

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**Universidad de El Salvador**  
*Hacia la libertad por la cultura*

**PROPUESTA DE UN METODO ANALITICO PARA LA REMOCION DE  
PLATA EN RESIDUOS LIQUIDOS FOTOGRAFICOS**

**Trabajo de graduación presentado por:**

**FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA**

**RAFAEL AHMED CARRILLO GOMEZ**

**EVA CRISTINA MONGE ALVARENGA**

**Para optar al grado de:**

**LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA**

**Mayo 2005**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

## **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

### **Rectora**

Dra. María Isabel Rodríguez

### **Secretaria general**

Lic. Margarita Rivas de Recinos

## **FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

### **Decano**

Lic. Salvador Castillo Arévalo

### **Secretaria**

MSc. Miriam del Carmen Ramos de Aguilar

## **COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION**

### **Coordinadora General**

Lic. María Concepción Odette Rauda Acevedo

### **Asesora de Area Control de Calidad de Productos Farmacéuticos, Cosméticos y Veterinarios**

MSc. Rocío Ruano de Sandoval

### **Asesora de Area Gestión Ambiental, Toxicología y Química Legal**

Lic. María Luisa Ortiz de López

### **Docentes Directoras**

Lic. María Elsa Romero de Zelaya

Lic. Aminta Vásquez de Bolaños

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso por permitirnos terminar con éxito estos años de carrera y darnos fuerza en los momentos en que todo parecía tan lejano y difícil.

A nuestros Padres, Madres y familia en general que con su amor y sus mejores deseos, nos dieron las fuerzas necesarias para enfrentar el día a día sin perder la esperanza en el futuro; además de ser una razón más para superarnos no solo como profesionales sino como personas en esta vida.

A los Amigos y Amigas en general, por permitirnos compartir buenos y malos momentos; por ser fuente de apoyo dentro de la Universidad y fuera de ella, y en especial por brindarnos su amistad y aceptarnos como somos.

Al personal Docente comprometido con el espíritu mismo de la Universidad de El Salvador a quienes debemos gran parte de nuestra formación, no solo como profesionales sino también como personas, ya que los buenos maestros son los que forman mejores alumnos.

A todas las personas e Instituciones que de forma directa o indirecta ayudaron a nuestra formación académica; en especial al personal de laboratorio de la Facultad por toda la ayuda dada durante tantos años de estudio, esperando poder devolver algún día, al menos una parte de la ayuda recibida.

## DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso: Por enseñarnos que con dedicación todas las metas pueden alcanzarse.

A nuestras familias: Por cifrar sus esperanzas y sueños en nosotros.

A nuestros amigos: Por apoyarnos cuando más los necesitábamos.

A los docentes en general: Por su apoyo y dedicación brindada durante todos estos años para que pudiéramos salir adelante.

Freddy Alexander Carranza Estrada

Rafael Ahmed Carrillo Gómez

Eva Cristina Monge Alvarenga

## INDICE

	Pág.
<b>Resumen</b>	
<b>Capítulo I</b>	
1.0 Introducción	xv
<b>Capítulo II</b>	
2.0 Objetivos	
<b>Capítulo III</b>	
3.0 Marco Teórico	21
3.1 Aspectos Generales de la Plata	21
3.1.1 Características Generales	21
3.1.2 Propiedades Fisicoquímicas	21
3.1.3 Aplicaciones y usos de la Plata	24
3.2 Haluros de Plata	25
3.2.1 Cloruro de Plata	25
3.2.2 Bromuro de Plata	25
3.2.3 Yoduro de Plata	26
3.2.4 Utilización de los Haluros de Plata en la Industria	
Fotográfica	26
3.2.4.1 Baño revelador	29

3.3 Aspectos Toxicológicos de la Plata	31
--	----

## **Capítulo IV**

4.0 Diseño Metodológico	36
4.1 Investigación Bibliográfica	36
4.2 Investigación de Campo	36
4.3 Parte Experimental	37
4.3.1 Cuantificación inicial de la Plata por absorción atómica	37
4.3.2 Remoción de Plata por electrodeposición	37
4.3.2.1 Procedimiento para la electrodeposición	38
4.3.3 Cuantificación final de la Plata por absorción atómica	39

## **Capítulo V**

5.0 Resultados	41
5.1 Cuantificación inicial de Plata	41
5.2 Electrodeposición	42
5.2.1 Preparación de los electrodos	42
5.2.2 Remoción de Plata	42
5.3 Cuantificación final de Plata	44

## **Capítulo VI**

6.0 Guia para la Remoción de Plata en Residuos Líquidos Fotográficos	50
--	----

## **Capitulo VII**

7.0 Discusión de Resultados	59
-----------------------------	----

## **Capítulo VIII**

8.0 Conclusiones	64
------------------	----

## **Capítulo IX**

9.0 Recomendaciones	67
---------------------	----

Bibliografía

Glosario

Anexos

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo

1. Calibración del equipo de Absorción Atómica
2. Figura 1. Esquema del aparato de Remoción de Plata por Electrodeposición
3. Figura 2. Reacciones involucradas en el proceso de Remoción
4. Figura 3. Esquema del equipo modificador de voltaje
5. Cálculos aplicando el método Estadístico de Distribución t
6. Valores críticos de la Distribución t
7. Fundamentos de métodos analíticos
8. Certificados de análisis, realizados a las muestras antes y después del proceso de Remoción por Electrodeposición
9. Esquema del régimen de evacuación y toma de muestras

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	página
1. Concentración de Plata inicial en muestras	41
2. Registro de lecturas de voltaje	43
3. Concentración de Plata final en muestras	44
4. Cuadro comparativo de Concentración de Plata	44
5. Plata removida en las muestras y su porcentaje	45
6. Cuadro de Plata residual	46

## **ABREVIATURAS**

EPA: Agencia de Protección Ambiental

OSHA: Administración de Salud y Seguridad Ocupacional.

NIOSH: Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud.

ACGIH: Conferencia Americana de Sanitarios Industriales de Gobierno.

NaKATPasa: Sodio-Potasio Adenosintrifosfatasa.

CL50: Concentración Letal 50

BCF: Factores de Bioconcentración.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.

UNSSA: Universidad Nueva San Salvador.

UCA: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

USAM: Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.

UES: Universidad de El Salvador.

mL: Mililitros

L: Litros

KB: Kilobatios

v: Voltios

DCV: Voltaje de corriente directa

ppm: Partes por millón

N: Normal

## RESUMEN

La presente investigación se realizó como un apoyo a la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, con un método para la remoción de Plata en los residuos líquidos fotográficos obtenidos en la sección fotográfica de dicha institución; con el fin de minimizar el impacto ambiental que producen estos residuos al ecosistema.

La primera parte se basó en la recopilación de datos; posteriormente se procedió a la toma de 10 muestras representativas, al volumen descargado en el período de un mes, siendo cuantificadas las muestras inicialmente por el método espectrofotométrico para lo cual se utilizó un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 2380 con llama de acetileno-aire; llevándose a cabo en los Laboratorios Industriales S.A de C.V (ESPINSA). Luego de la cuantificación inicial se procedió a la remoción de Plata por electrodeposición utilizando un cátodo de Cobre y un ánodo de Hierro, en donde se hizo pasar una corriente eléctrica con un potencial de 0.8 v durante un período de 4 horas, posteriormente las muestras fueron cuantificadas por el método de absorción atómica, obteniéndose las concentraciones finales de las muestras. Una vez obtenidos los datos, se procedió a la comparación de estos, con el decreto No. 883 de Venezuela para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

Además se elaboró una guía práctica necesaria para la remoción de Plata en los residuos líquidos fotográficos en donde se especifica el equipo y material usado, así como también la metodología utilizada.

De acuerdo a la Distribución t Student para observaciones pareadas, el método propuesto tiene un 90 % de confianza ya que la hipótesis nula que propone que no hay una diferencia significativa en los resultados obtenidos, es rechazada.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El impacto de la descarga de plata en agua es aún objeto de estudio. En la actualidad los efectos ambientales de las variadas formas de la plata no están entendidos en su totalidad. No es claro como actúa la plata en el medio ambiente y en los sistemas de alcantarillado, que tan tóxicas son las diferentes formas de plata, como éstas afectan a los organismos biológicos, e incluso, como realizar los estudios analíticos (9).

En el país no existen estudios sobre la plata, ya que se consultaron los diferentes centros de documentación de las Universidades como: Universidad Nueva San Salvador, Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer, Universidad de El Salvador, Universidad José Matías Delgado; no encontrándose estudios previos similares.

En la actualidad el Laboratorio de La División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, cuenta con un departamento de fotografía, el cual produce una cantidad considerable de residuos líquidos fotográficos, estos se encuentran almacenados en bidones plásticos a la intemperie, expuestos a las diferentes condiciones climáticas como: lluvia, sol y calor ya que no pueden ser desechados por la plata que estos contienen. La plata es una sustancia química que existe naturalmente en el ambiente; en niveles muy altos puede producir argiria, que es un decoloramiento azul grisáceo de la piel y otros órganos; puede ser liberada en el agua en los procesos de fotografía, concentrándose de manera significativa en animales acuáticos (14). Debido a esto el Ministerio del

Medio Ambiente prohíbe que se desechen estos residuos, por lo que se pretende proponer un método analítico para la remoción de plata de los residuos líquidos fotográficos. Para esto se hizo una cuantificación de la plata antes y después del proceso de remoción por el método instrumental de absorción atómica, en donde la muestra se disocia de sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y en su estado mínimo de energía, es decir la muestra se descompone en sus átomos o iones gaseosos, en cuyas condiciones es capaz de absorber radiaciones emitidas en líneas discretas de ancho de banda angosta, las mismas líneas que serán emitidas por el elemento al excitarse <sup>(16)</sup>.

La remoción se hizo por el método de electrodeposición, que consiste en aplicar corriente directa entre dos electrodos inmersos en una solución que contiene plata. Durante el proceso un electrón es transferido desde el cátodo hacia el ión plata cargado positivamente, y simultáneamente en el ánodo, un electrón es transferido desde alguno de los productos en la solución <sup>(3)</sup> quedando la Plata depositada en el cátodo.

Las muestras fueron obtenidas en el departamento de fotografía del Laboratorio de La División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, por medio de un muestreo puntual el cual consiste en una toma de muestra que refleja las características instantáneas del líquido muestra en el momento del muestreo; y tratadas en la Facultad de Química y Farmacia durante el período de Julio a Septiembre de 2004.

La ley de residuos peligrosos plantea que los residuos deben controlarse, no sólo por sus componentes, sino por sus posibles cualidades peligrosas. Podría decirse que los elementos presentes a excepción de la plata carecen de peligrosidad, por lo tanto, si a los residuos fotográficos se les remueve la Plata, el líquido residual no tendría componentes cuya capacidad contaminante sea tan importante como para no vertirlos, siendo esta la razón primordial de la presente investigación con la que se pretende minimizar los niveles de plata de los residuos líquidos fotográficos tomando en cuenta sus características químicas como metal pesado, ya que la Plata al ser vertida al medio ambiente puede traer graves consecuencias a los mantos acuíferos, plantas y animales nativos del área, repercutiendo de una forma impredecible, en la vida de nuestro ya deteriorado ecosistema.

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL:

Proponer un método analítico para la remoción de plata en residuos líquidos fotográficos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

2.2.1 Cuantificar el nivel de plata, en el líquido de revelado fotográfico, antes del proceso de remoción.

2.2.2 Remover la plata, de los líquidos de revelado fotográfico, por electrodeposición.

2.2.3 Cuantificar el nivel de plata, en el líquido de revelado fotográfico, después del proceso de remoción.

2.2.4 Comparar los niveles de plata, antes y después del proceso de remoción.

2.2.5 Comparar los niveles de plata obtenidos, con los límites permisibles en el Decreto No. 883 de Venezuela, para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

2.2.6 Dar a conocer al Laboratorio de La División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil y demás instituciones pertinentes, una guía necesaria para la remoción de plata de residuos líquidos fotográficos.

