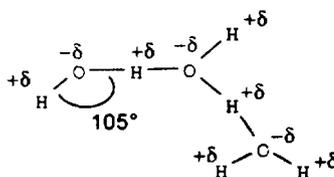


Figura 1. Estructura de las moléculas de Agua.

Una de las consecuencias de los puentes de hidrógeno es que las moléculas de H_2O no pueden abandonar la superficie de un cuerpo tan fácilmente como lo harían de no existir esta atracción intermolecular. La energía requerida para romper el enlace con el hidrógeno y liberar una molécula de H_2O para formar vapor es mucho mayor que la requerida por otros compuestos químicos comunes. A causa de esto, el vapor de agua tiene un alto contenido energético y es un medio efectivo para transferir energía durante las operaciones de una industria, en la construcción y en los hogares.

Además, el agua libera más calor durante la congelación que otros compuestos. Más aún, por cada cambio en el aumento de la temperatura, el

agua absorbe o libera más calor que muchas otras sustancias (capacidad calorífica), de forma que resulta un medio efectivo de transferencia de calor. La congelación del agua es bastante distinta a la de otros líquidos. Los puentes de hidrógeno producen un rearrreglo cristalino que hace que el hielo se expanda más allá de su volumen líquido original, de forma que su densidad es menor que la del líquido, por lo que el hielo flota. Si este no fuese el caso, los lagos se congelarían empezando por el fondo, y la vida en la forma en que la conocemos no existiría. Además de sus extraordinarias propiedades caloríficas, el agua tiene propiedades físicas muy distintas a las de otros líquidos. Su tensión superficial elevada, debida a los puentes de hidrógeno, hace que el agua se eleve en un tubo capilar.

La polaridad del agua es un factor importante para determinar sus propiedades disolventes, de todas las sustancias naturalmente presentes en la superficie de la Tierra, el agua es la que más se aproxima a la categoría de solvente universal.

El agua se ioniza muy ligeramente, produciendo únicamente 10^{-7} moles de iones hidrógeno y 10^{-7} moles de iones hidroxilo por litro, y actúan como aislante, ya que no puede conducir la corriente eléctrica. Al disolver sales u otros materiales ionizantes en el agua, se desarrolla la conductividad eléctrica. La conductividad de las aguas naturales proporciona una medida de su contenido en minerales disueltos.

Otro fenómeno importante es la presión osmótica. Si dos soluciones acuosas están separadas por una membrana, el agua pasará de la más diluida a la más concentrada. La viscosidad es otra propiedad del agua que afecta su tratamiento y su empleo. La viscosidad es la fricción de una capa de

moléculas que se mueve sobre otra. Al aumentar la temperatura del agua, la fricción interna disminuye.

En el ciclo global del agua sobre la Tierra (ciclo hidrológico), el agua establece contacto con los gases en la atmósfera (incluyendo contaminantes del aire y emanaciones volcánicas) y los minerales que hay en los primeros kilómetros de la corteza terrestre. En menor escala, el agua circula en sistemas construidos por el hombre (conductos, tuberías hechas de materiales sintéticos como el concreto y de metales refinados como el hierro y el cobre). En estos sistemas el agua actúa como disolvente y da lugar a fenómenos generales como la corrosión y las incrustaciones.⁽⁵⁾

AGUAS RESIDUALES

El hombre con su intensa actividad, iniciada a raíz de la Revolución Industrial, ha acelerado el movimiento de muchos materiales y ha sintetizado otros, al punto de que los ciclos biogeoquímicos tiendan a hacerse imperfectos, más lentos o incluso acídicos. Por otra parte, los materiales removidos se acumulan en sitios determinados habiéndolos agotado en otros, generando el fenómeno conocido por todos como "contaminación".

PROBLEMÁTICA DEL AGUA.

El agua, por sus características fisicoquímicas es la matriz dentro de la cual se sustenta la vida, además es parte fundamental dentro de los procesos productivos.

Pese a su importancia y la necesidad de conservarla con características adecuadas para el consumo, ha sido utilizada para conducir los desechos tanto animales como humanos, productos de su metabolismo, desde tiempos inmemoriales. No obstante, aunque este proceso se ha llevado a cabo en forma sistemática, hasta hace algún tiempo los volúmenes de agua potable disponibles eran suficientes; pero al incrementarse la industria y las poblaciones, aumentó la demanda del líquido, también se elevó la cantidad de desechos vertidos, a los que hubo que sumar cantidades cada vez más considerables de productos químicos de múltiples efectos nocivos para la flora y fauna como para el hombre mismo. Estas cuestiones dieron origen a tres problemas fundamentales:

- Escasez de agua para consumo humano y para usos de tipo industrial y agrícola.
- Problemas de salud humana por la contaminación del agua potable con aguas residuales, las cuales contienen una cantidad alta de microorganismos patógenos y de otras sustancias tóxicas.
- Deterioro ecológico de los sistemas acuáticos por el vertimiento directo, de aguas residuales industriales y urbanas, así como de aguas sobrantes del riego en la agricultura, que han sido enriquecidas con abonos y por el escurrimiento después de talas e incendios.

En México, la situación se torna más grave por la naturaleza desértica o semi-desértica de la mayor parte del territorio y por la mala localización de las urbes, establecidas por diversas razones, en zonas que cuentan con menos recursos hidráulicos, así como por el incontrolado ritmo de crecimiento de las poblaciones y de la industria, motivos que han hecho que sea difícil cumplir en este momento las necesidades urbanas en materia de suministro de agua, presentes y futuras.

Desde el punto de vista técnico, someter el agua a un sistema de tratamiento que elimine las impurezas, es la solución más idónea. Esta medida no sólo permite reutilizar el líquido, disminuyendo considerablemente la cantidad de agua potable que hay que abastecer, sino que también logra que los sistemas ecológicos se recuperen al verter en ellos un líquido de mejor calidad, a la vez ayuda a renovar el ciclo hidrológico.

Para hacer frente a los problemas de la contaminación, el hombre está intentando emplear las transformaciones bioquímicas naturales, para lo cual ha construido ambientes artificiales con el objeto de tener control sobre el curso de esas transformaciones.

Los principales tipos de operación que se llevan a cabo a través de reacciones bioquímicas son: remoción de la materia orgánica soluble, estabilización de la materia orgánica insoluble y conversión de la materia orgánica soluble.

Las aguas residuales que resultan de las actividades humanas incluyen desechos de origen municipal, agrícola o industrial. La eliminación de contaminantes presentes en las aguas de desecho antes de su vertimiento en las aguas naturales ó en los mantos freáticos se denomina tratamiento de residuos líquidos.

El procesamiento completo de las aguas residuales se define como el grado de tratamiento que es necesario para restablecer la pureza química, física y biológica del agua originalmente utilizada para diluir y transportar los residuos.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas negras contienen sólidos que de acuerdo a su composición pueden ser de naturaleza orgánica (origen animal, vegetal ó sintética) o inorgánica. De acuerdo a su estado físico pueden ser sólidos suspendidos (sedimentables y coloidales), sólidos disueltos y sólidos totales. Estas aguas contienen además gases disueltos en concentraciones variables como O₂, CO₂, y N₂ . Pueden contener líquidos volátiles con bajo punto de ebullición. En cuanto a su composición biológica, las aguas negras contienen incontables organismos vivos, los cuales son la parte activa de la materia orgánica y su presencia es de suma importancia, ya que en gran medida el tratamiento de estas aguas depende de sus actividades degradadoras de la materia orgánica.⁽⁶⁾

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TRATAMIENTO PRIMARIO.

Dentro de los tratamientos primarios se encuentran aquellos procesos en los que la separación de los contaminantes que se encuentran en el agua residual, se lleva a cabo a través de las fuerzas físicas, y se conocen como operaciones físicas unitarias. Entre éstas las más comúnmente utilizadas en el tratamiento son: cribado, desarenado, homogeneización, sedimentación, flotación y neutralización.

Cribado.

Es la retención de sólidos mayores (basura), que pueden ser separados del agua mediante el uso de rejjas y tamices, formados de alambres, varillas o barras paralelas, rejillas, tela metálica o placas perforadas.

Desarenado.

Se emplean para separar materiales más pesados que la materia orgánica (arena, grava, cenizas y otros). Esto para proteger las bombas y otros equipos del desgaste debido a la abrasión, evitan que estos materiales se acumulen en los tanques y no haya obstrucciones y taponamientos. Su forma es generalmente la de grandes canales, la velocidad de la corriente en ellos disminuye lo suficiente (0.3 m/s) para que los sólidos pesados se depositen, manteniendo en suspensión los ligeros o finos.

Homogeneización.

Tiene por objeto uniformizar los caudales y características del efluente cuando los vertidos son irregulares, discontinuos o diferentes de un momento a otro, evitando que descargas puntuales puedan afectar todo el proceso posterior. Para evitar la sedimentación de sólidos, el depósito debe estar provisto de un sistema de agitación mecánico o por aire.

Sedimentación.

La sedimentación es el retiro de partículas sólidas suspendidas de una corriente de agua mediante el asentamiento por gravedad.

Flotación.

La flotación es otra operación unitaria utilizada para separar partículas sólidas o líquidas (aceites) de una fase líquida. La separación se consigue mediante mecanismos que retiran de la superficie del agua, las partículas flotantes o que se hacen flotar introduciendo finas burbujas de un gas (generalmente aire) desde el fondo del tanque que contiene el agua en tratamiento. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula y burbuja de aire es lo que hace que la partícula suba a la superficie.

Neutralización.

Los métodos más comunes de neutralización de las aguas residuales son :

Homogeneización. Este método consiste en mezclar descargas ácidas con alcalinas que estén disponibles en la planta.

Métodos directos para el control del pH. Se basan en la adición de ácidos o bases para neutralizar las descargas alcalinas ó ácidas.

Para la neutralización de desechos ácidos se utilizan :

- Lechos de piedra caliza.
- Lechada de cal.
- Uso de sosa cáustica (NaOH).
- Uso de soda cáustica (Na₂CO₃)

Para la neutralización de aguas residuales alcalinas se utilizan ácidos fuertes, generalmente ácido sulfúrico y en algunos casos ácido clorhídrico. Cuando se dispone de gases residuales con un contenido importante de CO₂, pueden ser utilizados también.

TRATAMIENTO SECUNDARIO.

El tratamiento secundario para aguas residuales o de desecho, es aplicado principalmente para corregir mediante microorganismos los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos orgánicos y algunas grasas y aceites.

En este tratamiento, los microorganismos utilizados son los encargados de recuperar las características originales del agua y se les denomina tratamientos biológicos. Estos pueden ser de dos tipos principalmente: aerobios y anaerobios.

Los principales procesos de tratamiento biológico son: lodos activados, reactores anaerobios, lagunas de estabilización, filtros biológicos y biodiscos.

Lodos activados.

Consiste en poner en contacto en un reactor el agua residual, la biomasa y el oxígeno disuelto, en condiciones de agitación suficientes para mantener la biomasa en suspensión y asegurar un buen contacto con el oxígeno disuelto. Después de un tiempo de reacción suficiente la masa de lodos activados se lleva a un sedimentador secundario donde se separa el agua clarificada. Parte de los lodos sedimentados se devuelven al reactor para mantener la concentración de biomasa requerida y el resto se elimina como purga.