**CAPITULO III**  
**MARCO TEORICO**

### **3.0 MARCO TEORICO**

#### **3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA PLATA**

##### **3.1.1 CARACTERISTICAS GENERALES**

La plata es un elemento metálico blanco brillante que conduce el calor y la electricidad mejor que ningún otro metal. La plata es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su número atómico es 47.

La plata se conoce y se ha valorado desde la antigüedad como metal ornamental y de acuñación. Probablemente las minas de plata en Asia Menor empezaron a ser explotadas antes del 2500 A.C. los alquimistas la llamaban el metal Luna o Diana, por la diosa de la Luna, y le atribuyeron el símbolo de la luna creciente.

##### **3.1.2 PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA PLATA**

Exceptuando el oro, la plata es el metal más maleable y dúctil. Su dureza varía entre 2.5 y 2.7; es más dura que el oro, pero más blanda que el cobre. Tiene un punto de fusión de 962 °C, un punto de ebullición de 2.212 °C, y una densidad relativa de 10.5. Su masa atómica es 107.868 (8), esta en el grupo I de la tabla periódica y el subgrupo B que tiene el cobre y el oro. Su número de valencia es 1+, los dos isótopos naturales son 107 (51.35%) y 109 (48.65%).

La plata se encuentra en la serie electroquímica debajo del cobre y solamente los metales platino y oro están debajo de la plata. Su actividad química, esta por

consiguiente entre la del cobre y el oro. Su elevado potencial positivo en soluciones electrolíticas es de 0.80 v (cobre +0.34v; oro +1.36 v) <sup>(12)</sup>.

Químicamente, la plata no es muy activa. Es insoluble en ácidos y álcalis diluidos, pero se disuelve en ácido nítrico o sulfúrico concentrado, y no reacciona con oxígeno o agua a temperaturas ordinarias. El azufre y los sulfuros atacan la plata, y el deslustre o pérdida de brillo se produce por la formación de sulfuro de plata negro sobre la superficie del metal. Los huevos, que contienen una considerable cantidad de azufre como componente de sus proteínas, deslustran la plata rápidamente. Las pequeñas cantidades de sulfuro que existen naturalmente en la atmósfera o que se añaden al gas natural doméstico en forma de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), también deslustran la plata. El sulfuro de plata ( $Ag_2S$ ) es una de las sales más insolubles en disolución acuosa, propiedad que se utiliza para separar los iones de plata de otros iones positivos.

La plata ocupa el lugar 66 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No existe apenas en estado puro; los sedimentos más notables de plata pura están en México, Perú y Noruega, donde las minas han sido explotadas durante años. La plata pura también se encuentra asociada con el oro puro en una aleación conocida como oro argentífero, y al procesar el oro se recuperan considerables cantidades de plata.

La plata está normalmente asociada con otros elementos (siendo el azufre el más predominante) en minerales y menas. Algunos de los minerales de plata

más importantes son la cerargirita ( o plata córnea), la pirargirita, la silvanito y la argentita. La plata también se encuentra como componente en las menas de plomo, cobre y zinc, y la mitad de la producción mundial de plata se obtiene como subproducto al procesar dichas menas. Prácticamente toda la plata producida en Europa se obtiene como subproducto de la mena del sulfuro de plomo, la galena. La mayoría de la plata extraída en el mundo procede de México, Perú, Canadá, Estados Unidos y Australia. En 1993, se produjeron en todo el mundo cerca de 13,000 toneladas.

Normalmente, la plata se extrae de las menas de plata calcinando la mena en un horno para convertir los sulfuros en sulfatos y luego precipitar químicamente la plata metálica. Hay varios procesos metalúrgicos para extraer la plata de la menas de otros metales. En el proceso de amalgamación, se añade mercurio líquido a la mena triturada, y se forma una amalgama de plata. Después de extraer la amalgama de la mena, se elimina el mercurio por destilación y queda la plata metálica. En los métodos de lixiviación, se disuelve la plata en una disolución de una sal (normalmente cianuro de sodio) y después se precipita la plata poniendo la disolución en contacto con cinc o aluminio. Para el proceso Parkes, que se usa extensamente para separar la plata del cobre. La plata impura obtenida en los procesos metalúrgicos se refina por métodos electrolíticos o por copelación, un proceso que elimina las impurezas por evaporación o absorción.

La plata puede ser liberada al aire y al agua a través de procesos naturales tales como la erosión de rocas, actividades humanas, procesamiento de minerales, manufactura de cemento, y la quema de combustible fósil. Puede ser liberada al agua de procesos de fotografía, la lluvia puede arrastrar a la plata del suelo hacia el agua subterránea (9).

### **3.1.3 APLICACIONES Y USOS DE LA PLATA**

El uso de la plata en joyería, servicios de mesa y acuñación de monedas es muy conocido. Normalmente se alea el metal con pequeñas cantidades de otros metales para hacerlo más duro y resistente.

La plata fina para las cuberterías y otros objetos de plata contiene un 92.5 % de plata y un 7.5 % de cobre. La plata se usa para recubrir las superficies de vidrio de los espejos, por medio de la vaporización del metal o la precipitación de una disolución. Sin embargo, el aluminio ha sustituido prácticamente a la plata en esta aplicación. La plata también se utiliza con frecuencia en los sistemas de circuitos eléctricos y electrónicos. La plata coloidal, que es una disolución diluida de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) y de algunos compuestos insolubles, como el potasio, se usa en medicina como antiséptico y bactericida. El argirol, un compuesto de plata, es un antiséptico local para ojos, oídos, nariz y garganta.

Los haluros de plata (bromuro de plata, cloruro de plata y yoduros de plata) que se oscurecen al exponerlos a la luz, se utilizan en emulsiones para placas, película y papel fotográficos. Estas sales son solubles en tiosulfato de sodio, que es el compuesto utilizado en el proceso de fijación fotográfica (9).

La mayoría de las sales de plata, básicamente los halogenuros (fluor, cloro, bromo y yodo), son sensibles a la luz. El oscurecimiento del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) es conocido desde hace mucho tiempo; su descomposición tiene lugar en presencia de trazas de humedad y se acelera notablemente por adición de materias orgánicas. Se forma además plata metálica. Sin embargo, el nitrato de plata no presenta un interés considerable debido a que los cloruros y los bromuros son mucho más sensibles y en la práctica son mucho más utilizados. El yoduro de plata, por el contrario, es muy poco sensible y el fluoruro no es sensible a la luz.

## **3.2 HALUROS DE PLATA**

### **3.2.1 Cloruro de plata, $\text{AgCl}$**

Su peso molecular 143.34, es un precipitado blanco caseoso obtenido por adición del ion cloruro a una solución de nitrato de plata. Su solubilidad en el agua es muy pequeña; aproximadamente una parte en 500,000 a 25 °C, por formación de iones complejos, es soluble en las soluciones de amoníaco, tiosulfato de sodio y cianuros alcalinos, y en menor grado el ácido clorhídrico y en soluciones saturadas de cloruros. Alrededor de 450 °C, se funde y da un líquido amarillo. Por enfriamiento, este líquido forma un sólido traslucido incoloro que puede ser laminado en hojas delgadas en condiciones cuidadosamente reguladas. Además de su uso en fotografía, el cloruro de plata se emplea en ciertas pilas eléctricas.

### **3.2.2 Bromuro de plata, AgBr**

Su peso molecular 187.80, se obtiene como precipitado caseoso blanco o blanco amarillento por adición del ion bromuro a una solución de nitrato de plata. Su solubilidad es menor que la del cloruro de plata; a 25 °C se disuelve una parte en 10,000,000 de partes de agua, aproximadamente. Es soluble en soluciones de amoníaco, tiosulfato, cianuros alcalinos, bromuros y ácido clorhídrico. Se funde a 425 °C y da un líquido rojizo que por enfriamiento forma un sólido amarillo traslúcido.

### **3.2.3 Yoduro de plata, AgI**

Su peso molecular 234.80, se forma como precipitado arrequesonado amarillento al mezclar una solución de nitrato argéntico con una de un yoduro. A 25 °C una parte de AgI requiere de 30,000,000 de partes de agua para disolverse. Es soluble en cianuros y yoduros alcalinos y en el ácido yodhídrico; menos soluble en cloruros, bromuros, y tiosulfatos alcalinos. Se funde a 550 °C y forma un líquido rojo que se solidifica en masa traslucida amarilla.

Además de su aplicación en fotografía, se ha empleado en años recientes para esparcirlo en las nubes como cebo para provocar la lluvia <sup>(12)</sup>.

## **3.2.4 UTILIZACION DE LOS HALUROS DE PLATA EN LA INDUSTRIA**

### **FOTOGRAFICA**

La fotoquímica es el estudio de las transformaciones químicas provocadas por la luz. El fenómeno fotoquímico precisa dos fases principales:

1- Recepción de la energía luminosa.

2- Reacción química propiamente dicha <sup>(6)</sup>.

Desde hace más de 150 años la fotografía y el cine depende de la plata para formar una imagen. Las imágenes en blanco y negro están formadas por plata metálica.

La plata metálica se oxida en contacto con el vapor de agua y es susceptible de iniciar un proceso de oxidación constante. Esto quiere decir que, de la molécula de plata metálica que está formando la densidad en la imagen, la cadena de metal puede fragmentarse en plata iónica, estas partículas se desprenden de la cadena, dejan su lugar y de manera azarosa suben hacia la superficie del aglutinante. En ese camino pueden sufrir cambios. Los más predecibles son las combinaciones de estos iones plata con compuestos de azufre que se encuentran en el vapor de agua y producto de contaminantes externos macro y microambientales. Este proceso se puede generalizar y la fuente de plata ser la cadena metálica que forma la densidad de la imagen, es decir, la información que radica en los tonos grises, altas luces y sombras.

La fotografía a color utiliza haluros de plata para orientar el proceso cromogénico de formación de color por acoplamiento de tintes orgánicos. Pero una vez que se acoplan los tintes cromogénicos ( y se forma el color) entonces la plata se elimina de la gelatina y deja como elemento final la formación de la imagen a los tintes orgánicos que son susceptibles de ser disueltos con vapor de agua <sup>(1)</sup>.

La emulsión fotográfica consta de cristales de compuestos sensibles a la luz distribuidos uniformemente en un medio con el que puede formarse una capa homogénea sobre un material de base adecuado. En todas las emulsiones convencionales los cristales sensibles a la luz son haluros de plata, es decir, compuestos de plata con bromuro, cloro y/o yodo. Las emulsiones de haluro de plata son intrínsecamente sensibles a la radiación ultravioleta y a ciertas longitudes de onda de la luz azul. Por adición de colorantes sensibilizadores espectrales pueden hacerse sensibles a otros colores de la luz, así como a la radiación infrarroja próxima. La gelatina es el medio utilizado universalmente para mantener los cristales en suspensión (19).

La gelatina es un vehículo transparente, capaz de adherir los microcristales de haluro de plata (y la plata de la imagen final) a soportes tales como vidrio, papel o película plástica. Esta se adhiere con suficiente fuerza a la superficie de los cristales de plata. De manera que sostiene los microcristales de plata en suspensión coloidal y previene la formación de conglomerados.

La gelatina es uno de los factores que determinan el tamaño y la forma de los cristales de plata, promueve el crecimiento lento de los cristales de haluro de plata, por lo que éstos tienden a ser planos; con una mayor superficie para reaccionar. Sin el coloide de gelatina, los cristales crecen rápidamente adoptando formas globulares o esféricas (menos sensibles).

La gelatina es un sensibilizador químico para los cristales de haluro de plata y un receptor para el cloruro o bromuro liberados durante la exposición a la luz, por lo tanto mantiene a la imagen latente evitando la reformación de haluros de plata. Además la capa de gelatina forma una barrera excelente contra el oxígeno y otros gases del medio ambiente.

La gelatina influye en el proceso de revelado retardando la actividad del revelador. Posiblemente por su absorción en la superficie del cristal de haluro de plata o por su reacción con los iones de plata del cristal. En presencia de la gelatina la plata resultante es de forma filamentaria, y tiene un mayor poder para absorber la luz. Es por ello que produce imágenes de tonos neutros <sup>(18)</sup>.

#### **3.2.4.1 BAÑO REVELADOR**

El baño revelador de la imagen fotográfica, es una solución de sustancias reveladoras que presentan un potencial de óxido-reducción inferior a 0.120 voltios.

El revelador se muestra tanto más enérgico cuanto menor sea el potencial. Prácticamente el baño de revelado presenta la siguiente composición:

1- Un reductor generalmente orgánico, que es el constituyente esencial del baño. Su misión es transformar los iones  $\text{Ag}^+$  de los cristales de bromuro de plata, en metal, por cesión de electrones.

El número de sustancias reductoras, o reveladores es elevada. Las más utilizadas son: hidroquinona, sulfatoparametilaminofenol, parafenilenodiamina. Se utilizan igualmente el paraaminofenol, el diaminofenol, la glicina, el pirogalol, etc. La concentración del reductor es del orden de 5 gramos por litro.

2- Una sustancia alcalina, en cantidad generalmente elevada, cuya función es mantener el potencial de reducción a un valor suficientemente bajo, por medio de un pH elevado.

Generalmente se utiliza el carbonato de sodio o el de potasio; más raramente el hidróxido de sodio, porque el reductor contiene una fusión ácida.

3- El sulfito de Sodio, que es una sal de ácido sulfuroso. Sus soluciones diluidas (con menos de un 20%) se oxidan con bastante rapidez.

El sulfito, por ser conservante antioxidante del baño regulador del revelado es un constituyente esencial.

4- Un retardador antivelo: los reductores descomponen siempre una pequeña proporción de bromuro de plata no iluminado, lo que hace conveniente añadir al revelador cierta cantidad de un retardador del revelado, lo que evita el velado químico.

5- Disolvente para el bromuro de plata: en presencia de un disolvente del bromuro de plata, el revelador tan solo actúa sobre la superficie de los granos.

Todos los disolventes producen una marcada reducción de la granulación de la imagen así como un cambio en la coloración de las partículas de plata (5).

### 3.3 ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DE LA PLATA

La exposición a altos niveles de plata por un período largo puede producir una condición llamada argiria, que es un descoloramiento azul-grisáceo de la piel y otros tejidos. Las exposiciones a niveles de plata menores también pueden producir depósitos de plata en la piel y en otras partes del cuerpo; sin embargo, este tipo de exposición no parece ser perjudicial. La argiria es una condición permanente, aunque parece ser más bien un problema cosmético que no daña a la salud.

La exposición a niveles altos de plata en el aire ha producido problemas respiratorios, irritación de la garganta y el pulmón y dolores de estómago. En cierta gente, contacto de la piel con la plata puede causar reacciones alérgicas leves, tales como salpullido, hinchazón e inflamación.

Estudios en animales han demostrado que tragar plata produce depósitos de plata en la piel. Un estudio en ratones demostró que los animales expuestos a la plata en el agua de beber eran menos activos que los animales que no fueron expuestos.

Existen escasos estudios disponibles acerca de efectos de la plata sobre la reproducción o el desarrollo en seres humanos <sup>(9)</sup>.

La EPA recomienda que la concentración de la plata en el agua potable no exceda 0.10 miligramos por litro de agua (0.10 mg/L) para evitar el descoloramiento de la piel que puede ocurrir.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) limita la cantidad de plata en el aire del trabajo a 0.01 miligramos por metro cúbico de aire (0.01 mg/m<sup>3</sup>) durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

El Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (NIOSH) también recomienda que el aire del trabajo no contenga más de 0.01 mg/m<sup>3</sup> de plata.

La Conferencia Americana de Sanitarios Industriales de Gobierno (ACGIH) recomienda que el aire del trabajo contenga no más de 0.1 mg/m<sup>3</sup> de plata metálica y 0.01 mg/m<sup>3</sup> de compuestos de plata solubles (12).

Desde el punto de vista ecotoxicológico existe gran cantidad de información que sugiere que la responsable de la toxicidad de la plata es asignable a su forma iónica monovalente (Ag<sup>+</sup>). En los peces de agua dulce, la toxicidad de dicha forma iónica parece estar asociada a su unión con sitios específicos en las branquias, generando una reducción en la incorporación de iones sodio y cloruro mediante la inhibición de la actividad de la enzima sodio-potasio-adenosintrifosfatasa (NaKATPasa), causando una pérdida neta de iones del plasma sanguíneo, fallas circulatorias por el colapso de la regulación del volumen de fluido y, finalmente, la muerte del pez.

Existe una importante cantidad de datos acerca de los efectos agudos que ejerce la plata sobre los animales acuáticos. De acuerdo a los valores

registrados para invertebrados, cierta especie de rotífero del género *Philodina* sp. es el organismo más resistente; para el mismo se han reportado concentraciones letales para el 50% de los individuos expuestos (CL50) que llegan hasta 15,7 mg/l con una media geométrica para el género igual a 3,76 mg/l. Como contraparte, las especies de invertebrados que presentan mayor sensibilidad a la plata son crustáceos de las especies *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia dubia*, observándose para ellas CL50 iguales a 0,39 µg/l y 0,8 µg/l, respectivamente con medias geométricas para los géneros *Daphnia* y *Ceriodaphnia* iguales a 4,94 µg/l y 0,83 µg/l, respectivamente.

En lo referente a vertebrados, la especie más sensible a la plata es la carpa (*Cyprinus carpio*), para la que se observa una CL50 igual a 2,7 µg/l con una media geométrica para el género igual a 3,40 µg/l, mientras que la especie más resistente en promedio es *Gambusia affinis*, que presenta una CL50 media igual a 23,5 µg/l. Sin embargo, es importante aclarar que ciertos datos individuales para otras especies superan ampliamente este último valor, ya que se han reportado CL50 igual a 106 µg/l para *Pimephales promelas*.

En lo que hace al efecto de la plata sobre las plantas acuáticas y las algas, existe muy poca información al respecto.

Con respecto a la bioconcentración y biomagnificación, se han reportado para la plata factores de bioconcentración (BCF) elevados solamente para algas y bacterias. Para las algas, el mayor valor reportado de BCF es igual a  $25 \times 10^5$ , referido a masa húmeda. Sin embargo, se ha sugerido que dicha acumulación

se debe a la adsorción en la superficie de la célula más que a una incorporación activa al interior de la misma. La plata adsorbida en las paredes de las células no ha podido ser removida por métodos mecánicos, por bajos valores de pH, ni por degradación enzimática; por lo tanto es poco probable que ocurra biomagnificación en comedores de algas dado que la plata ingerida no sería adsorbida y sería excretada directamente. En los animales acuáticos, tanto invertebrados como vertebrados, no se han observado BCF superiores a 1500, correspondiendo los mayores valores a ciertos peces, moluscos, crustáceos y anélidos. En apariencia, la bioconcentración está relacionada con los hábitos de vida más que con un grupo taxonómico en particular <sup>(15)</sup>.

**CAPITULO IV**  
**DISEÑO METODOLOGICO**

## **4.0 DISEÑO METODOLOGICO**

La presente investigación fue un estudio de Tipo Experimental, que comprendió tres partes:

1. Investigación bibliográfica.
2. Investigación de campo
3. Parte experimental

### **4.1 INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA:**

Consistió en la recopilación de datos en las bibliotecas de la Facultad de Química y Farmacia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura dentro de la Universidad de El Salvador y otras Universidades como: Universidad Nueva San Salvador (UNSSA), Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM), Universidad José Matías Delgado y Universidad José Simeón Cañas (UCA); así como también artículos en línea.

### **4.2 INVESTIGACION DE CAMPO:**

Esta etapa comprendió la toma de muestras, y se llevó a cabo en el estudio fotográfico del Laboratorio de la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil; esto se hizo por medio de un muestreo puntual, es decir que la muestra fue tomada en su momento de evacuación reflejando de esta manera sus características instantáneas. Tomando en cuenta que el régimen de evacuación de los líquidos fotográficos fue de aproximadamente 4 galones (equivalente a 15 L) por mes, el número de muestras tomadas fue de 10 las

cuales contaban con un volumen de 1 L cada una, y fueron recolectadas en el transcurso de un mes de trabajo normal en el laboratorio.

El número de muestras fue representativo ya que se determinaron sobre la base del tiempo y su régimen de evacuación.

Del litro muestra tomado se utilizaron 100 mL para cuantificación inicial de Plata y 750 mL para el proceso de remoción. Luego de tratados estos 750 mL, se tomaron 100 mL para la cuantificación final de Plata (Ver Anexo 9. Esquema del régimen de evacuación y toma de muestras). Las cuantificaciones iniciales y finales fueron realizadas por duplicado, reportándose al final el promedio de cada una de las muestras analizadas.

#### **4.3 PARTE EXPERIMENTAL:**

##### **4.3.1 CUANTIFICACION INICIAL DE LA PLATA POR ABSORCION ATOMICA:**

La cuantificación inicial de Plata en las muestras se llevaron a cabo en los laboratorios de Especialidades Industriales S.A. de C.V. (ESPINSA) ya que en la actualidad, ni en la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil ni en La Universidad de El Salvador se cuenta con este equipo.

##### **4.3.2 REMOCION DE LA PLATA POR ELECTRODEPOSICION:**

La remoción de Plata por el método de electrodeposición se realizó utilizando un sistema de electrodepósito como se muestra en el anexo 2 figura 1; dicho procedimiento se llevo a cabo en los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

A cada muestra se le realizaron los tres procedimientos antes mencionados, siendo un total de 30 determinaciones para dicha investigación.

#### **4.3.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA ELECTRODEPOSICION:**

Este proceso se llevo a cabo de la siguiente manera:

Preparación de los electrodos:

Se lavaron los electrodos cuidadosamente con agua del grifo antes de iniciar el procedimiento, una vez limpios se sumergieron por separado (ambos electrodos) en ácido nítrico 1N, un día antes de la prueba; con el fin de remover todos los óxidos presentes sobre las superficies metálicas. Luego se lavó la superficie con agua desmineralizada, se secó inmediatamente y se protegieron del ambiente manteniéndolos en recipientes cerrados.

Remoción de plata:

Se colocaron 750 mL de la muestra a tratar, previamente filtrada con papel poro grueso o algodón en un beaker de 1000 mL y se alcalinizó con Hidróxido de Amonio concentrado hasta un pH de 12 – 14, luego se colocaron los electrodos según la figura 1 del Anexo 2 y se hizo pasar una corriente eléctrica con un potencial de 0.8 v durante 4 horas.

El proceso de agitación se omitió debido a que todo movimiento brusco en el líquido producía una variación en el voltaje requerido para el sistema, lo que hacía que los sulfuros y sulfatos atacaran nuevamente la Plata produciendo un precipitado negro de Sulfuro de Plata. Para evitar esto, se agitó ocasionalmente la muestra en forma manual.

Una vez concluido el tiempo se retiraron los electrodos, se filtró la muestra con papel poro grueso o algodón y se separó una alícuota del líquido muestra restante para la cuantificación final de la Plata.