Reactores anaerobios.

En la digestión anaerobia se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Se utiliza para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico y de sólidos. Los procesos de alto rendimiento requieren de tanques de reacción a alta temperatura. El gas metano generado puede utilizarse para producir este calor. Entre los reactores anaerobios se encuentran los de lodos UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blancket) de filtro anaerobio, el reactor de contacto anaerobio y el de lecho fluidizado.

Lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización son depósitos naturales o artificiales de tierra, abiertos en contacto con el sol y el aire, en los cuales se lleva a cabo la biodegradación de la materia orgánica mediante la actividad metabólica de bacterias y algas. Primeramente son sedimentados los sólidos y luego la materia orgánica se oxida y estabiliza por medio de microorganismos. Las lagunas de estabilización pueden clasificarse en: lagunas aerobias o

fotosintéticas, lagunas aereadas, lagunas facultativas, lagunas de maduración o pulido y lagunas anaerobias.

Filtros biológicos.

El filtro percolador o biológico está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aerobios. Actualmente, se utiliza como relleno material plástico de una configuración especialmente desarrollada, de alta superficie y poco peso por unidad de volumen aparente. La altura del filtro puede alcanzar hasta 12 metros. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor, rotatorio cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y con los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que los lodos activados, dando más material celular y CO₂.

Biodiscos.

Consiste en una serie de discos rotativos, fabricados en materiales como poliestireno o cloruro de vinilo, situados sobre un eje a una corta distancia entre uno y otro, los discos están parcialmente sumergidos en el líquido y giran lentamente sobre su propio eje. El proceso se basa en la formación de una película de microorganismos adheridos a los biodiscos que se encargan de dar alternadamente oxigenación al salir del agua residual y también pone en contacto a los microorganismos con la carga orgánica a degradar.

TRATAMIENTO TERCIARIO.

El tratamiento terciario se aplica a los efluentes de los tratamientos secundarios para lograr un mayor grado de calidad del agua, de acuerdo al uso que se le quiere dar. Los procesos más comunes son : precipitación química, coagulación y floculación, filtración, desinfección, remoción de nutrientes, adsorción con carbón activado, intercambio iónico y ósmosis inversa. Estos procesos no son exclusivamente terciarios, también se aplican como tratamiento único en los casos que así lo requieren.

Precipitación química.

La precipitación química es un método de tratamiento de aguas residuales, que involucra la adición de reactivos químicos específicos para eliminar las sustancias disueltas en el agua en su estado natural con el fin de potabilizarla, o separar los contaminantes en aguas residuales. En la precipitación química se separan las sustancias disueltas del agua residual por medio de productos químicos solubles, los cuales al agregarse forman precipitados.

Coagulación y floculación.

La turbidez y el color son dos características indeseables en las aguas. Ambas suelen ser causadas por partículas coloidales. Estas presentan cargas superficiales electrostáticas, que hacen que existan fuerzas de repulsión entre ellas y les impida aglomerarse para sedimentar. La *coagulación* consiste en la neutralización de las cargas superficiales mediante adición de electrolitos. La precipitación de un coloide se provoca al agregar un electrolito de carga opuesta a la de las partículas coloides.

Las partículas formadas en la coagulación pueden ser aún pequeñas y de baja densidad. El tamaño de las partículas puede aumentar con la adición de

polielectrolitos, polímeros de moléculas de alto peso molecular y solubles en agua que, por disociación electrolítica en el agua, dan formas iónicas múltiples, capaces de actuar de puentes de unión entre las partículas coaguladas (*floculación*).

Filtración.

La filtración se utiliza para eliminar los sólidos que pueden haber sido arrastrados a la salida del sedimentador secundario, además de sus aplicaciones en tratamientos especiales. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava, antracita, otro material adecuado, o una combinación de ellos.

Desinfección.

La desinfección se refiere a la destrucción selectiva de los organismos patógenos. En el tratamiento de las aguas residuales la desinfección que comúnmente se emplea es mediante 1) agentes químicos, 2) agentes físicos y 3) radiación.

Agentes químicos. Los agentes químicos que se han usado como desinfectantes incluyen : fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, yodo, cloro y sus compuestos, bromo, ozono, metales pesados y sus compuestos, jabones y detergentes sintéticos, compuestos cuaternarios de amonio, peróxido de hidrógeno y varios álcalis y ácidos. El desinfectante universalmente usado es el cloro. El bromo y el yodo ocasionalmente se usan en albercas. El ozono es un desinfectante sumamente efectivo, aún cuando no deja concentración residual, su uso se ha incrementado en el tratamiento de las aguas. La acidez y alcalinidad extremas se pueden usar para destruir organismos patógenos.

Agentes físicos. Los desinfectantes físicos que se han usado son calor y luz. Calentando el agua hasta ebullición se pueden destruir por ejemplo, las bacterias patógenas, no esporuladas. La luz solar también es un buen desinfectante. En particular se emplea la radiación ultravioleta. La eficiencia del proceso depende de la penetración de la luz en el agua.

Radiación. Los principales tipos de radiación son : electromagnética, acústica y de partículas. Los rayos gamma emitidos por radisótopos como el ^{60}Co , tienen una fuerte penetración y se han usado para esterilizar el agua y aguas residuales.

Remoción de nutrientes.

Los vertidos con grandes cantidades de productos orgánicos nitrogenados pueden causar problemas por su alta demanda de oxígeno en el tratamiento, usualmente biológico. Para evitar el vertido de nitratos, el tratamiento biológico se completa en una zona anóxica, sin oxígeno, donde tiene lugar la desnitrificación que libera nitrógeno gaseoso.

Otros compuestos que pueden perjudicar el cause receptor del vertido son los *fosfatos*, por su influencia decisiva en el crecimiento de las algas. La eliminación de fosfatos se realiza por precipitación química, usando iones metálicos polivalentes, Ca, Fe o Al y un pH específico para cada ion.

Adsorción con carbón activado.

El caso de la adsorción con carbón activado se aplica a la remoción de compuestos orgánicos resistentes a la oxidación en el tratamiento secundario. La adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando una superficie se pone en contacto con una

solución. Una capa de moléculas del soluto se acumula en la superficie del sólido debido a fuerzas superficiales desbalanceadas. Los carbones activados tienen una amplia aplicación como adsorbentes en plantas potabilizadoras de agua para eliminar sabores y olores causados por compuestos orgánicos.

Intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso en el que los iones que mantienen a los grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de diferentes especies en solución.

Hasta hace algunos años las zeolitas naturales fueron las resinas de intercambio disponibles. La capacidad de intercambio era relativamente baja. Posteriormente las zeolitas naturales fueron reemplazadas por resinas sintéticas. Estas últimas son polímeros insolubles sobre los cuales se adicionan grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas. El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o volumen) de la resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad del ion y su posición en el equilibrio de intercambio.

Ósmosis inversa.

La ósmosis inversa es un proceso que se utiliza para remover sales minerales disueltas y otras impurezas del agua, forzando el agua bajo continuos incrementos de presión para pasarla a través de una membrana semipermeable, con lo que pasa de un estado de alta concentración a un estado de baja concentración.⁽⁷⁻⁹⁾

RADIATIVIDAD

La radiactividad es un fenómeno en el cual un núcleo atómico se transforma en otro diferente del original emitiendo espontáneamente partículas o radiaciones electromagnéticas. Cuando este fenómeno se realiza en los elementos presentes en la naturaleza, se conoce como radiactividad natural. Un elemento no radiactivo se puede transformar en radiactivo si se altera la composición del estado de equilibrio de su núcleo.

DECAIMIENTO RADIATIVO.

El decaimiento radiactivo es la transformación espontánea de un núcleo radiactivo, la cual puede implicar un simple cambio en el nivel energético del núcleo o bien la aparición de nuevos núcleos estables.

La radiactividad se mide por el número de núcleos o desintegraciones por unidad de tiempo. Siendo N el número de núcleos radiactivos en determinado instante, la radiactividad está dada por:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (1)$$

El número de átomos radiactivos dN que decaen en un intervalo de tiempo dt es constante para cada especie radiactiva y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = -\lambda \quad (1a)$$

en donde λ es una constante y se le conoce como constante de proporcionalidad radiactiva. El signo negativo indica que el número de átomos radiactivos disminuye conforme transcurre el tiempo. La integración de la ecuación (1) permite expresar el número de átomos radiactivos en la siguiente forma:

$$N = N_0 e^{(-\lambda t)} \quad (2)$$

donde N_0 es el número de átomos radiactivos en el tiempo $t = 0$. De estas relaciones podemos concluir que la actividad A está dada por la siguiente expresión:

$$A = \lambda N \quad (3)$$

La radiactividad se mide en desintegraciones por segundo y existen varias unidades para medirla, una de ellas es el Curie (Ci) que equivale a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo y sus múltiplos son el milicurie (mCi) y el microcurie (μ Ci). En el Sistema Internacional de unidades, la unidad radiactiva es el Becquerel (Bq) en donde $1 \text{ Bq} = 1$ desintegración/s.

De las expresiones anteriores se puede llegar a la siguiente ecuación:

$$A = A_0 e^{(-\lambda t)} \quad (4)$$

que se conoce como Ley de decaimiento radiactivo.

TIEMPO DE VIDA MEDIA.

Se define como vida media de un radisótopo, el tiempo necesario para que el número de átomos radiactivos se reduzca a la mitad y se expresa de la siguiente manera:

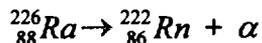
$$T_{1/2} = \ln \frac{2}{\lambda} \quad (5)$$

TIPOS DE DECAIMIENTO RADIATIVO.

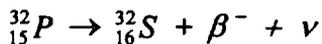
Existen diferentes tipos de decaimiento, los más importantes son:

Decaimiento alfa.

Las partículas alfa (α) están formadas por dos protones y dos neutrones. Estas son idénticas a núcleos de helio (${}^4\text{He}$) doblemente ionizado por lo que su carga es +2 y su número de masa es 4. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, pierde 4 unidades de masa, transformándose en otro núcleo, tal como se representa a continuación:

*Decaimiento beta.*

Hay dos tipos de decaimiento beta (β), el de la partícula negativa y el de la positiva. La partícula beta negativa que se emite es un electrón, con su carga y masa, indistinguible de los electrones de las capas atómicas. Cuando un núcleo emite una partícula beta negativa, el número de masa permanece igual, pero su número atómico se ve aumentado en uno, conservándose así la carga, como se muestra en la siguiente ecuación:



Existen también partículas beta con carga positiva llamadas positrones. Algunos núcleos radiactivos producidos artificialmente las emiten. Muchas de las propiedades de los positrones son igual a las de las partículas beta negativas, también llamadas negatrones.



Debe mencionarse que en todo decaimiento beta se emite también una nueva partícula, el neutrino (ν). Esta partícula no tiene carga ni masa y, por lo tanto no afecta el balance de las ecuaciones anteriores.

Decaimiento gamma.

La radiación electromagnética o radiación gamma (γ) permite a un núcleo en su estado excitado pasar a otro estado menos excitado. Este proceso es el análogo a la emisión de la luz visible o ultravioleta cuando átomos excitados retornan a su estado base. Los rayos γ son también emitidos en los procesos de transición isomérica.