La determinación de la concentración de plata por el método gravimétrico no se realizó, debido a que cierta cantidad de Plata electrodepositada sobre el electrodo de Cobre reaccionaba con los sulfatos y sulfuros presentes en la muestra, formando un precipitado negro de Sulfuro de Plata; por lo tanto el peso obtenido por este método sería el de una sal de Plata y no el de Plata metálica.

#### **4.3.3 CUANTIFICACION FINAL DE LA PLATA POR ABSORCION ATOMICA:**

La cuantificación final se llevó a cabo en los Laboratorios de Especialidades Industriales S.A. de C.V. (ESPINSA), cumpliendo de esta forma un requerimiento mínimo de igualdad en todas las muestras tomadas.

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS

### 5.1 CUANTIFICACIÓN INICIAL DE PLATA

La cuantificación de plata se llevó a cabo por medio del método de espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 2380; el cual requiere una llama de acetileno-aire para la descomposición de la muestra. Esta es tratada por duplicado y diluida si es necesario, reportándose como dato final el valor promedio de las lecturas hechas a cada muestra. La preparación de los estándares (1, 2, 3 y 4 ppm de Plata) utilizados para la curva de calibración parten de una solución Stock de Plata en Acido Nítrico al 5 % con una concentración de 1000 ppm de Plata Metálica, dando el equipo la lectura directa de la concentración de Plata en ppm (Ver Anexo 1. Calibración del equipo de absorción atómica.)

Las lecturas obtenidas se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 1. Concentración de Plata inicial en muestras**

Muestra N°	ppm de Plata
1	2,510.0 ppm
2	1,885.0 ppm
3	660.0 ppm
4	1,840.0 ppm
5	2,475.0 ppm
6	610.0 ppm
7	284.0 ppm
8	266.0 ppm
9	292.0 ppm
10	250.0 ppm

## **5.2 ELECTRODEPOSICIÓN**

Después de las lecturas de la concentración en ppm de Plata de las muestras, se procedió a la remoción. Esto se llevó a cabo por el método de electrodeposición; aplicando corriente directa entre dos electrodos (Cobre-Hierro) inmersos en la solución muestra (Ver Anexo 2. Fig.1 Esquema del aparato de remoción de Plata por electrodeposición). Durante el proceso un electrón es transferido desde el cátodo (Cobre) hacia el ión Plata cargado positivamente (depositándose así la Plata sobre la superficie del mismo) y simultáneamente en el ánodo (Hierro) un electrón es captado para mantener el equilibrio de electrones (Ver Anexo 3. y Fig. 2. Reacciones involucradas en el proceso de remoción).

Este proceso se hizo en 2 partes:

### **5.2.1 PREPARACIÓN DE LOS ELECTRODOS.**

Se lavaron los electrodos cuidadosamente con agua del grifo antes de iniciar el procedimiento, una vez limpios se sumergieron por separado (ambos electrodos) en ácido nítrico 1N (un día antes de la prueba) con el fin de remover todos los óxidos presentes sobre las superficies metálicas, luego se lavaron con agua desmineralizada, se secaron y se tuvo cuidado de no exponerlos al ambiente, manteniéndolos en recipientes cerrados.

### **5.2.2 REMOCIÓN DE PLATA**

Se colocaron 750 mL de muestra (Residuo líquido fotográfico) en un beaker de 1000 mL, se alcalinizó con Hidróxido de Amonio concentrado

(aproximadamente 30 mL) hasta un pH de 12 - 14, luego se sumergieron los electrodos (Cobre-hierro) en la muestra. Se hizo pasar una corriente eléctrica con un potencial de 0.8 v durante 4 horas. Esto se hizo utilizando un transformador de voltaje múltiple que es el que pasa la corriente alterna a corriente directa, y dos potenciómetros para regular el voltaje (Ver Anexo 4. y Fig. 3 Equipo de remoción de Plata utilizado).

Una vez concluido el tiempo se retiraron los electrodos y se separó una cantidad de muestra (100 mL aproximadamente) necesaria para posteriores análisis. Los registros de voltaje obtenidos durante el proceso se presentan a continuación:

**Cuadro N° 2. Registro de lecturas de voltaje**

<b>Muestra N°</b>	<b>Lecturas de voltaje</b>
1	0.79 – 0.81 v
2	0.79 – 0.81 v
3	0.79 – 0.81 v
4	0.78 – 0.81 v
5	0.78 – 0.81 v
6	0.78 – 0.81 v
7	0.79 – 0.80 v
8	0.79 – 0.80 v
9	0.79 – 0.80 v
10	0.79 – 0.80 v

### 5.3 CUANTIFICACIÓN FINAL DE PLATA

La cuantificación final se llevó a cabo de la misma manera que la cuantificación inicial (Ver pág. 4. Cuantificación Inicial de Plata)

Las lecturas obtenidas se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 3. Concentración de Plata final en muestras**

Muestra N°	Resultados en ppm de Plata
1	1,085.0 ppm
2	1,770.0 ppm
3	490.0 ppm
4	1,190.0 ppm
5	2,110.0 ppm
6	205.0 ppm
7	200.0 ppm
8	287.5 ppm
9	290.0 ppm
10	260.0 ppm

**Cuadro N° 4. Cuadro comparativo de concentración de Plata**

Muestra N°	Concentración inicial	Concentración final
1	2,510.0 ppm	1,085.0 ppm
2	1,885.0 ppm	1,770.0 ppm
3	660.0 ppm	490.0 ppm
4	1,840.0 ppm	1,190.0 ppm
5	2,475.0 ppm	2,110.0 ppm
6	610.0 ppm	205.0 ppm
7	284.0 ppm	200.0 ppm
8	266.0 ppm	287.5 ppm
9	292.0 ppm	290.0 ppm
10	250.0 ppm	260.0 ppm

Después de haber realizado la remoción y obtener las lecturas iniciales y finales de la concentración de Plata presente en cada una de las muestras, se procedió a hacer los cálculos respectivos; obteniéndose los siguientes resultados:

**Cuadro N° 5. Plata removida en las muestras y su porcentaje**

<b>Muestra N°</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Plata removida</b>	<b>% de Plata removida</b>
1	2,510.0 ppm	1,085.0 ppm	1,425.0 ppm	56.8%
2	1,885.0 ppm	1,770.0 ppm	115.0 ppm	6.1%
3	660.0 ppm	490.0 ppm	170.0 ppm	25.8%
4	1,840.0 ppm	1,190.0 ppm	650.0 ppm	35.3%
5	2,475.0 ppm	2,110.0 ppm	365.0 ppm	14.7%
6	610.0 ppm	205.0 ppm	405.0 ppm	66.4%
7	284.0 ppm	200.0 ppm	84.0 ppm	29.6%
8	266.0 ppm	287.5 ppm	- 21.5 ppm*	-----*
9	292.0 ppm	290.0 ppm	2.0 ppm	0.7%
10	250.0 ppm	260.0 ppm	- 10.0 ppm*	-----*

\*----- Dato no valido porque la cantidad de Plata no es la esperada, debido a diferentes factores (Ver Discusión de resultados)

Plata removida = Plata inicial – Plata final

Ej:  $2,510.0 - 1,085.0 = 1,425.0$

Formula utilizada para calcular el porcentaje de plata removida:

$$\% \text{ de Plata removida} = \frac{[\text{Plata removida}]}{[\text{Plata inicial}]} \times 100$$

Ej. % de Plata removida =  $1425 / 2510 \times 100 = 56.8 \%$

En el país no existen decretos para la Clasificación y el Control de Calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos por lo que se adopta el Decreto No. 883 de Venezuela, con fecha 11 de Octubre 1995. El Presidente de la República de Venezuela Rafael Caldera decretó: las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpo de agua y vertidos o efluentes líquidos” cuyo artículo N° 10 dice así: “A los defectos de este decreto se establecen los siguiente rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados , en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses”; estableciendo para la Plata un límite de 0.1 ppm (2). Los datos obtenidos se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 6. Cuadro de Plata residual**

Muestra	ppm de plata residual en muestra
1	1,085.0 ppm
2	1,770.0 ppm
3	490.0 ppm
4	1,190.0 ppm

**Cuadro N° 6. Continuación**

<b>Muestra</b>	<b>ppm de plata residual en muestra</b>
5	2,110.0 ppm
6	205.0 ppm
7	200.0 ppm
8	287.5 ppm
9	290.0 ppm
10	260.0 ppm

Según Decreto No. 883 para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de Venezuela, el límite permisible para Plata es 0.1 ppm

## **CAPITULO VI**

### **GUIA PARA LA REMOCION DE PLATA EN RESIDUOS LIQUIDOS FOTOGRAFICOS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**Universidad de El Salvador**  
*Hacia la libertad por la cultura*

**GUIA PARA LA REMOCION DE PLATA DE RESIDUOS LIQUIDOS  
FOTOGRAFICOS POR EL METODO DE ELECTRODEPOSICION**

**Elaborada por:**

**FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA**

**RAFAEL AHMED CARRILLO GOMEZ**

**EVA CRISTINA MONGE ALVARENGA**

**Mayo 2005**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

## **6.0 Guía para la Remoción de Plata de Residuos líquidos Fotográficos por el método de electrodeposición**

### Objetivos:

- Conocer el equipo y material utilizado para la remoción de Plata presente en soluciones.
- Conocer el fundamento de la Plata y la técnica a seguir para la remoción de plata de residuos líquidos fotográficos

### Introducción

La plata es un elemento metálico blanco brillante que conduce el calor y la electricidad mejor que ningún otro metal. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su número atómico es 47.

Exceptuando el oro, la plata es el metal más maleable y dúctil. Su dureza varía entre 2.5 y 2.7; es más dura que el oro, pero más blanda que el cobre. Tiene un punto de fusión de 962 °C, un punto de ebullición de 2,212 °C, y una densidad relativa de 10.5. Su masa atómica es 107.868, esta en el grupo I de la tabla periódica y el subgrupo B que tiene el cobre y el oro. Su número de valencia es 1+, los dos isótopos naturales son 107 (51.35%) y 109 (48.65%) (9)

La plata se encuentra en la serie electroquímica debajo del cobre y solamente los metales platino y oro están debajo de la plata. Su actividad química, esta por consiguiente entre la del cobre y el oro. Su elevado potencial positivo en soluciones electrolíticas es de 0.80 v (cobre +0.34v; oro +1.36 v).

Químicamente, la plata no es muy activa. Es insoluble en ácidos y álcalis diluidos, pero se disuelve en ácido nítrico o sulfúrico concentrado, y no reacciona con oxígeno o agua a temperaturas ordinarias. El azufre y los sulfuros atacan la plata, y el deslustre o pérdida de brillo se produce por la formación de sulfuro de plata negro sobre la superficie del metal. Los huevos, que contienen una considerable cantidad de azufre como componente de sus proteínas, deslustran la plata rápidamente. Las pequeñas cantidades de sulfuro que existen naturalmente en la atmósfera o que se añaden al gas natural doméstico en forma de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), también deslustran la plata. El sulfuro de plata ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) es una de las sales más insolubles en disolución acuosa, propiedad que se utiliza para separar los iones de plata de otros iones positivos.

Los haluros de plata (bromuro de plata, cloruro de plata y yoduros de plata) que se oscurecen al exponerlos a la luz, se utilizan en emulsiones para placas, película y papel fotográficos. Estas sales son solubles en tiosulfato de sodio, que es el compuesto utilizado en el proceso de fijación fotográfica <sup>(9)</sup>.

La mayoría de las sales de plata, básicamente los halogenuros (fluor, cloro, bromo y yodo), son sensibles a la luz. El oscurecimiento del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) es conocido desde hace mucho tiempo; su descomposición tiene lugar en presencia de trazas de humedad y se acelera notablemente por adición de materias orgánicas. Sin embargo, el nitrato de plata no presenta un interés considerable debido a que los cloruros y los bromuros son mucho más

sensibles y en la práctica son mucho más utilizados. Los yoduros de plata, por el contrario, son muy poco sensibles y el fluoruro no es sensible a la luz (12).

Fundamento del método:

En el proceso de recuperación electrolítica, corriente directa es aplicada entre dos electrodos inmersos en una solución que contiene plata. Durante el proceso un electrón es transferido desde el cátodo hacia el ión plata cargado positivamente, y simultáneamente en el ánodo, un electrón es transferido desde alguno de los productos en la solución (3).



Esto se explica mejor en el siguiente esquema:

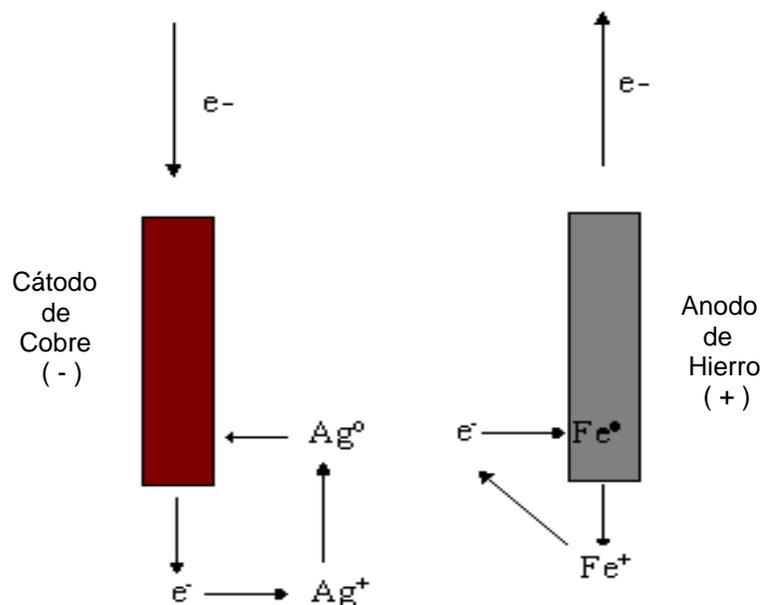


Fig. 1. Reacciones involucradas en el proceso de remoción

La densidad de corriente y la duración del proceso determinaran la cantidad y calidad de la plata depositada.

Material y equipo:

- Beaker de 1000 mL, 100 mL y 50 mL
- Probeta de 100 mL
- MultiTester
- Lámina de cobre(cátodo)
- Lámina de Hierro (ánodo)
- Transformador de multi-voltaje
- Regulador de voltaje
- Potenciómetros de 100 y 50 KB
- Papel filtro poro grueso o algodón

Reactivos:

- Hidróxido de Amonio concentrado
- Acido nitrico 1.0 N
- Agua desmineralizada

Procedimiento:

Preparación de los electrodos.

1. Lavar los electrodos cuidadosamente con agua del grifo antes de iniciar el procedimiento, para eliminar cualquier residuo presente.

2. Una vez limpios los electrodos, sumergirlos por separado (ambos electrodos) en ácido nítrico 1.0 N (un día antes de la prueba) con el fin de remover todos los óxidos presentes sobre las superficies metálicas.
3. Lavar la superficie de los electrodos con agua desmineralizada y secarlos inmediatamente y no exponerlos al ambiente.
4. Mantener en recipientes cerrados para evitar una nueva oxidación de los electrodos.

Nota: De preferencia utilizar los electrodos inmediatamente después de secar la superficie de los mismos, para conseguir la menor exposición al ambiente y por consiguiente una menor oxidación de estos.

Preparación del equipo de remoción.

1. Conectar el regulador de voltaje al toma corriente, cuya función es evitar las variaciones bruscas del voltaje.
2. Luego conectar al regulador de voltaje, el transformador multivoltaje, que se encargara de transformar la corriente alterna (la corriente del toma corriente) a corriente directa que es la necesaria para este proceso.
3. Colocar a la línea positiva del transformador, los dos potenciómetros en tipo serie, poniendo primero el de 100 KB y luego el de 50 KB, asegurar estos sobre una superficie fija para evitar demasiado movimiento ya que esto hace oscilar el voltaje. Esto nos servirá para aumentar o disminuir el voltaje de nuestro sistema.

4. Conectar a la línea positiva, después de los potenciómetros, el ánodo (lámina de Hierro), y a la línea negativa el cátodo (lámina de Cobre)
5. Colocar el multítester a las dos líneas del transformador (Ver figura 2) para estar verificando que el voltaje sea el que se requiere en el proceso, si no es así, girar la perilla del potenciómetro de 50 KB en primer lugar y luego, si es necesario, el de 100 KB

Nota: usar el multítester en la opción DCV (voltaje de corriente directa) en la escala de 20 (unidades con dos decimales).

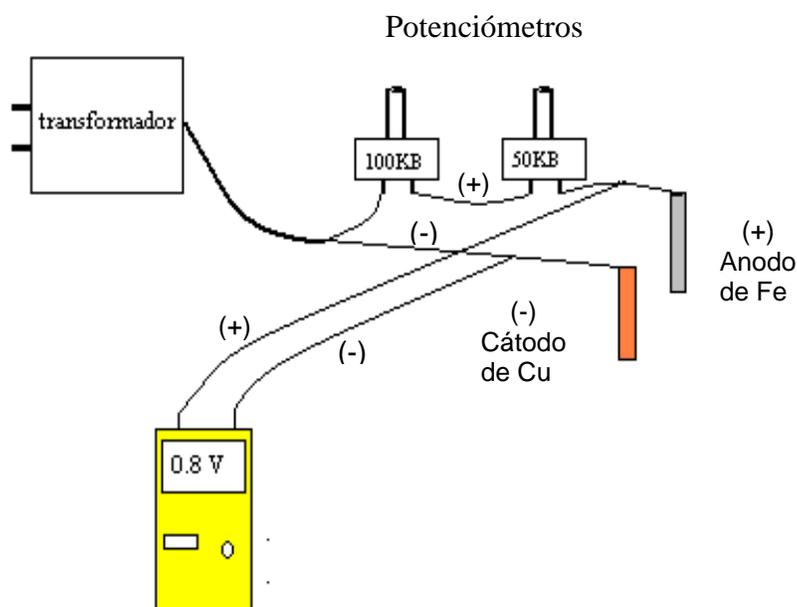


Fig. 2. Esquema del equipo modificador de voltaje

#### Proceso de remoción de plata.

1. Se debe de contar con un volumen de muestra mínimo de 1000 mL
2. Filtrar la muestra con papel filtro poro grueso o con algodón
3. Tomar aproximadamente 100 mL del líquido muestra, para cuantificación inicial de Plata
4. Colocar 750 mL de la muestra a tratar, en un beaker de 1000 mL
5. Alcalinizar con Hidróxido de Amonio concentrado hasta un pH de 12– 14.
6. Luego colocar los electrodos según la figura 3 y hacer pasar una corriente eléctrica con un potencial de 0.8 v, durante 4 horas aproximadamente.
7. Agitar manualmente la muestra en ocasiones
8. Una vez concluido el tiempo retirar los electrodos.
9. Filtrar nuevamente la muestra tratada con papel filtro poro grueso o algodón.
10. Separar una porción (aproximadamente 100 ml del líquido muestra restante para posteriores análisis.

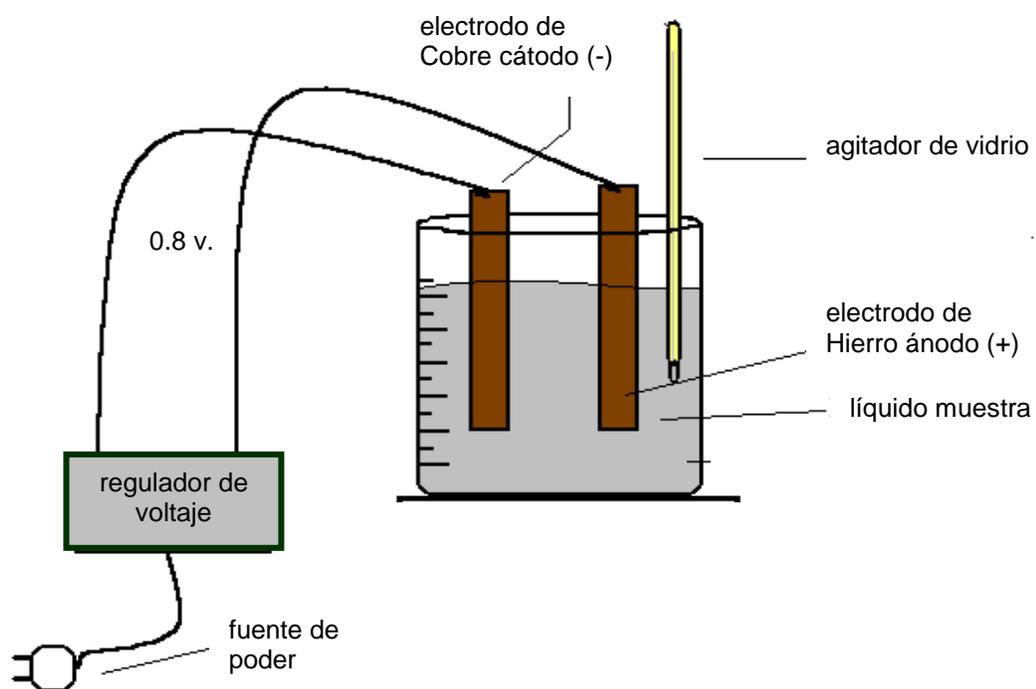


Figura 3. Esquema del aparato de remoción de Plata por electrodeposición

**CAPITULO VII**  
**DISCUSION DE RESULTADOS**

## 7.0 DISCUSION DE RESULTADOS

En los cuadros 1, 3 y 4 las concentraciones de Plata varían entre cada una de las muestras, donde la concentración de Plata inicial menor es de 250 ppm y la mayor de 2,510 ppm. Las características de las muestras de los residuos fotográficos varían entre ellas; en las características fisicoquímicas y en la concentración de Plata, por lo que cada una de las muestras presentó diferente comportamiento entre sí. Esto puede ser a que la muestra es una combinación de diferentes tipos de reveladores, los cuales no siempre están en la misma proporción en cada una de las muestras, sumado al hecho que el tipo de película a revelar y la cantidad de exposición de la misma altera en una forma significativa la cantidad de Plata presente en el líquido. Hay que hacer notar que cuando una película se vela por exceso de luz, la cantidad de Plata arrastrada por el líquido de revelado es mínimo, no obstante una exposición que se hace con poca cantidad de luz.

En el cuadro 2 se puede observar, que las oscilaciones de los potenciales de reducción variaron entre 0.78 – 0.81 v por lo que después del proceso de electrodeposición se hace notar un precipitado negro o gris oscuro con olor característico a azufre o sulfuro, el cual se produjo durante el período que dura el tratamiento de la muestra. El precipitado se debe a la formación de Sulfuros de Plata, los cuales su característica principal es ser insoluble en solución acuosa. La presencia de este fenómeno puede deberse a la falta de constancia o estabilidad en cuanto al potencial eléctrico en los electrodos (0.8 v); las

variaciones en el flujo eléctrico dentro del laboratorio, así como también la utilización de agitadores magnéticos ocasionaría tanto alzas como bajas en el potencial, permitiendo que la Plata ya reducida sea atacada por la acción de los sulfuros en la muestra formando el precipitado de Sulfuro de Plata en el fondo del contenedor.