En todos los casos, la radiación γ es emitida con energías discretas. Como la emisión γ es radiación electromagnética, no tiene carga eléctrica, ni puede ser deflectada por campos magnéticos o eléctricos. El mecanismo de la absorción de los rayos γ por la materia, es diferente a las partículas cargadas, como lo indica la mayor penetración en la materia que tienen las radiaciones γ .

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA.

Todos los empleos de la radiación están basados en cualquiera de las dos siguientes propiedades: penetración de la materia y depósito de energía.

Las partículas alfa al penetrar la materia atraen eléctricamente a su paso a los electrones cercanos, produciendo ionización de estos átomos. Pierden una pequeña fracción de su energía en cada ionización producida, frenándose gradualmente hasta llegar al reposo. Cuando su velocidad ya se ha reducido de manera sensible, atrapan electrones del material y finalmente se detienen, constituyendo átomos de helio. Debido a que son fuertemente ionizantes, pierden su energía cinética pronto, y su alcance en cualquier material es mucho menor que el de las otras radiaciones.

En el caso de las partículas beta también van perdiendo energía al ionizar y excitar los átomos del material hasta frenarse totalmente, pero con la diferencia de que su alcance no está bien definido como en el caso de las alfas.

Los rayos gamma, al no tener carga no pueden ser fácilmente detenidos al atravesar un material. Sufren otros mecanismos que al final los hacen desaparecer.⁽¹⁰⁻¹²⁾

En consecuencia rayos gamma, dependiendo de su energía, pueden atravesar varios centímetros de un sólido, o cientos de metros de aire y depositan allí gran parte de su energía. Los tres mecanismos de interacción con la materia son: el efecto fotoeléctrico, el compton y la producción de pares.

- a) El efecto fotoeléctrico se presenta cuando el fotón se encuentra con un electrón del material y le transfiere toda su energía, desapareciendo el fotón original. El electrón secundario adquiere toda la energía del fotón en forma de energía cinética, y es suficiente para desligarlo de su átomo y convertirlo en proyectil, frenándose por ionización y excitación del material. Este efecto es el predominante de los rayos gamma con energías menores a 60 keV cuando atraviesan aluminio y menores a 600 keV si plomo es el medio de absorción (figura 2a).

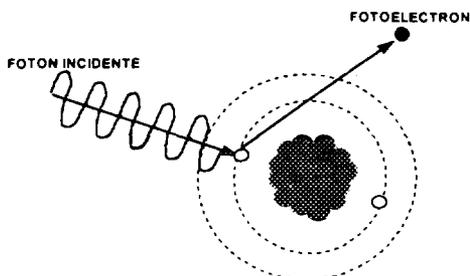


Figura 2a. EFECTO FOTOELECTRICO

- b) En el efecto Compton el fotón choca con un electrón como si fuera un choque entre dos esferas elásticas. El electrón secundario adquiere sólo parte de la energía del fotón y el resto se la lleva otro fotón de menor energía y es desviado. Este efecto predomina para energías entre 60 keV y 1.5 MeV en aluminio y entre 600 keV y 5 MeV en plomo (figura 2b).

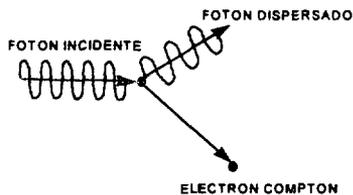


Figura 2b. EFECTO COMPTON

- c) En este proceso, el fotón gamma desaparece totalmente y en su lugar aparecen un electrón y un positrón, se trata de una transformación de energía en materia. Como la suma de las masas en reposo del electrón y positrón equivalen a una energía de 1.022 MeV esta habrá de ser la energía mínima de radiación gamma para que pueda tener lugar el efecto de creación de pares. El electrón y el positrón pierden rápidamente su energía cinética por choque con los átomos o partículas circundantes. Por otra parte, los positrones son partículas inestables y en presencia de materia interaccionan rápidamente con un electrón para aniquilarse mutuamente. Con ello dan lugar a la creación de un par de fotones gamma, cada uno con una energía de 0.511 MeV, emitidos en direcciones opuestas (figura 2c).⁽¹³⁾

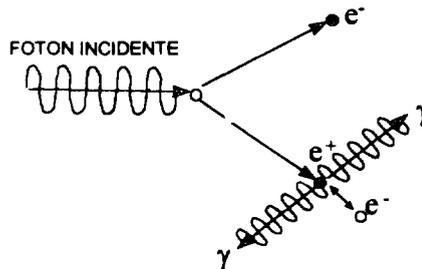


Figura 2c. PRODUCCIÓN DE PARES

Cuando los rayos gamma son absorbidos por la materia, su energía es transferida al absorbedor, teniendo lugar los efectos antes descritos. Si se utiliza un detector adecuado, esta energía es transformada en pulsos de corriente eléctrica, cuya altura es proporcional a la energía del rayo absorbido. Entre los detectores más utilizados para producir estos pulsos con radiación γ están los detectores semiconductores.

REACTORES NUCLEARES.

Un reactor nuclear es un sistema generador de energía, de neutrones, de rayos gamma y de otro tipo de radiaciones, en donde una reacción en cadena es iniciada y controlada. Se basa en el proceso de fisión nuclear de ciertos átomos llamados materiales fisionables, capaces de sufrir una reacción tipo (*n.f*), estos pueden ser: ^{235}U , ^{233}U ó ^{239}Pu .

Cuando el núcleo de un átomo de combustible nuclear absorbe un neutrón, existe la probabilidad de que se rompa en 2 fragmentos diferentes. Este rompimiento del átomo, es conocido como fisión nuclear. Durante este proceso se libera energía en forma de calor y radiación, entonces son expulsados varios neutrones que pueden perderse de diferentes maneras o bien pueden producir la fisión de otros núcleos de combustible liberando más energía y más neutrones. Con este mecanismo se inicia una reacción en cadena en la que cada núcleo fisionado proporciona los neutrones para la siguiente fisión y así sucesivamente.

Si en promedio uno ó más neutrones de cada fisión encuentra un núcleo de combustible para fisionarlo, la reacción en cadena puede someterse aún después de retirar la fuente de neutrones, en este caso se dice que el reactor es crítico o supercrítico. En caso contrario se dice que es subcrítico.

COMPONENTES DE UN REACTOR.

La mayoría de los reactores nucleares contienen básicamente los componentes que a continuación se enuncian:

1. El combustible
2. La fuente de neutrones.
3. El núcleo que contienen los elementos combustibles.
4. El moderador para termalizar los neutrones.
5. El refrigerante del combustible, que se usa para extraer el calor generado por la fisión.
6. El sistema de transporte del refrigerante.
7. Las barras de seguridad y control para regular la reacción en cadena.
8. El edificio del reactor.

El reactor TRIGA Mark III del Centro Nuclear de México es un reactor crítico tipo alberca, enfriado, moderado y reflejado con agua ligera que utiliza hidruro de zirconio como moderador mezclado con uranio enriquecido al 20% en ^{235}U como combustible, fue fabricado por la General Atomic Co.

Este reactor es una herramienta muy versátil y flexible para investigación básica y tecnológica, para enseñanza y entrenamiento, para irradiación de materiales y producción de radisótopos. Estas características le dieron lugar a su nombre TRIGA (Training = entrenamiento, Research = investigación, Isotope production = producción de isótopos, GA = General Atomic). Las características anteriores señalan brevemente los objetivos a los que está destinado el reactor del Centro Nuclear de México.

El reactor está diseñado para trabajar en régimen permanente o transitorio en cualquier posición del núcleo dentro de la alberca. Las posiciones experimentales de irradiación son las siguientes:

SIFCA: Es el sistema de irradiación fijo de cápsulas, útil cuando se requiere irradiar un gran número de muestras simultáneamente.

SINCA: Es el sistema de irradiación neumático de cápsulas, se utiliza por la rapidez con que las muestras pueden ser retiradas del flujo de neutrones, pudiéndose medir radionúclidos con tiempo de vida media de varios segundos.

DEDAL CENTRAL: Es el que tiene mayor flujo de neutrones, es útil cuando se requiere aumentar la sensibilidad del análisis.

TUBO SECO: Tiene el mismo flujo de neutrones del SINCA, pero permite irradiar muestras sin tomar demasiadas precauciones para asegurar su hermeticidad.

En la figura 3 se presenta un corte transversal del núcleo del reactor y se señalan allí las posiciones descritas. El reactor nuclear del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares genera neutrones con un flujo promedio del orden de 10^{13} neutrones/cm²s.⁽¹⁴⁾

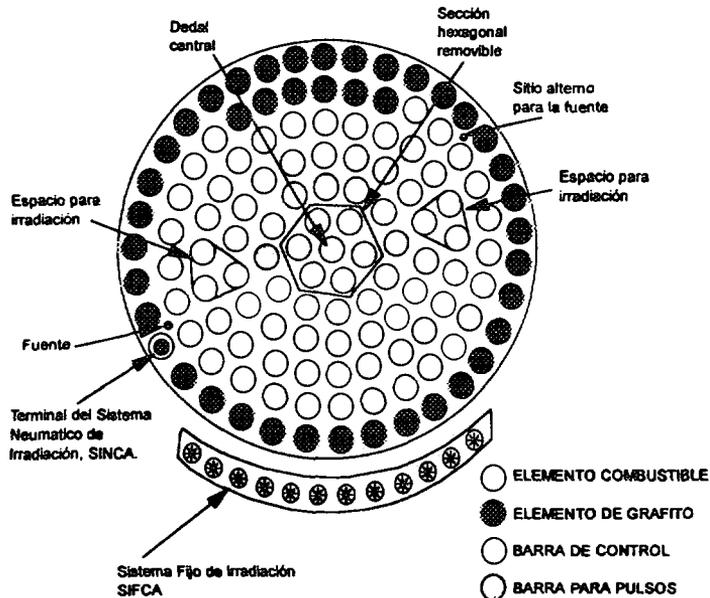


Figura 3. Corte transversal del reactor TRIGA Mark III.

SEGURIDAD RADIOLÓGICA

En general, la filosofía de la Seguridad Radiológica se considera bajo 2 criterios, el primero de los cuales es limitar la dosis y el segundo reducir la exposición a la radiación en un valor tan bajo como razonablemente pueda lograrse.

El personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares debe usar el vestuario y equipo indicado, en función con el tipo de actividades que realice dentro de la zona de trabajo. En éstas deberá contarse con el equipo apropiado que permita la medición real de los niveles de radiación contaminantes superficiales y contaminantes suspendidos en aire.⁽¹⁵⁾

TÉCNICAS ANALÍTICAS

Antes de asignar un tratamiento a las aguas residuales se debe conocer su composición. Tanto en las evaluaciones de los recursos hídricos, como de sus contaminantes, como metales tóxicos, se emplean métodos analíticos como la espectrofotometría por absorción atómica (AA)^(16,17), la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE), análisis por fluorescencia X (AFX), espectroscopía por emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP-AES), técnicas de trazadores, etc.⁽¹⁾; así como el análisis por Activación Neutrónica (AAN)^(2,18-20) que se empleó principalmente en este trabajo.

ABSORCIÓN ATÓMICA.

Este método se basa en la medición de la cantidad de luz monocromática absorbida por el elemento a determinar y que se encuentra atomizado en una flama, por medio de un detector, siendo dicha energía absorbida proporcional a la concentración del elemento.

Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Este aparato consiste de:

- a) Una fuente de luz que emite la línea espectral del elemento analizado (lámpara de cátodo hueco). El cátodo de dichas lámparas está fabricado con el elemento que se determina.
- b) Sistema de quemador y nebulizador para atomizar la muestra.
- c) Monocromador.
- d) Detector.
- e) Preamplificador.
- f) Sistema de lectura.

En cualquier caso se debe acidificar con ácido nítrico concentrado hasta un pH de 2 o menor. Si la muestra contiene materiales suspendidos o materia orgánica se requiere de otro tratamiento específico que consistirá en una digestión.⁽²¹⁾

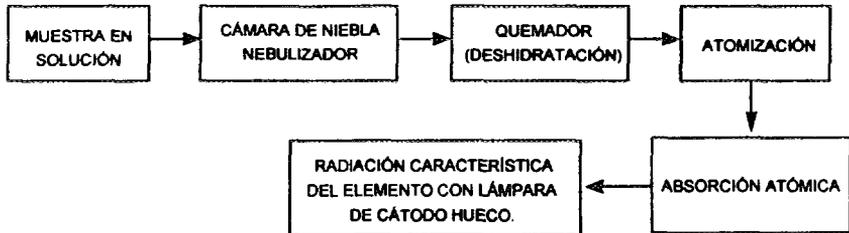
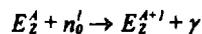


Figura 4. Diagrama del sistema de Absorción Atómica.

ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

Los fenómenos que se producen cuando una muestra material se somete al bombardeo de un flujo de neutrones se denominan proceso de activación neutrónica. Este es el proceso fundamental del análisis por activación neutrónica. Si un elemento monoisotópico se bombardea con un flujo de neutrones de una energía determinada se produce una reacción nuclear característica con una cierta probabilidad dada por su sección eficaz correspondiente. En el caso de la existencia de varios isótopos del mismo elemento, cada uno de los isótopos sufre la reacción nuclear correspondiente con su respectiva sección eficaz y produciendo un radionúclido de características propias y bien determinadas.

La ecuación de activación con neutrones de un elemento E de un número atómico Z y de peso atómico A, se puede escribir en forma general como sigue:



o sea se produce un isótopo del elemento E, con el mismo número atómico Z, y de un peso atómico mayor en una unidad, siempre que nos referimos a la

reacción nuclear tipo (n, γ) , o captura de neutrones, la reacción más importante y utilizada en análisis por activación neutrónica.

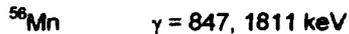
PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA SENSIBILIDAD ANALÍTICA.

El análisis por activación se basa en la medida de la actividad del radionúclido producido durante la irradiación con neutrones. Los factores que influyen en el valor de la actividad producida y en consecuencia en la sensibilidad del método, se pueden dividir en 2 tipos: aquéllos que son independientes del analista, dado que son características de los núclidos que intervienen en el proceso y aquellos otros que pueden ser variados por el analista para mejorar la sensibilidad. Entre los primeros están:

- a) La sección eficaz (σ) de activación característica del isótopo que se bombardea influye enormemente en la sensibilidad. En consecuencia aquellos elementos con elevadas σ de activación serán capaces de ser determinados con mucha más sensibilidad que aquellos otros que presentan secciones eficaces bajas.
- b) La abundancia isotópica natural del isótopo que sufre la reacción nuclear, también influye en el mismo sentido que la sección eficaz de activación aunque su margen de variación tiene un límite infinitamente más pequeño, y por tanto su efecto en la sensibilidad es menor.
- c) La cantidad de neutrones bombardeantes, se determina por el flujo existente en las posiciones de irradiación del reactor. El flujo disponible es un factor importante en la sensibilidad analítica.
- d) El peso atómico del elemento irradiado tiene escasa influencia en la sensibilidad, dado que sus variaciones son pequeñas.

El segundo tipo, que depende del analista sólo puede operar con dos factores, el tiempo de irradiación de la muestra y el tiempo de desintegración, es decir el tiempo que transcurre entre el final de la irradiación y la medida de la actividad. Ambos están relacionados con el período de semidesintegración del radionúclido producido, que a su vez es independiente del analista y característico del núclido radiactivo producido.

En general, en análisis por activación con neutrones se utiliza para realizar la medida de la actividad del núclido radiactivo producido directamente por la reacción nuclear, una vez identificado plenamente mediante sus características típicas, que le hace inconfundible de cualquier otro radisótopo: su periodo de semidesintegración y el tipo y energía de las radiaciones que emite. Ejemplo:



En el análisis por activación es posible medir la actividad individual de cada núclido en una mezcla de ellos a través de su energía gamma.

Elemento	Isótopo natural	Abundancia isotópica(%)	Sección eficaz(barns)	Isótopo producido	Periodo de semi-desintegración
Sodio	²³ Na	100.00	0.53	²⁴ Na	15 horas
Cloro	³⁷ Cl	24.60	0.40	³⁸ Cl	37 minutos
Cromo	⁵⁰ Cr	4.31	17.00	⁵¹ Cr	27.8 días
Manganeso	⁵⁵ Mn	100.00	13.30	⁵⁶ Mn	2.6 horas
Hierro	⁵⁸ Fe	0.31	1.10	⁵⁹ Fe	45 días
Cobalto	⁵⁸ Co	100.00	37.00	⁶⁰ Co	5.3 años
Níquel	⁶⁴ Ni	1.16	1.57	⁶⁵ Ni	2.6 horas
Cobre	⁶³ Cu	69.10	4.50	⁶⁴ Cu	12.8 horas
Cinc	⁶⁴ Zn	48.89	0.46	⁶⁵ Zn	245 días
	⁶⁸ Zn	18.56	0.10	^{69m} Zn	14 horas
Bromo	⁷⁹ Br	50.52	8.50	⁸⁰ Br	18 minutos
	⁸¹ Br	49.48	3.00	⁸² Br	35.3 horas
Antimonio	¹²¹ Sb	57.25	6.06	¹²² Sb	2.7 días
	¹²³ Sb	42.72	3.03	¹²⁴ Sb	60 días

Tabla 1. Propiedades nucleares de elementos presentes en el agua.

Entonces, un análisis por activación neutrónica, consta fundamentalmente de dos etapas: producción de la actividad mediante la irradiación con neutrones e identificación y medida de la misma mediante los detectores adecuados. Sin embargo, como todos los núclidos de la muestra producen isótopos radiactivos es preciso medir selectivamente la actividad de los radionúclidos deseados. Muchas veces es posible lograr esta meta, empleando la técnica de la espectrometría gamma con los detectores semiconductores, pero en otras ocasiones ello no es posible, por tratarse de emisores beta puros, o bien debido a la existencia de otras energías, que enmascaran y perturban la medida de la actividad deseada.

En estos casos, es necesario recurrir al empleo de separaciones radioquímicas, para aislar convenientemente la actividad o actividades deseadas del resto. En este caso hay que añadir una etapa más al análisis, la etapa de la separación radioquímica, que está intercalada entre la irradiación y la medida de la actividad. Los principales tipos de análisis utilizados en AAN son:

ANÁLISIS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS.

Una muestra tiene composición compleja y todos los núclidos existentes en la muestra se activan al ser irradiada con neutrones, originando diferentes isótopos radiactivos que decaen emitiendo varios tipos de radiaciones con diversas energías y cada uno de ellos con su propio período de semidesintegración. Entonces la posibilidad de realizar un análisis no destructivo depende fundamentalmente de 2 factores: a) de la selectividad y especificidad del equipo de medición y b) del resto de las actividades presentes en la muestra irradiada, de tal forma que el sistema de medición sea capaz de detectar la radiación de los radionúclidos a determinar. Entonces, la

posibilidad de realizar un análisis no destructivo o instrumental, depende en primer lugar del detector y la técnica utilizada para la medida.

Ambos tipos de análisis, el instrumental y el radioquímico tienen sus ventajas e inconvenientes. Las ventajas del análisis por activación en su forma radioquímica son:

- a) El empleo de la separación radioquímica, este aumenta la sensibilidad en la determinación del elemento, y
- b) La precisión para separar un elemento, empleando el método radioquímico, siendo en gran parte el rendimiento de separación empleando el método radioquímico

Por otra parte, el análisis instrumental o no destructivo presenta las ventajas de: rapidez en la obtención de resultados, conservación de la muestra, posibilidad de automatización, y posibilidad de analizar grandes series de muestras. Otra ventaja del método instrumental sobre los radioquímicos es su posibilidad de determinar simultáneamente varios elementos en una misma muestra.

En la actualidad se nota una tendencia creciente al empleo del método no destructivo, sobre los métodos de separaciones radioquímicas, debido a la necesidad de obtener los datos de las muestras más confiables, en el menor tiempo y a un costo mínimo.

Existen 2 métodos principales para determinar la concentración de algún elemento mediante Análisis por Activación Neutrónica:

MÉTODO ABSOLUTO.

Este método permite calcular el peso en gramos W del elemento irradiado en función de las características nucleares del núcleo blanco, y del radionúclido producido así como de los parámetros de la irradiación, por medio de la actividad del núclido radiactivo formado, mediante la siguiente ecuación :

$$W = \frac{AM}{6.023 \times 10^{23} \phi \sigma \theta (1 - \exp(-t \ln \frac{2}{T_{1/2}})) \exp(-t_1 \ln \frac{2}{T_{1/2}})} \quad (6)$$

donde:

A = actividad del núcleo radiactivo expresada en desintegraciones por segundo.

M = peso atómico del elemento que sufre la reacción nuclear.

ϕ = flujo de neutrones bombardeantes expresado en neutrones/cm²s.

σ = sección eficaz de activación para el isótopo considerado expresado en barns (1 barn = 1 X 10⁻²⁴ cm²).

θ = la abundancia isotópica natural del isótopo que sufre la reacción nuclear.

$T_{1/2}$ = tiempo de vida media (período de semidesintegración del radionúclido producido).

W = peso del elemento existente en la muestra irradiada expresada en gramos.

t = tiempo de irradiación.

t_1 = tiempo transcurrido entre el final de la irradiación y la medida de la actividad.

MÉTODO DEL COMPARADOR O ESTANDAR.

Consiste en irradiar simultáneamente las muestras desconocidas y un peso conocido del elemento o elementos a determinar, medir la actividad relativa de la muestra y del comparador, con el mismo detector y en las mismas condiciones geométricas.

En estas condiciones podemos ver que los parámetros nucleares y de la irradiación son análogos para la muestra y el comparador, independientemente de sus valores absolutos; así mismo dado que las muestras se han irradiado simultáneamente el mismo tiempo, el flujo neutrónico será el mismo para ambas muestras, debido a que la irradiación se realiza en las mismas posiciones.

Considerando lo anterior se obtiene la relación de Boyd:

$$\frac{A_m}{A_c} = \frac{W_m}{W_c} \quad (7)$$

Siendo A_m y A_c las actividades relativas, correspondientes a la muestra desconocida y al comparador. W_m y W_c son el peso del elemento blanco en la muestra y en el comparador respectivamente.