En el cuadro 5, el porcentaje de Plata removida no es proporcional entre cada una de las muestras, ya que no depende de la cantidad inicial de Plata sino de las características propias de cada una de ellas, por lo que muestras que contienen niveles semejantes de Plata no presentan un porcentaje similar o equivalente de Plata removida después de igual tiempo y condiciones de tratamiento. Un factor que también hay que tomar en cuenta con respecto a la cantidad de Plata removida es la característica propia del sistema como la superficie de los electrodos ya que a menor superficie de contacto en el electrodo, este tiende a saturarse más rápido impidiendo la reducción de más iones Plata, dando como resultado una deficiencia drástica en los resultados obtenidos de Plata removida. Es de observar que las muestras 8 y 10 presentan niveles de Plata finales superiores a las reportadas en las mismas muestras antes del proceso de remoción (Ver Cuadro N° 5). Entre los factores que pueden haber llevado a estos resultados están:

- Las condiciones del laboratorio, las cuales no pudieron ser regulados en su totalidad; tanto la temperatura, presión y presencia de solventes

orgánicos que pueden ocasionar efectos como concentración de la muestra.

- La inestabilidad que presenta la muestra debido a la cantidad de solventes que la constituyen
- Presencia de “efecto matriz” al momento de leer la muestra por absorción atómica (Este efecto puede presentarse cuando en la muestra a analizar hay una gran cantidad de solventes o constituyentes; por diferencia en la consistencia o viscosidad de la muestra). Este consiste en una variación en los resultados obtenidos por el equipo, debido a las causas antes mencionadas.
- Concentración de la muestra al momento de la electrolisis, debido a que pudo haber disminuido la cantidad de agua presente en la muestra por una reacción de electrolisis del agua <sup>(17)</sup>:



En el cuadro 6 se puede observar, que la mayor cantidad de Plata contenida en la muestra después del proceso de remoción es de 1,085.0 ppm y la menor de 200.0 ppm; siendo el límite permisible de 0.1 ppm, según el Decreto No. 883 para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de Venezuela. Eso significa que el método utilizado no es lo suficientemente efectivo ya que el mayor porcentaje de Plata removido fue de

66.4 % y el menor de 0.7 %, siendo el comportamiento de cada una de las muestras diferente entre sí.

Aplicando el método estadístico de Distribución t, se puede observar que el método de remoción por electrodeposición tiene un 90 % de confianza, ya que a este porcentaje la hipótesis nula se rechaza. Esta hipótesis plantea que entre la muestra inicial y la muestra final no hay una diferencia significativa (Ver anexo 5. Cálculos aplicando el método estadístico de Distribución t) <sup>(18)</sup>

**CAPITULO VIII**  
**CONCLUSIONES**

## 8.0 CONCLUSIONES

1. El método de remoción de Plata por Electrodeposición propuesto funciona, ya que una cantidad significativa de Plata es removida en cada una de las muestras alcanzando un porcentaje máximo de remoción de 66.4 %.
2. Se puede asegurar que el método propuesto presenta un nivel de confianza del 90 %, según resultados obtenidos por el método estadístico de Distribución t para observaciones pareadas; es decir que hay un 90 % de seguridad que el método propuesto remueve cierta cantidad de Plata de la muestra.
3. Al 90 % de nivel de confianza para el método de remoción de Plata por electrodeposición, la hipótesis nula en donde se propone que no hay una diferencia significativa en los resultados obtenidos, queda rechazada según el método estadístico de Distribución t Student para observaciones pareadas.
4. En las muestras siempre existirá un factor de error propio de las características fisicoquímicas, ya que estas son el resultado de una

combinación de diferentes componentes químicos, los cuales interfieren en el proceso de remoción.

5. Comparados con el Decreto No. 883 para la Clasificación y el Control de Calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de Venezuela, los residuos líquidos fotográficos tratados por este método no reúnen los requerimientos para ser vertidos al medio ambiente; siendo necesario la utilización de un método complementario como: osmosis inversa y resinas de intercambio catiónico, cuya finalidad es la remoción de iones metálicos presentes en la solución muestra las cuales pueden interferir en el proceso de electrodeposición de la Plata en el electrodo. Además pueden ser utilizados tratamientos con enzimas bacterianas las cuales ayudan a la degradación de los componentes orgánicos presentes en la muestra, especialmente los compuestos azufrados que interfieren en el proceso de electrodeposición de la Plata.
6. Para obtener una mayor eficiencia en los resultados, es necesario la utilización de electrodos de mayor superficie de contacto, ya que a mayor superficie de contacto mayor remoción de Plata, evitándose la saturación de los mismos.

**CAPITULO IX**  
**RECOMENDACIONES**

## 9.0 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. A la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, el desarrollo de estudios posteriores encaminados a aumentar la eficiencia del método propuesto.
2. A la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil desarrollar estudios encaminados a obtener la validación del método de remoción de Plata por electrodeposición.
3. A la División Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil darle a los residuos líquidos y sólidos un tratamiento posterior. Así como también la implementación de mecanismos orientados a mejorar las condiciones de trabajo como: reguladores de voltaje, electrodos de mayor superficie, etc.
4. Utilizar métodos alternos para la complementación del método propuesto como: adaptar filtros, resinas de intercambio catiónico, osmosis inversa, tratamiento con enzimas bacterianas, etc, para optimización de resultados.

5. La implementación de nueva tecnología para la recopilación de imágenes, las cuales produzcan menos cantidad de contaminantes como es el caso de la fotografía digital.
  
6. A los organismos e instituciones pertinentes, elaborar normativas que regulen el control y descarga específico de residuos líquidos fotográficos al medio ambiente ya que en la actualidad no se cuentan con ellas.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alarcón F. O. El Cine en la era digital en España e Iberoamérica (en línea). Consultado 14 Abril. 2004. Disponible en:  
<http://www.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/num11/paginas/atei/osorio.pdf>
2. Caldera R. 1995. Decreto No. 883 (en línea). Caracas, Venezuela. Consultado 23 Abril. 2004. Disponible en:  
<http://www.marnr.gov.ve/direcciones/calidadamb/calidadagua/normas/883.doc>.
3. Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana, 1999. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial (en línea). Santiago. Chile. Consultado 30 Abril. 2004. Disponible en:  
<http://www.sofofa.cl/ambiente/documentos/Laboratorios%20Fotogr%E1fics.pdf>
4. Giuliano D. Recuperación de la plata de procesos fotográficos (en línea). Consultado 30 Abril. 2004. Disponible en:  
<http://www.fotomundo.com/tecnic/laboratorio/recuperapla.shtml>
5. Günther D. El baño revelador 1ª parte (en línea). Cuba, Cubafoto, Organo de difusión del Fondo Cubano de la Imagen Fotográfica. Consultado 14 Abril. 2004. Disponible en:  
[http://www.antecamara.com.mx/articulos/article\\_53.shtml](http://www.antecamara.com.mx/articulos/article_53.shtml)

6. Günther D. Química Fotográfica (en línea). Cuba, Cubafoto, Organo de difusión del Fondo Cubano de la Imagen Fotográfica. Consultado 14 Abril. 2004. Disponible en:  
[http://www.antecamara.com.mx/articulos/article\\_38.shtml](http://www.antecamara.com.mx/articulos/article_38.shtml)
7. <http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/calidadweb/cal02.htm>. Consultado 25 Noviembre. 2004.
8. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts146.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts146.html). ToxFAQs™ para Plata (Silver) (en línea). Consultado 19 Abril. 2004.
9. <http://www.prodigyweb.net.mx/degcorp/Quimica/Plata.htm>. Plata (en línea). Consultado 29 Marzo. 2004.
10. [http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/Legislaci%F3n%20Ambiental/NormasV/agua/agua\\_nmx051.htm](http://www.semarnat.gob.mx/ssfna/Legislaci%F3n%20Ambiental/NormasV/agua/agua_nmx051.htm). Consultado 25 Noviembre. 2004.
11. <http://www.zona10.com.mx/archivos/teoria/introduccion.htm>. Zona 10 Photographiczone. Introducción a la fotografía. Consultado 30 Abril. 2004.
12. Kirk R. y otros. 1961. Enciclopedia de Tecnología Química. 1 ed. México UTHEA. Trad. O. G. Carrera. Vol VIII, tomo 2 p574-613 y Vol XII p660-675
13. Montgomery D. C. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. Editorial Limusa S.A. de C.V.
14. Rusansky D. El lado oscuro de la fotografía: residuos peligrosos. (en línea). Buenos Aires, Argentina, CIFA. Consultado 29 Marzo. 2004.

Disponible en:

<http://www.fotomundo.com/tecnic/laboratorio/residuos.shtml>

15. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Desarrollo de Niveles

Guías Nacionales de Calidad de Agua Ambiente correspondientes a

Plata (en línea). Argentina, Diciembre 2003. Consultado 26 Enero.

2005. Disponible en:

<http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/documentos/calidad/plata.pdf>.

16. Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia,

Departamento de Análisis Químico e Instrumental, cátedra de Control

de Calidad de Productos Humanos y Veterinarios II. 2003. Separata de

Metodología Analítica.

17. Whitten K. y otros. Química General. 5 ed. Si. Editorial Mack Graw Hill.

Trad. Eduardo Andrade. 1,121 p.

18. Willar H. y otros. C1965. Métodos Instrumentales de Análisis. 4 ed. Si.

P759-779. Compañía Editorial Continental, S.A.

19. Zetina C. de 2001. La gelatina fotográfica. Estructura y composición

química de la gelatina y la colágena (en línea). México, Laboratorio

Mexicano de imágenes. Consultado 29 Marzo. 2004. Disponible en :

<http://www.lmi.com.mx/revista/conservacion/4.html>

## GLOSARIO

**ANODO:** Es el electrodo en el que tiene lugar la oxidación a medida que se pierden electrones por algunas especies.

**CATODO:** Se define como el electrodo en el que tiene lugar la reducción a medida que los electrones son captados por algunas especies.

**ELECTRODEPOSICION:** Recubrimiento de una superficie catódica por un metal mediante electrolisis.

**REDUCCION:** Es una disminución algebraica del estado de oxidación y corresponde a la ganancia o aparente ganancia de electrones.

**OXIDACION:** Es un aumento algebraico del estado de oxidación y corresponde a la pérdida, o aparente pérdida de electrones.

**ESTADO DE OXIDACION:** Número arbitrario que puede usarse como una ayuda para escribir formulas y ajustar ecuaciones; para iones monoatómicos corresponde la carga ión; a los átomos menos metálicos les asigna estados de oxidación negativos.

**ELECTRODOS:** Son superficies sobre las que tienen lugar las semireacciones de oxidación y reducción.

**ELECTROLISIS:** Proceso mediante el cual se produce una reacción química forzada debido al paso de energía eléctrica (17)

AGUA RESIDUAL: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor (2).

**ANEXOS**

## ANEXO 1

### CALIBRACION DEL EQUIPO DE ABSORCION ATOMICA

1. Conectar compresor de aire (oxidante)
2. Encender regulador de voltaje y luego encender el equipo
3. Colocar longitud de onda y slit
4. Ingresar los parámetros de entrada al equipo (energía de la lámpara, estándares a ser utilizados, número de replicas para cada lectura, tiempo para cada lectura)
5. Ajustar la energía de la lámpara, para obtención de máximo rendimiento.
6. Dar paso al combustible a ser utilizado (acetileno) y presionar el botón de ignición.
7. Introducir el estándar recomendado según el manual del equipo para el elemento a analizar y verificar la lectura de absorbancia.
8. Introducir los estándares a utilizar (blanco y 1, 2, 3, 4 ppm de plata) colocándolos de menor a mayor estándar, para realizar la curva de calibración.
9. Introducir las muestras a analizar y leer la concentración (si es necesario hacer diluciones)
10. Al finalizar el análisis ir a parámetros de entrada y apagar la lámpara.
11. Cerrar la llave del combustible y descompresionar el equipo.
12. Apagar el equipo y el compresor de aire. (10)

## ANEXO 2

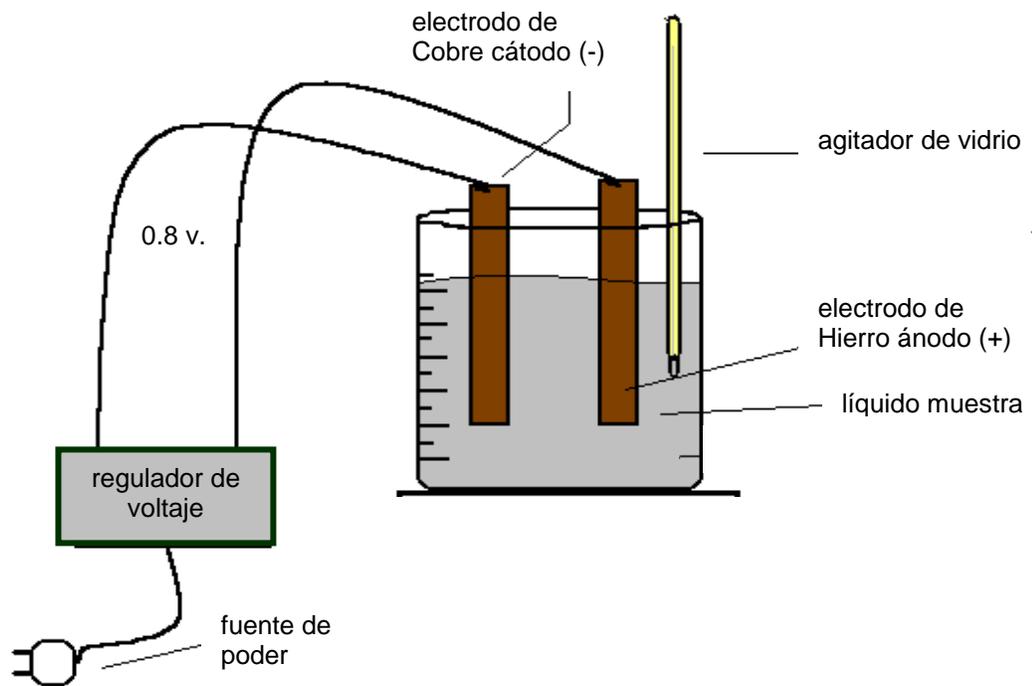


Figura 1. Esquema del aparato de remoción de Plata por electrodeposición

### ANEXO 3

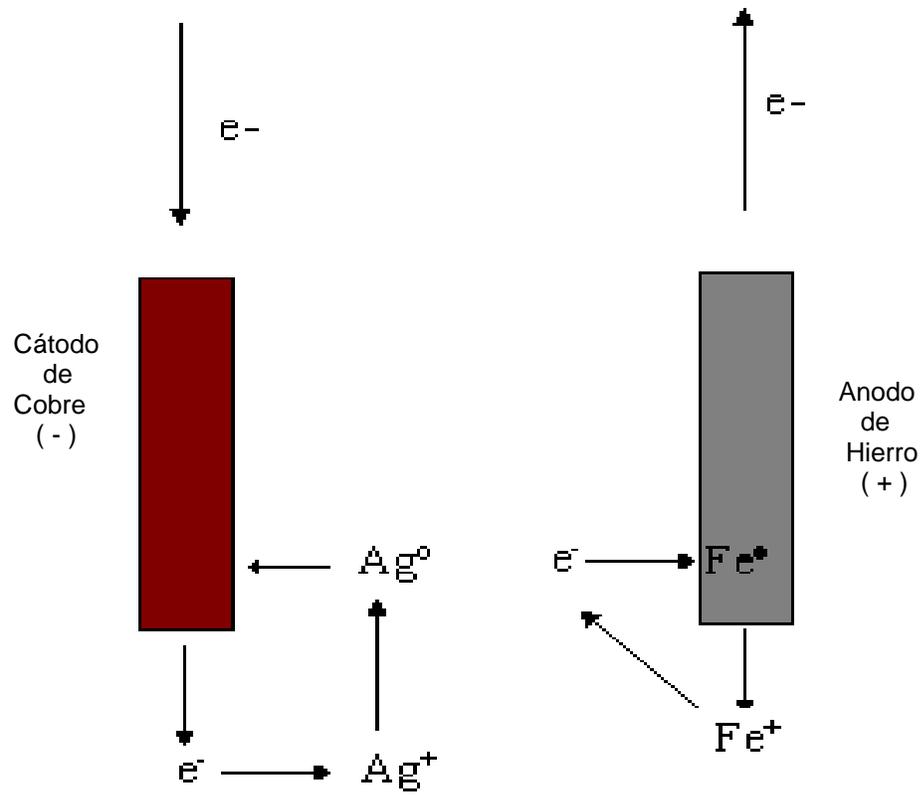


Fig. 2. Reacciones involucradas en el proceso de remoción

## ANEXO 4

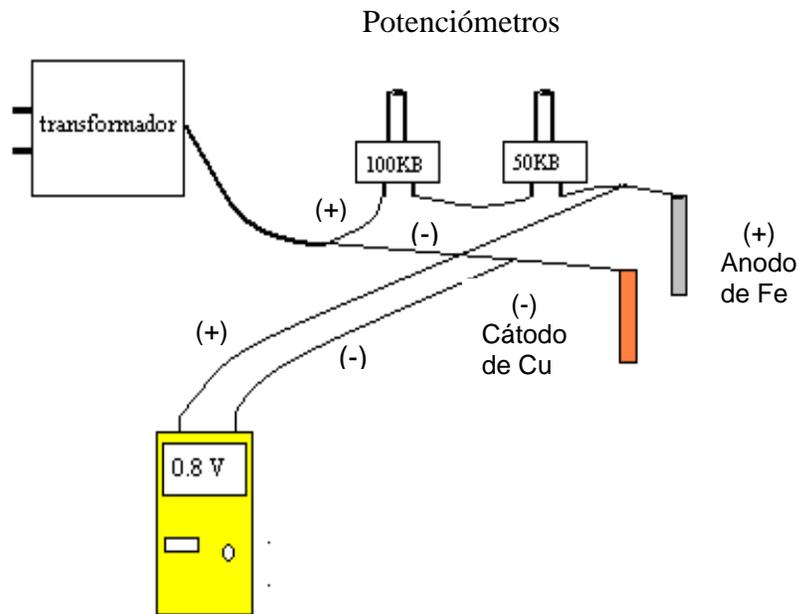


Fig. 3. Esquema del equipo modificador de voltaje

## ANEXO 5

### CALCULOS APLICANDO EL METODO ESTADISTICO DE DISTRIBUCION t

M <sub>1</sub>	μ <sub>2</sub>	d <sub>i</sub>	(d <sub>i</sub> - d) <sup>2</sup>
2510.0	1085.0	1425.0	1,224,452.903
1885.0	1770.0	115.0	41,391.925
660.0	490.0	170.0	22,037.402
1840.0	1190.0	650.0	109,925.402
2475.0	2110.0	365.0	2,166.902
610.0	205.0	405.0	7,490.902
284.0	200.0	84.0	54,966.802
266.0	287.5	-21.5	115,566.002
292.0	290.0	2.0	100,140.602
250.0	260.0	-10.0	107,879.402
		Σ =3,184.5	Σ =1,786,018.244

$$d = \frac{\sum \mu_1 - \mu_2}{n} = \frac{3,184.5}{10} = 318.45$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (d_i - d)^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{1786018.244}{10 - 1}}$$

$$Sd = 445.47$$

α = nivel de significancia

μ<sub>1</sub> y μ<sub>2</sub> = fenómeno observado

d<sub>i</sub> = μ<sub>1</sub> - μ<sub>2</sub>

Sd = desviación estándar

gl = grados de libertad

d = media

Aplicación de distribución T para Observaciones pareadas.

Planteamiento de la hipótesis nula <sup>(13)</sup>

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  o  $\mu_d: \mu_2 - \mu_1 = 0$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  o  $\mu_d: \mu_2 - \mu_1 \neq 0$

$$t = \frac{d - d_0}{\frac{Sd}{\sqrt{n-1}}} = \frac{318.45 - 0}{\frac{445.47}{\sqrt{10-1}}}$$

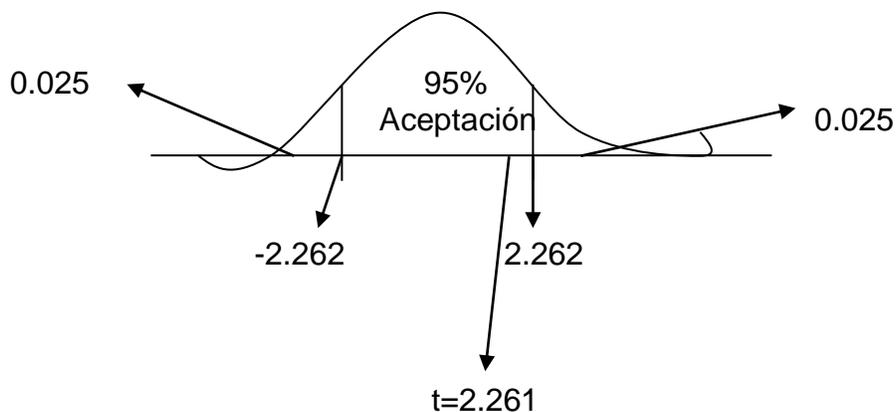
$t = 2.261$

Para un nivel de confianza del 95 %

$\alpha = 1 - \text{\%de confianza} = 1 - 0.95 = 0.05$

gl =  $n-1 = 10-1 = 9$

cómo es un gráfico de 2 colas  $0.05 / 2 = 0.025$



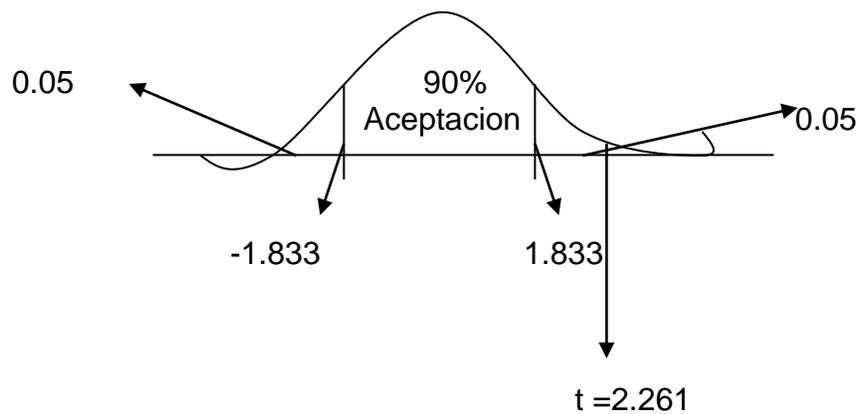
Entonces al 95 % de confianza la Hipótesis nula cae en la zona de aceptación

Para el 90 % de nivel de confianza:

$$\alpha = 1 - 0.90 = 0.1$$

$$gl = n-1 = 10-1 = 9$$

cómo es un gráfico de dos colas:  $0.1 / 2 = 0.05$



Al 90 % del nivel de confianza, la hipótesis nula, o sea la que plantea que no hay una diferencia significativa entre la muestra inicio y la muestra final, cae en el área de rechazo <sup>(13)</sup>.