El método de análisis por activación utilizando comparadores o estándares es el más utilizado y generalmente aceptado, debido a su simplicidad e independencia de las constantes nucleares del núcleo bombardeado y del producto de la reacción. Requiere únicamente irradiar simultáneamente los comparadores de peso conocido y la muestra en posiciones donde reciban el

mismo flujo neutrónico, y procesar y medir las muestras y los comparadores con el mismo detector y en las mismas condiciones de geometría.

Preparación de muestras y patrones.

Para efectuar el Análisis por Activación Neutrónica se deben preparar muestras y patrones. Es necesario lavar el material para evitar posibles contaminantes presentes en dicho material.

a) Materiales de empaquetamiento.

- Deben poseer alta resistencia mecánica a la irradiación.
- Deben tener resistencia a la temperatura.
- Su contenido de elementos activables debe ser bajo.
- Fácil de manipular durante el empaquetamiento.

b) Encapsulado.

- La muestra una vez medida es encapsulada dentro de un envase para protegerla de la contaminación durante el transporte al lugar de la irradiación.
- Los materiales usados para contener y encapsular las muestras son el polietileno, el cuarzo y el aluminio.
- Para contener las muestras se utilizan envases de polietileno que puedan cerrarse fácilmente calentando el envase en un mechero y presionando el polietileno reblandecido con unas pinzas o con una varilla de vidrio para obtener un sellado adecuado.
- Los contenedores con muestras, se deben enjuagar con agua desionizada o acetona de alta pureza, para eliminar la contaminación que se origina al manipular el contenedor con las manos.

Preparación de patrones.

Los patrones deben tener las siguientes características :

- a) Pureza analítica.
- b) Estables.
- c) Poseer una sola especie activable.
- d) Fácilmente solubles en agua.
- e) No deben ser higroscópicos, ni efervescentes.

Para la activación se prefieren los carbonatos, acetatos o nitratos, si el elemento está en forma de catión y las sales amoniacales, si el elemento está en forma de anión, dado que la activación de estos elementos no presentan problemas. Cuando no se dispone de la sal soluble del elemento, se utiliza una cantidad conocida de su óxido.

Los patrones se suelen agrupar según su período de semidesintegración, distribuyéndolos en períodos cortos, medios y largos de acuerdo con el tiempo de irradiación y de conteo. Una vez preparados muestras y patrones se someten a un flujo de neutrones. ^(2,22)

***DESARROLLO
EXPERIMENTAL***

A continuación se darán a conocer los pasos que se siguieron en la realización experimental para el análisis de las muestras, así como una breve explicación de cada uno de ellos.

MATERIAL

Matraces aforados de 100 mL, Pyrex.

Jeringas desechables.

Cristalizadores de vidrio

Tijeras.

Charola.

Papel absorbente.

Pinzas de disección.

Pipetas volumétricas de 1 mL.

Pipetas graduadas de 1,5, 10 mL, Pyrex.

Propipeta.

Vasos de precipitado de 100, 250 y 4000 mL, Pyrex.

Piseta.

Termómetro.

Espátula.

Mechero.

Frascos de vidrio y polietileno de 100 mL.

Cápsulas de polietileno para irradiación.

Viales de polietileno de 1 mL.

Agitadores.

REACTIVOS

Los reactivos utilizados en el presente trabajo fueron de grado analítico, mismos que a continuación se resumen.

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Baker.
CrO_3	Baker.
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Baker.
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Merck.
HNO_3	Baker.
HCl	Merck.
MnO_2	Baker.
NaCl	Técnica Química.
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Prod. Químicos Monterrey.
Zn granular 30 mallas	Baker.
NH_4Br	Baker.
Tritisol solución patrón de Sb	Merck.

Se utilizó agua desionizada para la preparación de las soluciones, así como para lavar el material.

EQUIPO E INSTALACIONES

Los equipos empleados fueron: balanza analítica Sartorius, parrilla eléctrica, el reactor TRIGA Mark III del Centro Nuclear de México.

Se utilizó un sistema de detección y medición de la radiación (figura 5), que consta de las siguientes partes:

Detector: De germanio hiperpuro (Ortec), tipo semiconductor que, convierte la radiación ionizante en pulsos de corriente eléctrica

Preamplificador: (Ortec) Debido a que el pulso producido por el detector es pequeño, es necesario utilizar un preamplificador entre el detector y los demás procesadores de señal, éste no cambia la forma del pulso.

Amplificador:(Ortec). Sus funciones principales son como su nombre lo indica de dar forma adecuada y ampliar la señal para enviarla al siguiente módulo que es el multicanal.

Analizador de altura de pulsos: La computadora que forma parte del sistema de detección, esta acoplada a una tarjeta Nucleus, que funciona como analizador de altura de pulsos de 2048 canales, la calibración se realiza empleando los siguientes radisótopos : ^{204}Tl , ^{22}Na y ^{137}Cs con energías de 70.84, (511 y 1274) y 662 keV, respectivamente. Su función básica es la de clasificar los pulsos que van llegando de acuerdo a su tamaño y energía, posteriormente los almacena por canales y los muestra en una pantalla en forma de espectro, como se muestra en la fig. 6.

Impresora: Este sistema de impresión es para obtener los datos numéricos y gráficos.⁽²³⁾

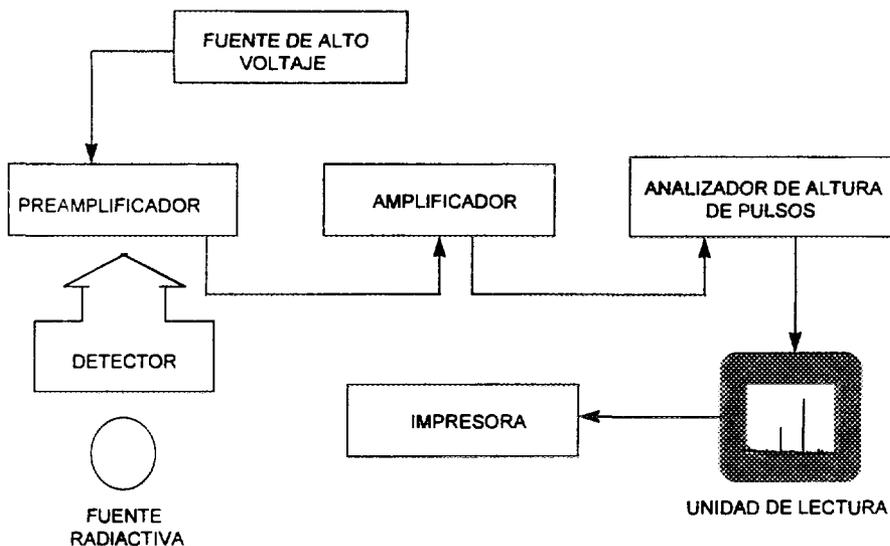
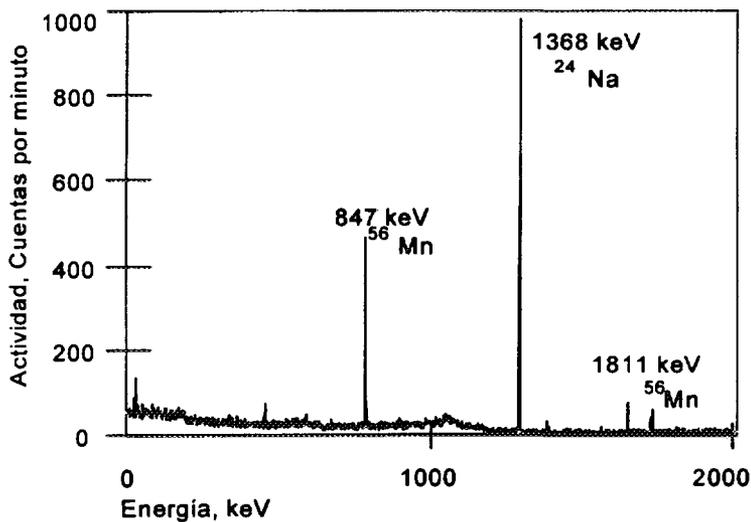


Figura 5. Sistema de detección de la radiación gamma.

Figura 6. Espectro gamma, donde se pueden observar los picos correspondientes a las energías características de los radisótopos ^{24}Na y ^{56}Mn .

Las determinaciones por Absorción Atómica se realizaron en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 5000, por el Departamento de Análisis Químicos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

EQUIPO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

El vestuario mínimo a portar por el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) en el laboratorio es una bata, guantes y dosímetros personales. Además se debe de contar con un monitor portátil para el levantamiento de niveles de radiación en el área de trabajo.

TRATAMIENTO DE LOS RECIPIENTES

Se utilizaron recipientes de polietileno de un litro de capacidad, los cuales, con el propósito de eliminar la posible presencia de metales adheridos en las paredes, fueron sometidos al siguiente tratamiento:

1. Se lavaron con una solución detergente no iónica libre de metales (extrán al 5%)
2. Se enjuagaron con agua desionizada.
3. Se sumergieron en una solución al 50% de HNO_3 durante un período de 24 horas y a una temperatura de 70°C .
4. Se enjuagaron nuevamente con agua desionizada.⁽²⁴⁾

Para tener una mejor comprensión del desarrollo experimental se presentan diagramas de flujo de la metodología (figuras 7, 8 y 9).

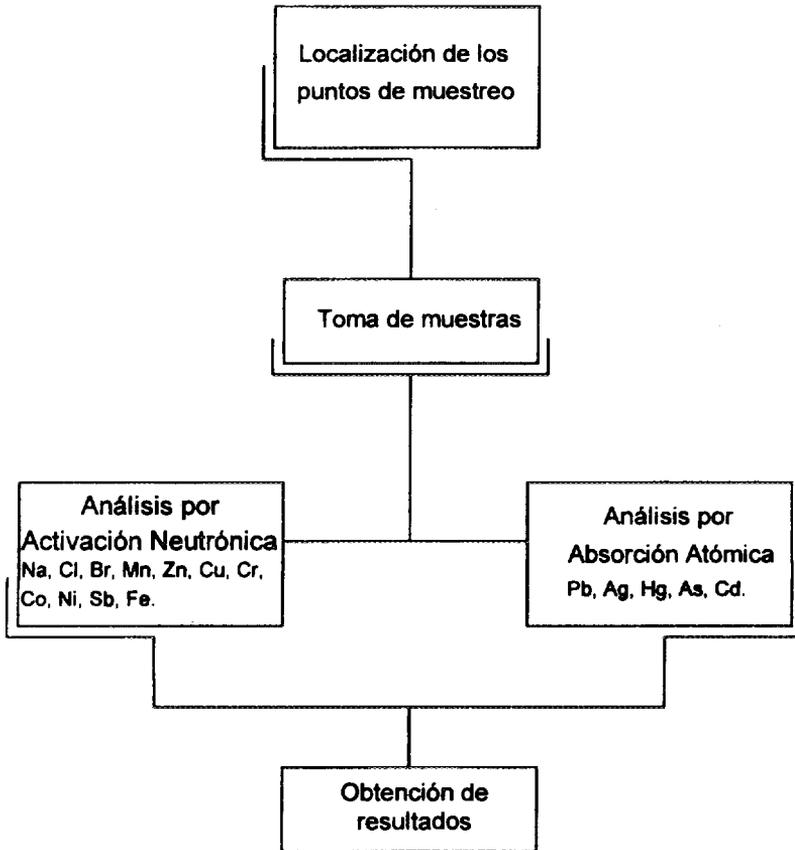


Figura 7. Diagrama del desarrollo experimental.