## ANEXO 6

**Cuadro N° 7. VALORES CRITICOS DE LA DISTRIBUCION t <sup>(18)</sup>**

v	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
Inf	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

## ANEXO 7

### FUNDAMENTOS DE METODOS ANALITICOS

#### ABSORCIÓN ATÓMICA

En la espectrofotometría de Absorción atómica, la muestra se disocia de sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y en su estado mínimo de energía, es decir la muestra se descompone en sus átomos o iones gaseosos, en cuyas condiciones es capaz de absorber radiaciones emitidas en líneas discretas de ancho de banda angosta, las mismas líneas que serán emitidas por el elemento al excitarse.

La descomposición de la muestra se logra quemándola en una llama. Las líneas de emisión de energía se logran con una lámpara de cátodo hueco (fuente llena de argón o neón a muy baja presión, que tiene el cátodo fabricado o revestido del elemento que se va a analizar) que emite el espectro del elemento que se va a analizar y el del gas del relleno <sup>(16)</sup>.

#### ELECTRODEPOSICION

En el proceso de recuperación electrolítica, corriente directa es aplicada entre dos electrodos inmersos en una solución que contiene plata. Durante el proceso un electrón es transferido desde el cátodo hacia el ión plata cargado positivamente, y simultáneamente en el ánodo, un electrón es transferido desde

alguno de los productos en la solución. La densidad de corriente y la duración del proceso determinaran la cantidad y calidad de la plata depositada (3).

### METODO GRAVIMETRICO

El método gravimétrico es una operación en la que la cantidad de una sustancia presente en una muestra es determinada por la separación y pesada de la sustancia ó un derivado cuantitativamente formado de dicha sustancia (16).

## ANEXO 8

### CERTIFICADOS DE ANALISIS REALIZADOS A LAS MUESTRAS ANTES Y DESPUES DEL PROCESO DE REMOCION POR ELECTRODEPOSICION

Número de muestra	Código para Análisis Inicial	Código para Análisis Final
1	562S	638S
2	563S	639S
3*	564S	640S
4*	565S	641S
5	566S	642S
6*	567S	643S
7	568S	644S
8	569S	645S
9	570S	646S
10	571S	647S

\* Muestras que fueron analizadas por segunda vez antes y después del proceso de remoción

#### Código para el nuevo análisis de las muestras 3,4 y 6

Número de muestra	Código para Análisis Inicial	Código para Análisis Final
3	86	87
4	88	89
6	90	91

San Salvador, 12 de Agosto de 2004



SEÑORES  
FREDDY CARRANZA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CODIGO DE MUESTRAS : 562S AL 571S  
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2  
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 2-8-04

Estimado Sr. Carranza:

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

**RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS**

TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO  
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 2-8-04  
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 2-8-04  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : LIQUIDO FOTOGRAFICO DEL LABORATORIO DE LA DIVISION TECNICO CIENTIFICA DE LA POLICIA NACIONAL CIVIL.  
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUALES  
MUESTRA TOMADA POR : SR. FREDDY CARRANZA  
APARIENCIA DE LA MUESTRA : CAFE ROJIZAS, TRANSPARENTES SIN SOLIDOS

**ANALISIS DE PLATA  
METODO DE ANALISIS(1,5)**

<u>CODIGO</u>	<u>MUESTRA</u>		<u>Resultado</u>	<u>incerteza</u>	<u>Expresado como</u>
562S	Nº 1	:	2510.0	± 0.0	ppm Ag
563S	Nº 2	:	1885.0	± 7.1	ppm Ag
564S	Nº 3	:	2870.0	± 0.0	ppm Ag
565S	Nº 4	:	2095.0	± 7.1	ppm Ag
566S	Nº 5	:	2475.0	± 7.1	ppm Ag
567S	Nº 6	:	194.0	± 0.0	ppm Ag
568S	Nº 7	:	284.0	± 0.0	ppm Ag
569S	Nº 8	:	266.0	± 0.0	ppm Ag
570S	Nº 9	:	292.0	± 0.0	ppm Ag
571S	Nº 10	:	250.0	± 0.0	ppm Ag

Especialidades Industriales, S.A. de C.V. Calle Gabriela Mistral No. 171, PBX: 226-1216, FAX: (503) 225-4350, e-mail: espinsa@espinsa.com.sv, San Salvador, El Salvador, C. A.

PAGINA 2/2

CODIGOS 562S AL 571S

**NOTA:**

ND	:	No Detectable	
ppm	:	mg/L	
Metodologías de Análisis	:	APHA-AWWA-WEF, 1998	(1)
		ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA CON LLAMA ACETILENO-AIRE (AAS), ref.APHA 3111B(1)	(5)

Los resultados corresponden a la muestra indicada en procedencia y en código. La reproducción parcial de este documento debe ser autorizada por el Laboratorio.

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,  
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

  
Lic. Víctor Manuel Segura  
Químico Industrial  
Jefe de Laboratorio Químico



Nuestro Laboratorio cuenta con un sistema de Calidad fundado en la Norma NSR ISO/IEC 17025:99, con el fin de proporcionar a nuestros clientes garantía y seguridad en los resultados y está Acreditado por el CONACYT en análisis de Aguas bajo el Registro No. RLA-13-01:99.

San Salvador, 30 de Agosto de 2004



SEÑORES  
FREDDY CARRANZA  
DIRECCION: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CODIGO DE MUESTRAS : 581S  
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2  
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 17-8-04

Estimado Sr. Carranza:

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

**RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS**

TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO  
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 17-8-04  
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 17-8-04  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : LIQUIDO FOTOGRAFICO DEL LABORATORIO  
DE LA DIVISION TECNICO CIENTIFICA DE LA  
POLICIA NACIONAL CIVIL.  
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL  
MUESTRA TOMADA POR : SR. FREDDY CARRANZA  
APARIENCIA DE LA MUESTRA : CAFE ROJIZA

**ANALISIS DE PLATA  
METODO DE ANALISIS(1,5)**

<u>CODIGO</u>	<u>MUESTRA</u>	<u>Resultado</u>	<u>incerteza</u>	<u>Expresado como</u>
581S	Nº 1	: 1405.0	± 0.0	ppm Ag

**NOTA:**

ND : No Detectable  
ppm : mg/L  
Metodologías de Análisis : APHA – AWWA – WEF, 1998 (1)  
ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION (5)  
ATOMICA CON LLAMA ACETILENO – AIRE  
(AAS), ref.APHA 3111B(1)

PAGINA 2/2

CODIGO 581S

Los resultados corresponden a la muestra indicada en procedencia y en código. La reproducción parcial de este documento debe ser autorizada por el Laboratorio.

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,  
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

  
Lic. Victor Manuel Segura  
Químico Industrial  
Jefe de Laboratorio Químico



Nuestro Laboratorio cuenta con un sistema de Calidad fundamentado en la Norma NSR ISO/IEC 17025:99, con el fin de proporcionar a nuestros clientes garantía y seguridad en los resultados y está Acreditado por el CONACYT en análisis de Aguas bajo el Registro No. RLA-13-01:99.

San Salvador, 17 de Septiembre de 2004

SEÑORES  
FREDDY CARRANZA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CODIGO DE MUESTRAS : 638S AL 647S  
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2  
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 3-9-04

Estimado Sr. Carranza:

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 3-9-04  
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 4-9-04  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : LIQUIDO FOTOGRAFICO DEL LABORATORIO DE LA DIVISION TECNICO CIENTIFICA DE LA POLICIA NACIONAL CIVIL.  
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUALES  
MUESTRA TOMADA POR : SR. FREDDY CARRANZA  
APARIENCIA DE LA MUESTRA : CAFE ROJIZAS, OSCURAS

ANALISIS DE PLATA  
METODO DE ANALISIS(1,5)

<u>CODIGO</u>	<u>MUESTRA</u>	<u>Resultado</u>	<u>incerteza</u>	<u>Expresado como</u>
638S	Nº 1	1085.0	± 0.0	ppm Ag
639S	Nº 2	1770.0	± 0.0	ppm Ag
640S	Nº 3	4500.0	± 0.0	ppm Ag
641S	Nº 4	5500.0	± 0.0	ppm Ag
642S	Nº 5	2110.0	± 0.0	ppm Ag
643S	Nº 6	265.0	± 0.0	ppm Ag
644S	Nº 7	200.0	± 0.0	ppm Ag
645S	Nº 8	287.5	± 0.0	ppm Ag
646S	Nº 9	290.0	± 0.0	ppm Ag
647S	Nº 10	260.0	± 0.0	ppm Ag

PAGINA 2/2

CODIGOS 638S AL 647S

**NOTA:**

ND	:	No Detectable	
ppm	:	mg/L	
Metodologías de Análisis	:	APHA-AWWA-WEF, 1998	(1)
		ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA CON LLAMA ACETILENO-AIRE (AAS), ref.APHA 3111B(1)	(5)

Los resultados corresponden a la muestra indicada en procedencia y en código. La reproducción parcial de este documento debe ser autorizada por el Laboratorio.

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,  
**ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.**

  
Lic. Victor Manuel Segura  
Químico Industrial  
Jefe de Laboratorio Químico



Nuestro Laboratorio cuenta con un sistema de Calidad fundamentado en la Norma NSR ISO/IEC 17025:99, con el fin de proporcionar a nuestros clientes garantía y seguridad en los resultados y está Acreditado por el CONACYT en análisis de Aguas bajo el Registro No. RLA-13-01:99.

San Salvador, 5 de Octubre de 2004



SEÑORES  
FREDDY CARRANZA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

CODIGO DE MUESTRAS : 86 A 91  
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2  
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 29-9-04

Estimado Sr. Carranza:

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA RESIDUAL  
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 29-9-04  
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 30-9-04  
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : LIQUIDO FOTOGRAFICO DEL LABORATORIO  
DE LA DIVISION TECNICO CIENTIFICA DE LA  
POLICIA NACIONAL CIVIL.  
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUALES  
MUESTRA TOMADA POR : SR. FREDDY CARRANZA  
APARIENCIA DE LA MUESTRA : CAFE ROJIZAS, OSCURAS

ANALISIS DE PLATA

METODO DE ANALISIS(1,5)

<u>CODIGO</u>	<u>MUESTRA</u>		<u>Resultado</u>	<u>incerteza</u>	<u>Expresado como</u>
86	MX1 inicial	:	660.0	± 0.0	ppm Ag
87	MX1 final	:	490.0	± 0.0	ppm Ag
88	MX2 inicial	:	1840.0	± 0.0	ppm Ag
89	MX2 final	:	1190.0	± 0.0	ppm Ag
90	MX3 inicial	:	610.0	± 0.0	ppm Ag
91	MX3 final	:	205.0	± 0.0	ppm Ag

PAGINA 2/2

CODIGO 86 A 91

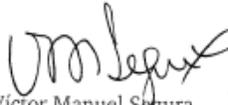
NOTA:

ND	:	No Detectable	
ppm	:	mg/L	
Metodologías de Análisis	:	APHA-AWWA-WEF, 1998	(1)
		ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION	(5)
		ATOMICA CON LLAMA ACETILENO-AIRE	
		(AAS), ref.APHA 3111B(1)	

Los resultados corresponden a la muestra indicada en procedencia y en código. La reproducción parcial de este documento debe ser autorizada por el Laboratorio.

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,  
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.

  
Lic. Víctor Manuel Segura  
Químico Industrial  
Jefe de Laboratorio Químico



Nuestro Laboratorio cuenta con un sistema de Calidad fundamentado en la Norma NSR ISO/IEC 17025:99, con el fin de proporcionar a nuestros clientes garantía y seguridad en los resultados y está Acreditado por el CONACYT en análisis de Aguas bajo el Registro No. RLA-13-01:99.

## ANEXO 9

### ESQUEMA DEL RÉGIMEN DE EVACUACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