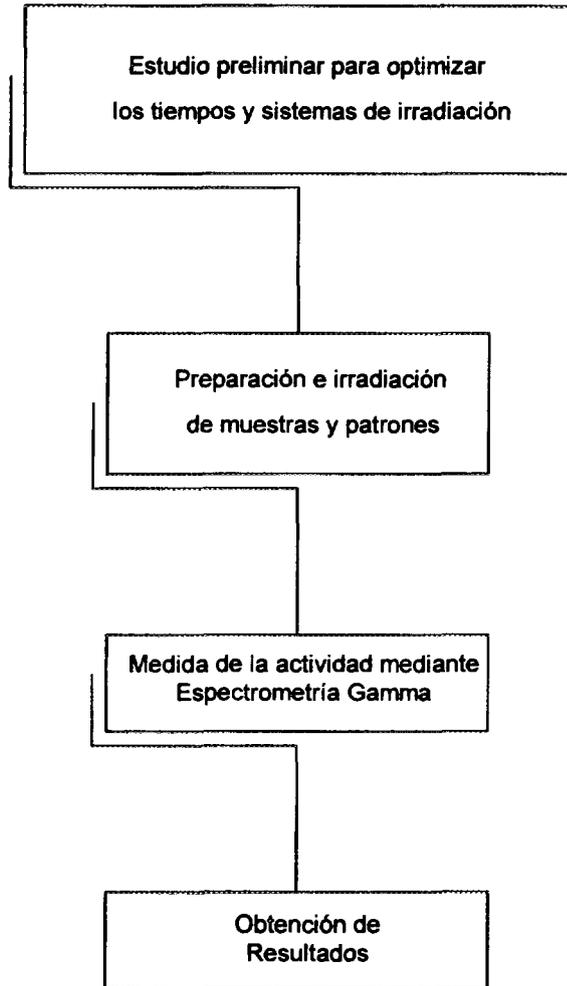


Figura 8. Diagrama del desarrollo del análisis por activación neutrónica

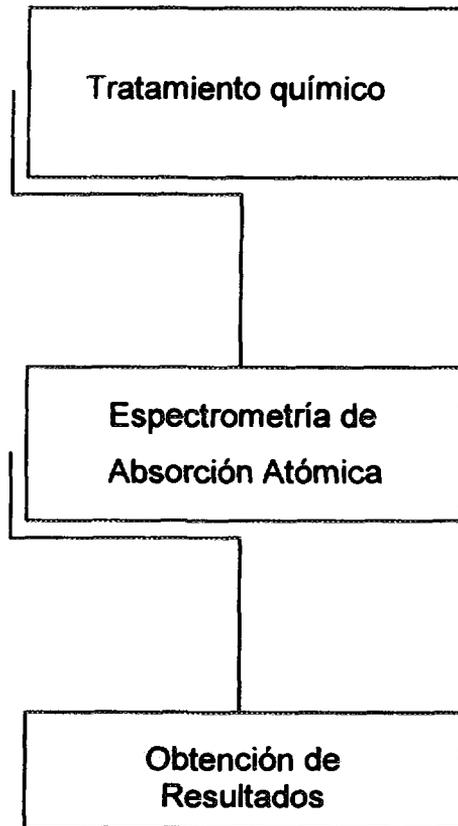
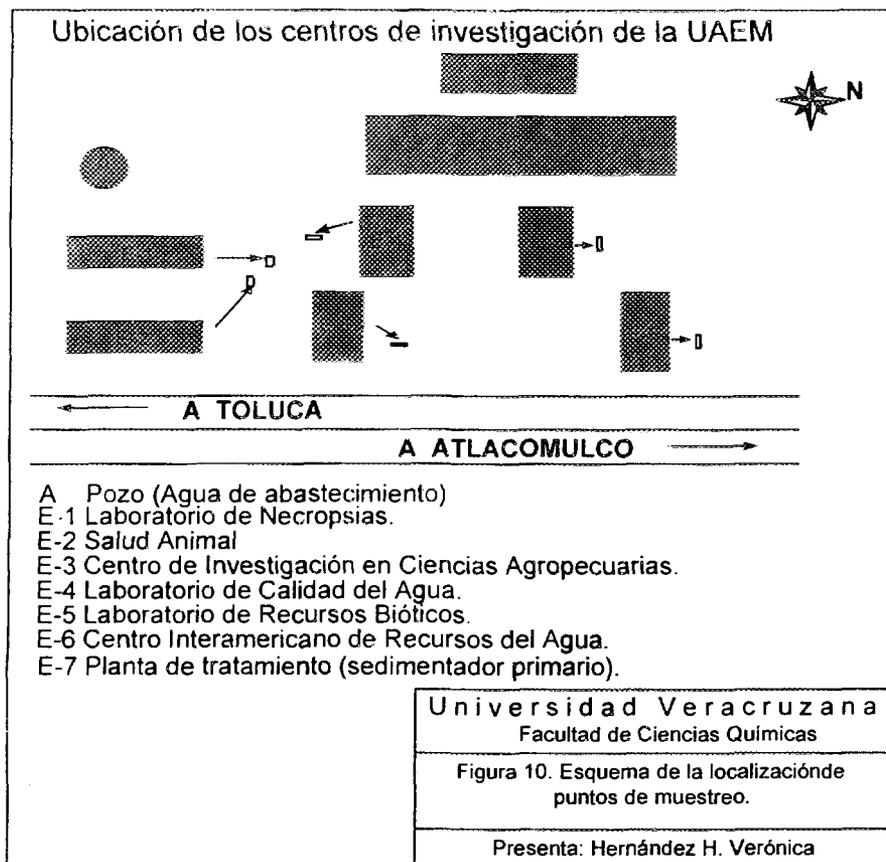


Figura 9. Diagrama del desarrollo del análisis por absorción atómica.

LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) dentro de sus instalaciones ubicadas en la Unidad San Cayetano, cuenta con una planta piloto de tratamiento de aguas residuales. En dicha Unidad se localizan 4 Centros de Investigación cuyos efluentes convergen en esta planta para su tratamiento.

La figura 10 muestra la distribución de dichos Centros de Investigación, así como los puntos de muestreo seleccionados.



TOMA DE MUESTRAS

Se colectó una muestra de 1L en cada uno de los seis puntos de muestreo, para su conservación se adicionaron 5 mL de HNO₃ concentrado a cada una y se mantuvo a una temperatura promedio de 6°C.

También se colectaron muestras en el sitio de muestreo E-7, que es donde convergen los puntos antes mencionados a excepción de los laboratorios de Salud Animal y Necropsias, los cuales no han sido incorporados a la descarga final. A estas últimas muestras, al igual que a las muestras colectadas para el punto de abastecimiento (A), se les realizó un análisis de los siguientes parámetros: acidez, alcalinidad, cloruros, color, conductividad, DBO, DQO, dureza, pH, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos totales, temperatura y turbidez, posteriormente al análisis también se le añadió HNO₃ concentrado.

Identificación de las muestras y registro.

Después de coleccionar cada muestra, fue necesario tomar las precauciones pertinentes para que en cualquier momento fuera posible identificarlas. Se colocaron etiquetas conteniendo la siguiente información⁽²⁵⁾:

- Número de registro.
- Fecha y hora de muestreo.
- Nombre de la persona que realiza el muestreo.
- Nombre del sitio de muestreo.

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA.

ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA.

ESTUDIO PRELIMINAR.

Con el fin de determinar los tiempos de irradiación, se prepararon soluciones entre 20 y 50 ppm de cobalto, cobre, cromo, níquel, hierro, antimonio y cinc, y se realizaron irradiaciones preliminares de 10 horas, 1 hora y 10 minutos, dependiendo de las características nucleares de cada uno, en el sistema SIFCA, y después de un tiempo de decaimiento adecuado se realizó la identificación de la energía de cada fotopico mediante el sistema de detección gamma.

Por otro lado para el caso de sodio, cloro, bromo y manganeso, se utilizó el tiempo de 1 minuto en el sistema SINCA de acuerdo a un trabajo realizado anteriormente.⁽²⁶⁾

PREPARACIÓN E IRRADIACIÓN DE MUESTRAS Y PATRONES.

Alicuotas de 1 mL de cada una de las muestras colectadas, se colocaron en cápsulas de polietileno (viales), y se sellaron con calor, se empaquetaron de manera individual en bolsitas de polietileno, se realizó el mismo procedimiento para las soluciones patrón de los elementos a determinar.

Dos muestras y un patrón se colocaron dentro de otra bolsa de polietileno también sellada con calor. Esta se introdujo en una cápsula de polietileno para su posterior irradiación. La manipulación se realizó con guantes para evitar

que los recipientes de irradiación quedarán impregnados de sustancias activables.

ESPECTROMETRÍA GAMMA.

Los cálculos de la espectrometría gamma se basan en la medición de las áreas bajo los picos. La ecuación que se utiliza para este propósito es la relación de Boyd, que permite determinar la masa del elemento de número atómico Z presente en la muestra, a partir de la detección selectiva del pico fotoeléctrico emitido por el radionúclido ${}^{A+1}_{Z}E$ formado por la reacción nuclear ${}^A_ZE(n,\gamma){}^{A+1}_ZE$.

ABSORCIÓN ATÓMICA

TRATAMIENTO QUÍMICO.

1. Se transfirió una alícuota representativa de la muestra bien mezclada (50 a 100 mL) a un vaso de precipitado, se agregó 5 mL de ácido nítrico concentrado y el vaso se cubrió con un vidrio de reloj. Se evaporó casi a sequedad en una parrilla de calentamiento asegurándose que no hirviera la solución.
2. Se enfrió el vaso de precipitados y se agregaron otros 5 mL de ácido nítrico concentrado. El vaso se volvió a cubrir y se calentó hasta que se logró un reflujo lento.
3. Se continuó calentando, cuando fue necesario se añadió ácido nítrico concentrado para lograr la digestión completa, lo cual se indicó por un residuo color claro.
4. Se agregaron 1 ó 2 mL de ácido nítrico concentrado y la solución se calentó ligeramente para disolver el residuo.
5. Las paredes del vaso y el vidrio de reloj se lavaron con agua desionizada.

6. La muestra se filtró para evitar que los silicatos y otros materiales insolubles obstruyeran el atomizador del equipo.
7. Se aforó al volumen inicial, y analizó.⁽²⁷⁾

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo mediante las técnicas utilizadas se describen a continuación:

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO.

Los valores obtenidos del análisis fisicoquímico del agua de abastecimiento son:

Características organolépticas		
Color	8	Pt/Co (HACH)
Características físicas		
Temperatura	10.3	°C
pH	6.8	pH
Conductividad	446	µS
Turbidez	2	FTU
Características Inorgánicas		
Alcalinidad	215	mg CaCO ₃ /L
Acidez	22.7	"
Dureza	150	"
Cloruros	1.76	mg Cl/L
Características Orgánicas		
DQO	0	mg DQO/L
DBO	0	mg DBO ₅ /L
Características Gravimétricas		
Sólidos Totales		
Totales	309	mg/L
Fijos	252	"
Volátiles	57	"
Sólidos Suspendidos		
Totales	0	"
Fijos	0	"
Volátiles	0	"
Sólidos Disueltos		
Totales	309	"
Fijos	252	"
Volátiles	57	"

Tabla 2. Resultados del análisis fisicoquímico de la muestra A.

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA

ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

De acuerdo a las condiciones preliminares obtenidas se eligieron tiempos de irradiación que se describen en la tabla 3 para los elementos de vida media larga y en la tabla 4 para los elementos de vida media corta.

Elemento	Sistema de irradiación	Tiempo de irradiación	Tiempo de decaimiento
Co	SIFCA	10 minutos	24 h
Ni	"	"	1 h
Cu	"	"	"
Zn	"	1 h	24 h
Sb	"	"	"
Cr	"	"	"
Fe	"	10 h	7 d

Tabla 3. Tiempos de irradiación para los elementos de semidesintegración media.

Elemento	Sistema de irradiación	Tiempo de irradiación	Tiempo de decaimiento
Na	SINCA	1 minuto	-
Cl	"	"	-
Br	"	"	-
Mn	"	"	-

Tabla 4. Tiempos de irradiación para los elementos de vida media corta.

La detección y medición de la radiactividad se realizó como se mencionó anteriormente utilizándose los tiempos de conteo que a continuación se describen:

Radionúclido	Energía (keV)	Tiempo de conteo (segundos)
²⁴ Na	1368	60-180
³⁸ Cl	1642	"
⁸² Br	554,619	"
⁸¹ Br	617	"
⁵⁶ Mn	847,1811	"
⁶⁴ Cu	1346	300
⁶⁵ Ni	366, 1482	"
⁶⁰ Co	1173, 1333	"
¹²² Sb	564, 693	"
¹²⁴ Sb	603, 723	"
⁵¹ Cr	320	"
⁶⁵ Zn	1115	600
^{69m} Zn	439	"
⁵⁹ Fe	1099, 1292	1200

Tabla 5. Condiciones de conteo utilizados en el análisis.

En las siguientes gráficas se presentan las concentraciones encontradas de los elementos en cada estación de muestreo, se grafican en escala semilogarítmica ya que la variación de los valores es muy grande.

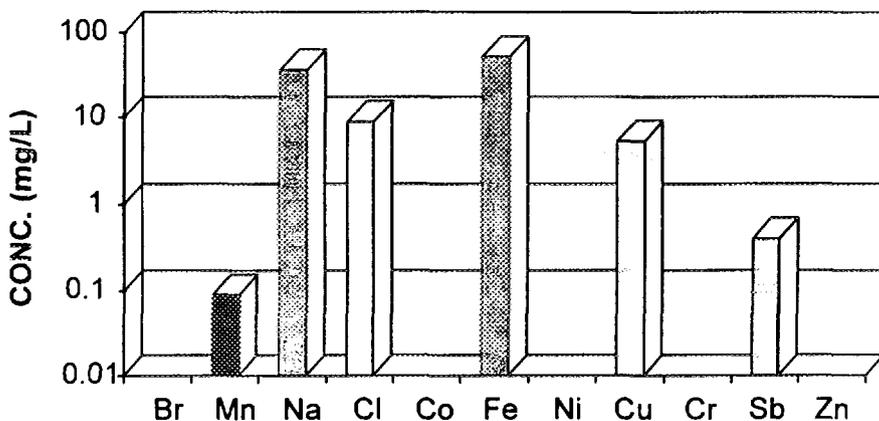


Figura 11.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-1 (Lab. de Necropsias).

En la figura 11 se muestra la gráfica correspondiente al laboratorio de Necropsias, se pueden ver cantidades considerables de los elementos hierro, sodio, cloro, cobre, así como menores concentraciones de antimonio y manganeso, de los cuales se encontraron menos de 1 mg/L. Con el conocimiento de las labores realizadas en dicho laboratorio, se deduce que es lógico encontrar estos elementos, debido a que en éste se realizan las necropsias de los animales, lo que produce grandes cantidades de sustancias orgánicas, entre ellas la hemoglobina de donde se infiere la procedencia del hierro, además para mantener las condiciones de asepsia del lugar, utilizan grandes cantidades de hipoclorito de sodio.

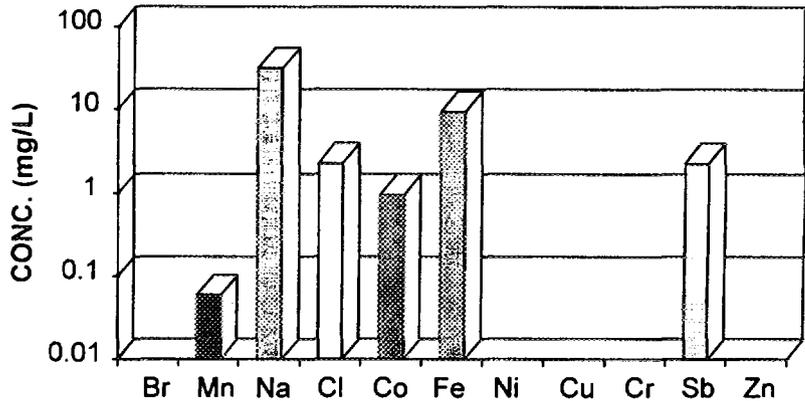


Figura 12.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-2 (Lab. de Salud Animal).

La figura 12 corresponde al laboratorio de Salud Animal, aquí se observa la presencia de los elementos sodio, hierro, cloro, antimonio, cobalto y manganeso, esto debido a que es un edificio del cual depende el laboratorio de necropsias y algunos experimentos o servicios se realizan en estos laboratorios.

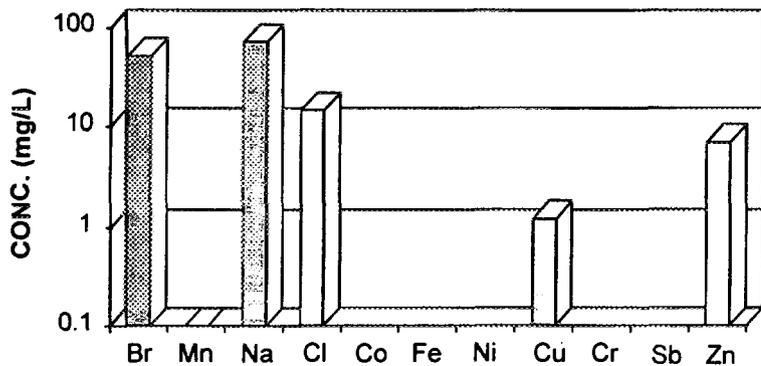


Figura 13.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-3 (CICA).

Con respecto a la figura 13, la cual indica los resultados del análisis realizado a las descargas del Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias (CICA), se observa que existen menos elementos, estos fueron bromo, sodio, cloro, cinc y cobre; esto debido a los materiales que utilizan dentro de sus rutinas de trabajo, principalmente fertilizantes.

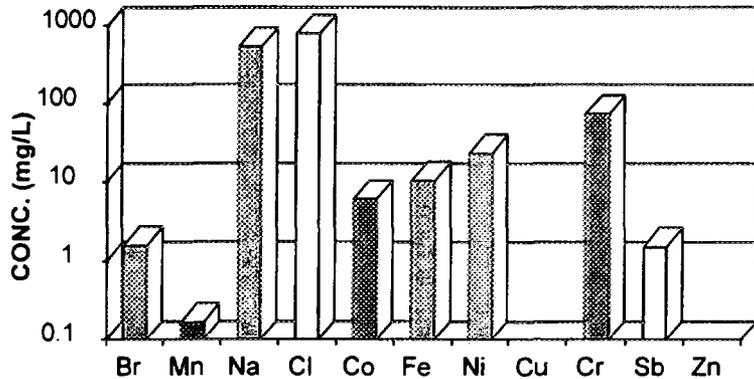


Figura 14.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-4 (Lab. de Química del Agua).

La figura 14, muestra las concentraciones correspondientes al laboratorio de Química del Agua, se aprecia la presencia de varios elementos, como: sodio, cloro, cromo, níquel, hierro, cobalto, antimonio, bromo y manganeso, observándose altas concentraciones de cloro y sodio. La presencia tan variada, puede deberse al manejo de múltiples reactivos químicos.

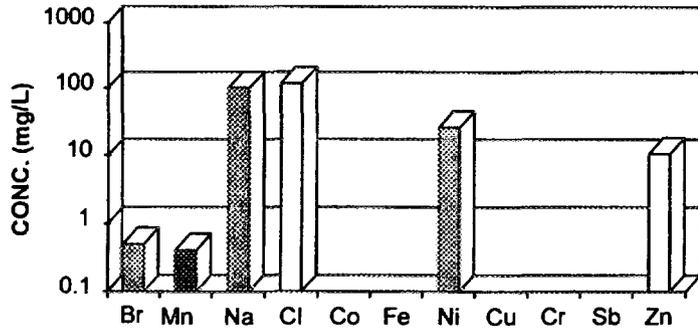


Figura 15.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-5 (Lab. de Recursos Bióticos).

La figura 15 muestra los valores pertenecientes al laboratorio de Recursos Bióticos, en donde se puede observar que sólo se obtuvieron sodio, cloro, níquel, cinc, bromo y manganeso, procedentes posiblemente de algunos reactivos químicos utilizados.

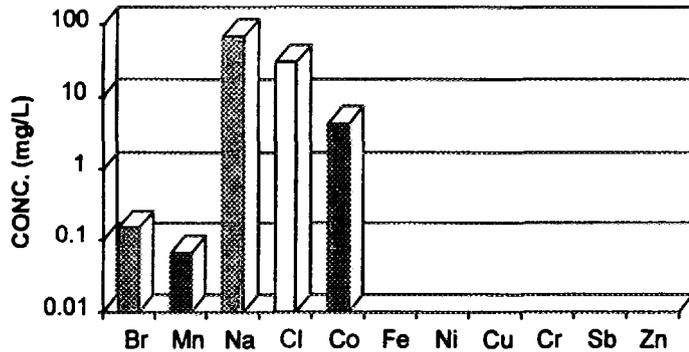


Figura 16.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-6 (CIRA).

La figura 16 muestra las concentraciones determinadas en las descargas del edificio correspondiente al Centro Interamericano de Recursos del Agua

(CIRA). se encontraron sodio, cloro, cobalto, bromo y manganeso, debido a que en este edificio sólo se encuentran aulas y oficinas, la presencia de Co, Br y Mn es debida probablemente al empleo de productos utilizados en la limpieza.

Los valores obtenidos del análisis fisicoquímico del punto donde convergen las aguas son:

Características organolépticas		
Color	113	Pt/Co (HACH)
Características físicas		
Temperatura	13.40	°C
pH	6.78	pH
Conductividad	650	µs
Turbidez	20	FTU
Características Inorgánicas		
Alcalinidad	269.50	mg CaCO ₃ /L
Acidez	52.20	"
Dureza	217	"
Cloruros	4.74	mg Cl/L
Características Orgánicas		
DQO	30.36	mg DQO/L
DBO	20.75	mg DBO ₅ /L
Características Gravimétricas		
Sólidos Suspendidos Totales	20	"
Fijos	0	"
Volátiles	20	"
Sólidos Disueltos Totales	484	"
Fijos	372	"
Volátiles	112	"
Sólidos Totales	504	mg/L
Fijos	372	"
Volátiles	132	"

Tabla 6. Resultados del análisis fisicoquímico del punto E-7.

Como se observa en los resultados antes mostrados la presencia de sólidos suspendidos fue mínima en comparación con los sólidos disueltos.

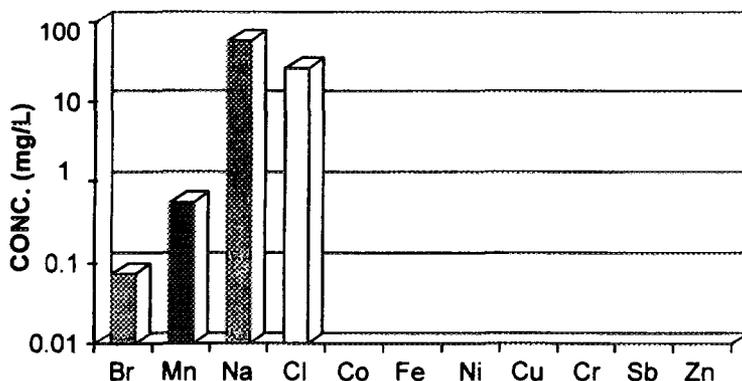


Figura 17.- Concentración de elementos en el sitio de muestreo E-7 (Sedimentador primario).

Finalmente la figura 17 muestra la concentración de los elementos encontrados en el punto E-7 donde convergen la mayoría de las aguas residuales. Aquí se realiza un tratamiento primario consistente de un cribado mediante una cámara de rejas, seguido de un sedimentador primario, posteriormente pasa al tratamiento secundario, el cual consiste de diversos procesos que en su totalidad son biológicos, por lo que se deseaba conocer la concentración de los elementos cloro y hierro principalmente.

Como se puede observar en esta figura, no se detectaron los metales pesados, esto puede ser por la sedimentación que se realiza, también las concentraciones disminuyeron.

ABSORCIÓN ATÓMICA

En los resultados obtenidos en el análisis por absorción atómica de Cd, Ag, Pb, As y Hg se tuvo lo siguiente:

Para el caso de los elementos Ag y Cd las concentraciones fueron menores a 0.1 $\mu\text{g/mL}$ para todas las muestras, esto es que pueden estar presentes en las muestras, sólo que en concentraciones tan bajas que la técnica no puede determinarlos por falta de sensibilidad.

Con respecto al cadmio, cabe mencionar que es uno de los elementos más tóxicos, y se acumula en los seres vivos permanentemente, por lo que ha ocasionado intoxicaciones masivas de seres humanos. Por lo general, las concentraciones de este elemento en el agua potable son menores a 5 $\mu\text{g/L}$ mientras que en el agua de mar, oscilan entre 0.04 y 0.03 $\mu\text{g/L}$.

Este elemento también se puede determinar mediante la técnica de Análisis por Activación Neutrónica, utilizando separación radioquímica, con el uso de una columna de resinas quelantes. Y en el caso de la técnica de Absorción Atómica, se puede preconcentrar mediante extracción con solventes Metil-isobutil cetona con 1,5 bis [1-(2-piridil)etilidina] tiocarbono hidrazida y 1,5 bis [fenil-2(-piridil)metileno] tiocarbonohidrazida.^(17,28,29)

Con respecto al Pb en el punto E-5 se determinaron 7.5 $\mu\text{g/mL}$, mientras que en el resto de los puntos las concentraciones fueron menores a 0.3 $\mu\text{g/mL}$. El As presentó 2 $\mu\text{g/mL}$ en el punto E-7, y en los demás puntos fueron menores a 2 $\mu\text{g/mL}$, por último la concentración encontrada de Hg en el punto E-2, fue de 4 $\mu\text{g/mL}$, en E-3 de 3 $\mu\text{g/mL}$, en E-5 de 9 $\mu\text{g/mL}$, en E-7 de 8 $\mu\text{g/mL}$ y el resto fueron menores a 2 $\mu\text{g/mL}$.

CONCLUSIONES

- * La calidad del agua de abastecimiento de los laboratorios del Centro de Investigaciones de la UAEM, se determinó mediante los análisis fisicoquímicos obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2, según estos resultados indican que los contaminantes encontrados posteriormente no provienen del agua de abastecimiento.
- * Las condiciones de irradiación para cada elemento, utilizando la técnica de Análisis por Activación Neutrónica se determinaron de acuerdo a las propiedades nucleares de dichos elementos. En el caso de tener materia suspendida, se sugiere filtrar la muestra e irradiar por separado ambas fases.
- * Se demostró la presencia del elemento Fe en los efluentes de algunos laboratorios, el cual en concentraciones altas representa un rápido crecimiento de los microorganismos (produciendo grandes volúmenes de lodos). En el afluente a la planta, no se encontró, debido a su precipitación en el sedimentador primario.
- * Los metales Cu, Co, Sb, Zn, Ni, Cr se encontraron en concentraciones menores a 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, pero estos elementos no afectan el tratamiento biológico.
- * En los efluentes de los laboratorios se determinaron cantidades considerables del elemento cloro , el cual afecta el proceso biológico (tratamiento secundario) de la planta de tratamiento. Pero en el afluente a la misma, las concentraciones disminuyeron.
- * De acuerdo a los resultados obtenidos de cloro (total) se pudo determinar una concentración de 12.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$, que esta dentro de los límites permisibles para que se pueda llevar a cabo el siguiente proceso sin ningún problema.
- * Debido a la sensibilidad del equipo de Absorción Atómica, la concentración de los elementos Ag, Cd, Pb se reportan menores a 1

$\mu\text{g/mL}$ siendo que en realidad fueron elementos que no estuvieron presentes en las muestras.

- * Mediante este análisis se pudieron conocer las características del agua a tratar por la planta, y así decidir si se requería hacer un tratamiento previo o no.
- * Con esta técnica se pudo realizar un análisis multielemental simultáneo de alta sensibilidad. Ésta sólo es aplicable para determinar elementos, no se puede saber la forma química del mismo en la muestra. Para poder realizar este tipo de análisis, se requiere de una fuente de neutrones y equipo especializado.

BIBLIOGRAFÍA

1. P.R. Danesi, "Técnicas nucleares para el desarrollo sostenible: los recursos hídricos y la vigilancia de la contaminación ambiental", *Boletín del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)*, vol. 1, pp. 7-13, 1993.
2. A. Travesí, **ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA. Teoría, práctica y aplicaciones**, Editorial Publicaciones Científicas de la Junta de Energía, 1981.
3. L. Luna, **COLECCIÓN CIENTÍFICA DE TIME-LIFE. El agua**, Ediciones culturales internacionales, 1983.
4. V.L. Snoeyink, D. Jenkinns, **QUÍMICA DEL AGUA**, Editorial Limusa, México, D.F., 1987.
5. F.N. Kemmer, J. McCallion, **MANUAL DEL AGUA. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones**, McGraw Hill, México, D.F., 1991.
6. R.O. Cañizares V., C. Casas C., **EL PAPEL DE LAS MICROALGAS EN EL TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES**, Cuadernos sobre biotecnología, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV-IPN, México, D.F., 1991.
7. R.S. Ramalho, **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, Editorial Reverté, Barcelona, España, 1993.
8. C.R. Ramírez, **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**, UAM-Azcapotzalco, México, D.F., 1992.
9. J. Gómez, **PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**, Tesis UAEM, Toluca, Edo. de Mex., 1994.
10. S. Bulbulian G., **LA RADIOACTIVIDAD. La ciencia desde México.**, Editorial Fondo de Cultura Económica, S.A., México, D.F., 1987.
11. M. Navarrete, L. Cabrera, **INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LOS RADIOISÓTOPOS**, Ediciones del Sector Eléctrico, México, D.F., 1979.

12. J. Rickards C., R. Cameros R., **LAS RADIACIONES II. El manejo de las radiaciones nucleares**, La ciencia desde México, Editorial Fondo de Cultura Económica, S.A., México, D.F., 1990.
13. J.L. Iturbe G., **FUNDAMENTOS DE RADIOQUÍMICA**, en prensa, México, D.F., 1997.
14. A. Ponce M., **EL REACTOR TRIGA MARK III DEL CENTRO NUCLEAR DE MÉXICO**, 5a. Serie divulgación, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, D.F., 1980.
15. **Manual de Seguridad Radiológica para becarios**, Departamento de capacitación y adiestramiento, *Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*, México, D.F., 1996.
16. T.M. Florence, G.E. Batley, "Trace metals species in sea-water I", *Talanta*, vol. 23, Pergamon Press, pp. 179-186, 1976.
17. M.J. Siles C., A. García T., J.M. Cano P., "Preconcentration of cadmium, cobalt, copper, nickel and zinc by solvent extraction into methyl isobutyl ketone with 1,5-Bis[1-(2-pyridyl)ethylidene]thiocarbonohydrazide and 1,5-Bis[Phenyl-(2-pyridyl) methylene]thiocarbonohydrazide", *Talanta*, vol.40, No.5, pp. 691-695, 1993.
18. K.H. Lieser, V. Neitzert, "Determination of trace elements in water by non-destructive neutron activation", *J. Radioanal. Chem.*, Vol. 31, pp. 397-405, 1976.
19. J.B. Luten, "The determination of some trace elements in rainwater by neutron activation analysis", *J. Radioanal. Chem.*, vol. 37, pp. 897-904, 1977.
20. B.E. López M., **DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS CONTAMINANTES EN AGUA DE LLUVIA Y FORMA QUÍMICA DEL VANADIO EN LA ATMÓSFERA**, Informe técnico Q.N. 83-07, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, D.F., 1983.

21. E.T. Romero, **RECUPERACIÓN DE URANIO EN ROCA FOSFÓRICA Y SUS DERIVADOS**, Tesis UAEM, Toluca, Edo. de Mex., 1992.
22. G.D. Chase, J.L. Rabinowitz, **PRINCIPLES OF RADIOISOTOPE METHODOLOGY**, Burgess Publishing Company, USA, 1967.
23. M. Jiménez R., "La medición de la radiación nuclear", *Ciencia y Desarrollo*, No. 28, pp. 67-72, 1978.
24. APHA, AWWA, WPCF, **MÉTODOS NORMALIZADOS para el análisis de aguas potables y residuales**, Ediciones Díaz de Santos, S.A., Madrid, España, 1992.
25. **MUESTREO Y ANÁLISIS DE AIRE, AGUA Y RESIDUOS PELIGROSOS**, Simposio conjunto entre México y Estados Unidos sobre análisis ambientales, Toluca, Mex., 1995.
26. J.L. Cortés D., J.L. Iturbe G., I. García S., **ANÁLISIS DE FILTROS ATMOSFÉRICOS DEL MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZCALLI**, Inf. TCB 003/97, ININ, 1997.
27. Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-51-1981, "Análisis de agua - determinación de metales- método espectrofotométrico de absorción atómica", *Dirección General de Normas*.
28. Lilia A. Albert, **CURSO BÁSICO DE TOXICOLOGÍA AMBIENTAL**, Editorial LIMUSA, México, D.F., pp. 145-168, 1988.
29. Chul Lee, Nak Bae Kim, Ihn Chong Lee, Koo Soon Chung, "The use of chelating resin column for preconcentration of trace elements from sea-water in their determination by neutron activation analysis", *Talanta*, vol. 24, Pergamon Press, pp. 241-245, 1977.